

Prototipe Alat Kontrol Derajat Keasaman dan Konduktivitas Listrik Selama Masa Tanam pada Larutan Nutrisi Hidroponik Tanaman Cabai (*Capsicum frutescens* L.)

Budi Yasri¹, Suprijanto², Malik Purnomo Hadi³, Safira Humaira⁴

^{1,3,4}Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Institut Teknologi Bandung

Email: budiyasri@yahoo.com¹, supri9@gmail.com², malikpurnomohadi8@gmail.com³, shumaira9@gmail.com⁴

Abstrak

Metode hidroponik bukan hal yang baru di kalangan petani khususnya di wilayah yang kurang lahan untuk bercocok tanam. Salah satu metode hidroponik yang sering digunakan yaitu metode *Nutrient Film Technique* karena mudah dikembangkan dan digunakan terutama di wilayah yang kurang lahan untuk bercocok tanam. Akan tetapi tanaman hidroponik sangat bergantung pada larutan nutrisi dan harus sesuai kebutuhan tanaman. Pada penelitian ini akan dibuat sistem otomatis untuk proses pencampuran larutan nutrisi pada tanaman cabai menggunakan sensor EC dan pH untuk mendeteksi nilai konduktivitas listrik (EC) dan derajat keasaman (pH) nutrisi selama masa tanam. Pada penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, untuk mengetahui pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam kondisi yang terkendali. Dari hasil kalibrasi sensor didapatkan nilai rerata error pada sensor pH sebesar 10,77% dan sensor EC sebesar 5,46%. Sementara, pengambilan data pengujian prototipe dilakukan pada menit ke 15, 30, 45 dan 60. Hasil pengontrolan EC pada waktu tersebut secara berturut-turut sebesar 1324,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1369,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1347,74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 1325,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sedangkan, hasil pengontrolan pH pada rentang waktu tersebut secara berturut-turut sebesar 6,23; 5,90; 5,78 dan 6,17. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini memiliki prospek untuk dikembangkan lebih lanjut untuk merumuskan jenis teknologi pengiriman data pengukuran EC dan pH yang tepat dari prototipe kepada pengguna secara kontinu.

Kata kunci : *Nutrient Film Technique*, *Sensor pH*, *Sensor EC*, *Larutan Nutrisi*, *Cabai (Capsicum frutescens L.)*

Abstract

The hydroponic method is not a new thing among farmers, especially in areas that have insufficient land area for farming. One hydroponic method that is often used by farmers is the Nutrient Film Technique (NFT), because that method can be used and developed especially in areas that lack land for farming. However, hydroponic plants are very dependent on nutrient solutions and must be according to plant needs. In this research, an automatic system will be made for the process of mixing nutrient solutions in chili plants using EC and pH sensors to detect the electrical conductivity (EC) and power of hydrogen (pH) values of nutrients in the growth period. In this research using experiment method, to know the effect of independent variable with dependent variable that was controlled. From the calibration result of the sensor the error value of pH sensor is 10,77% and the EC sensor is 5,46%. Meanwhile, data retrieval of the prototype was tested at 15, 30, 45 and 60 minutes after the prototype was running. The results of EC control at that time sequentially are 1324,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1369,63

$\mu\text{S}/\text{cm}$; 1347,74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and 1325,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Meanwhile, the results of controlling pH at that time sequentially are 6,23; 5,90; 5,78 and 6,17. The result from this research has prospects for the next research to determine a data communication method to send the pH and EC controlling the result to the user by realtime.

\Keywords: *Nutrient Film Technique*, pH sensor, EC sensor, nutrient solutions, chili (*Capsicum frutescens L.*).

PENDAHULUAN

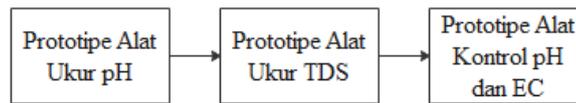
Hidroponik merupakan salah satu metode dalam budidaya tanaman, metode hidroponik memberikan keuntungan dari segi kerapian dan efisiensi tanaman yang dibudidayakan karena metode ini tidak menggunakan media tanah melainkan menggunakan air sebagai media tanamnya. Metode hidroponik menggunakan larutan nutrisi mineral dalam air untuk proses pertumbuhan tanaman. Terdapat 6 jenis teknik hidroponik, yaitu *wick*, *deep water culture*, *EBB and flow (Flood & Drain)*, *Drip (recovery* atau *non recovery)*, *nutrient film technique* dan *aeroponic*. Terdapat ratusan variasi metode dalam sistem hidroponik namun semua metode hidroponik adalah variasi dan kombinasi dari 6 jenis dasar (Domingues dkk, 2012). Pada penelitian ini digunakan metode NFT. NFT adalah singkatan dari *Nutrient Film Technique*. Kata *film* dikarenakan tanaman tumbuh pada aliran tipis yang menyerupai lapisan *film*. Konsep dasar NFT ini adalah suatu metode budidaya tanaman dengan akar tanaman tumbuh pada lapisan nutrisi yang dangkal dan bersirkulasi sehingga tanaman dapat memperoleh cukup air, nutrisi dan oksigen. Sistem hidroponik NFT dapat digunakan di lahan terbatas maupun mengoptimalkan lahan yang tersedia.

Unsur utama tanaman hidroponik dengan media utama air maka selain faktor suhu dan kelembaban, ketergantungan terhadap larutan nutrisi menjadi salah satu faktor penentu yang paling penting dalam menentukan hasil dan kualitas pertumbuhan tanaman. (Toshiki, 2012). Ada dua variabel utama yang harus diperhatikan dalam membuat larutan nutrisi, yaitu EC dan pH. Perubahan tingkat pH akan berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis tanaman karena CO_2 mudah larut dalam air dan menurunkan pH. Karena nilai pH dapat berpengaruh terhadap aktivitas fotosintesis tanaman, maka tingkat pH dalam larutan air harus dikontrol untuk menghindari tanaman dari kerusakan (Saaid dkk, 2015).

Konsentrasi EC pada larutan nutrisi di hidroponik dapat mewakili jumlah total garam dalam larutan nutrisi yang juga merupakan indikator jumlah ion untuk tanaman. Nilai EC yang tinggi menghambat serapan hara dengan meningkatkan tekanan osmotik, sedangkan nilai EC yang rendah dapat mempengaruhi kesehatan tanaman (Ibrahim dkk, 2015). Pada tanaman cabai, pH yang direkomendasikan adalah di antara rentang 5,5 sampai 6,5 (Umah, 2012). Untuk Nilai pH dapat ditingkatkan dengan menambahkan larutan basa seperti natrium karbonat (Na_2CO_3), serta nilai dapat diturunkan dengan menambahkan larutan asam seperti asam asetat (CH_3COOH). Sedangkan larutan nutrisi untuk proses penanaman hidroponik cabai membutuhkan nilai EC berbeda-beda pada setiap fase. Konsentrasi EC harus rendah, pada fase tanaman kecil atau belum dewasa, nilai EC berkisar antara 1 mS/cm sampai 1,5 mS/cm. Setelah dewasa atau menjelang berbunga atau berbuah, nilai EC bisa ditingkatkan sampai 2,5 mS/cm sampai 4 mS/cm (Sopian Asmana dkk, 2017). Untuk waktu masa panen tanaman cabai dilakukan saat buah cabai menunjukkan matang panen, yaitu saat umur tanaman berumur 80 hari sampai 90 hari setelah tanam (Suherman dkk, 2018).

Manfaat dari penelitian ini adalah hasil penelitian dapat dijadikan sebagai sarana pemantauan nilai pH dan EC pada tanaman cabai sehingga dapat melakukan pengontrolan terhadap nutrisi yang diberikan. Dan hasil yang akan diperoleh pada penelitian ini berupa data pengujian prototipe berupa

pengontrolan nilai pH dan EC pada larutan nutrisi hidroponik tanaman cabai. Berikut merupakan kerangka berpikir pengembangan yang digunakan pada penelitian ini.

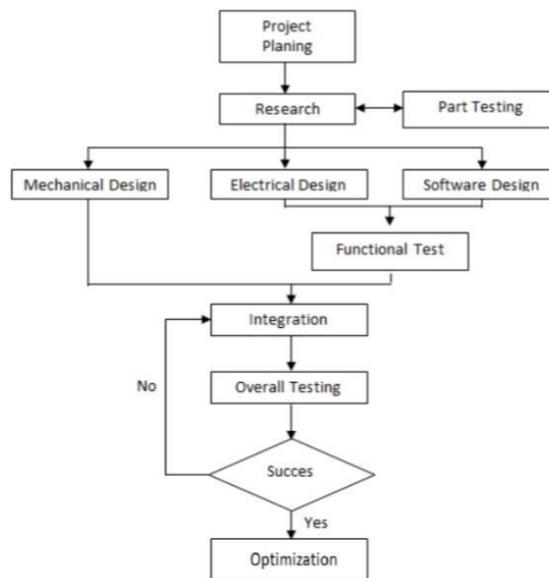


Gambar 1. Kerangka Berpikir Pengembangan

METODE

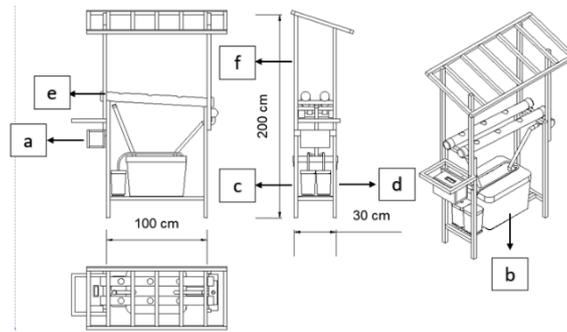
Penelitian ini dilaksanakan pada 1 Februari 2021 hingga 1 Juli 2021 di Cimahi, Jawa Barat. Jenis data yang akan didapatkan pada penelitian ini yaitu data kuantitatif dimana data yang didapatkan berupa angka atau bilangan yang mana data akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan hasil dan kesimpulannya. Teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu teknik observasi atau eksperimen berupa pengamatan atau pengambilan data secara langsung dengan cara melakukan kegiatan pengukuran yang mana data yang didapatkan dicatat pada lembar kerja untuk diolah.

Metode yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Metode Penelitian

Pada gambar 2 dijelaskan sebagai berikut Perencanaan Proyek Penelitian (Project Planning), spesifikasi dan kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang akan Digunakan dalam pembuatan prototipe pengendali pH dan EC. Penelitian (Research), alat ini membutuhkan tenaga portable sehingga dapat digunakan dimana saja. Mikrokontroler yang digunakan harus berukuran kecil sehingga dapat menghemat tempat. Sensor yang digunakan harus dapat mendeteksi nilai pH dan EC secara akurat. Pengetesan Komponen (Part Testing), komponen yang dites merupakan komponen masukan, keluaran dan pemroses. Setelah itu dilakukan perancangan mekanik, elektrik dan perangkat lunak. Perancangan mekanik meninjau terkait konstruksi dan material dari prototipe yang akan dibuat. Untuk konstruksi instalasi hidroponik terbuat dari kayu dan pipa air untuk aliran air pada instalasi hidroponik yang terbuat dari plastik jenis polivinil klorida dan wadah mikrokontroler terbuat dari boks plastik jenis polipropilena. Berikut merupakan konstruksi dari prototipe yang dibuat.

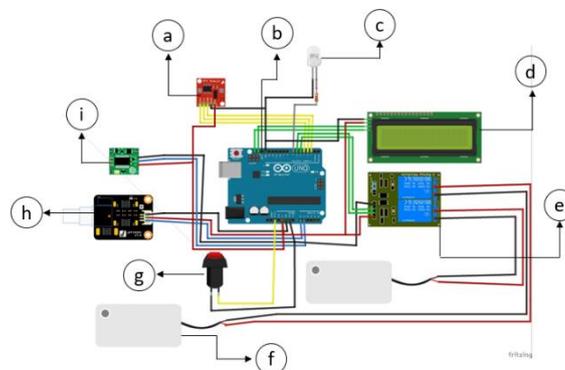


Gambar 3. Konstruksi Prototipe

Berikut merupakan uraian denah konstruksi prototipe yang terdapat pada gambar 3:

1. Boks komponen elektronik
2. Tangki pencampuran nutrisi
3. Tandon air
4. Tandon nutrisi
5. Pipa hidroponik
6. Rangka kayu

Pada perancangan elektronik meninjau terkait komponen elektronik yang digunakan pada pembuatan prototipe. Pada prototipe ini, komponen elektronik yang digunakan adalah Arduino Uno sebagai mikrokontroler, sensor pH berfungsi untuk mengukur kadar pH pada larutan nutrisi hidroponik, sensor EC berfungsi untuk mengukur kadar EC pada larutan nutrisi hidroponik, modul RTC berfungsi sebagai pewaktu, relay berfungsi sebagai saklar otomatis dan lampu LED berfungsi sebagai indikator masa tanam telah selesai. Berikut merupakan gambar sketsa rangkaian elektrik pada prototipe yang dibuat.



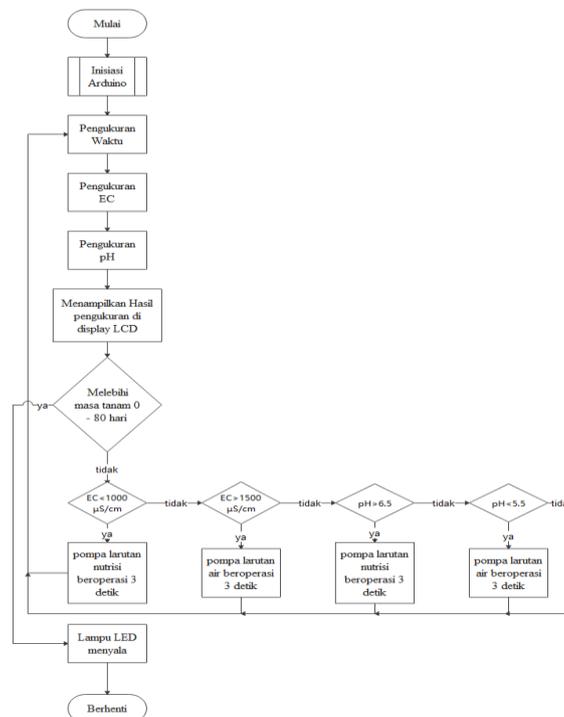
Gambar 4. Sketsa Elektronik Prototipe

Berikut merupakan uraian denah rangkaian elektronik yang terdapat pada gambar 4:

1. Modul RTC
2. Mikrokontroler Arduino Uno
3. Lampu LED
4. Layar LCD
5. Relay 5 VDC
6. Pompa
7. Saklar *Latch*
8. Sensor EC
9. Sensor pH

Pada perancangan perangkat lunak meninjau terkait alur kerja sistem yang akan dibuat meliputi

masuk ke sistem, pengolahan data oleh sistem dan keluaran yang dihasilkan sistem. Pada prototipe ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengontrol rangkaian elektronik sekaligus sebagai pengambil keputusan terkait masukan dan keluaran dari sistem prototipe yang dibuat. Untuk mengoperasikan Arduino Uno dibutuhkan perangkat lunak yang telah terinstall di komputer berupa Arduino IDE. Setelah kode pemrograman telah selesai diunggah menuju Arduino Uno melalui Arduino IDE, maka mikrokontroler akan beroperasi sesuai dengan kode pemrograman yang telah dibuat. Berikut merupakan diagram alir dari prototipe yang dibuat.



Gambar 5. Diagram alir prototipe

Prinsip kerja pada prototipe ini yaitu sebelum menjalankan program, mikrokontroler terlebih dahulu melakukan inisiasi terhadap pin yang akan digunakan untuk kegiatan pengontrolan. Kemudian, modul RTC mulai melakukan pengukuran waktu yang terdiri detik, menit, jam, hari, bulan dan tahun sejak mikrokontroler dijalankan dan data pengukurannya dikirim menuju mikrokontroler. Setelah itu, sensor Total Dissolved Solid (TDS) akan melakukan pengukuran nilai padatan terlarut pada objek ukur dan kemudian akan dikonversi menjadi nilai konduktivitas listrik (EC) dan mengirimkan hasil pengukuran menuju mikrokontroler. Kemudian sensor derajat keasaman (pH) akan mengukur derajat keasaman pada objek ukur dan sensor pH akan mengirimkan hasil pengukuran menuju mikrokontroler. Lalu, mikrokontroler akan mengirimkan hasil pengukuran sensor pH dan sensor TDS menuju layar LCD untuk ditampilkan. Setelah itu, mikrokontroler akan mengambil keputusan terkait lamanya masa tanam berdasarkan nilai setpoint yang telah diinisiasi pada mikrokontroler. Jika prototipe telah beroperasi lebih dari 80 hari yang menandakan masa tanam cabai telah selesai, maka lampu LED akan menyala. Jika prototipe telah beroperasi kurang dari 80 hari, maka mikrokontroler akan beralih menuju proses pengontrolan selanjutnya. Jika nilai EC yang terukur kurang dari 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, maka pompa larutan nutrisi akan beroperasi 3 detik. Jika tidak, maka pengontrolan akan beroperasi ke proses selanjutnya yaitu penentuan keputusan. Jika nilai EC yang terukur lebih dari 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, maka pompa larutan air akan beroperasi 3 detik. Jika tidak, maka pengontrolan akan beroperasi ke proses selanjutnya yaitu pengontrolan pH. Jika nilai pH yang terukur lebih dari 6,5, maka pompa larutan pupuk akan beroperasi 3 detik. Jika tidak, proses pengontrolan akan berlanjut ke proses selanjutnya. Jika nilai

pH yang terukur kurang dari 5,5, maka pompa larutan air akan beroperasi 3 detik dan seterusnya sampai pengukuran waktu pada modul RTC melebihi dari 80 hari dan kemudian lampu LED menyala yang menandakan proses pengontrolan telah berakhir.

Setelah perancangan mekanik, elektrik dan perangkat lunak telah selesai. Selanjutnya, rangkaian elektrik yang telah dirancang, diintegrasikan dengan program yang telah dibuat. Langkah selanjutnya yaitu, rangkaian elektrik yang telah terungguh dengan kode program kemudian diletakkan pada wadah sebagai tempat agar rangkaian elektrik tidak terpisah satu sama lain.

Ketika sudah terpasang semua komponen pada prototipe, kemudian dilakukan pengujian dan pengambilan data pada prototipe. Jika hasil pengambilan data dan pengujian prototipe sukses, maka prototipe akan dioptimasi sedemikian rupa agar sesuai dengan kondisi lapangan yang sebenarnya.

PEMBAHASAN

Hasil Pengenceran Larutan EC Standar

Larutan EC standar digunakan untuk memperoleh titik uji yang dikehendaki untuk kalibrasi sensor EC dengan cara melakukan pengenceran. Untuk mendapatkan larutan standar dengan titik uji yang diinginkan digunakan larutan EC standar berkonsentrasi sebesar 12880 $\mu\text{S/cm}$ yang diencerkan dengan menggunakan akuades. Titik uji yang digunakan adalah 1000 $\mu\text{S/cm}$, 1200 $\mu\text{S/cm}$, dan 1413 $\mu\text{S/cm}$.

Untuk mendapatkan larutan standar baru dengan nilai EC sebesar 1000 $\mu\text{S/cm}$ dibutuhkan volume larutan EC standar 12880 $\mu\text{S/cm}$ sebesar:

$$12880 \mu\text{S/cm} \times V_{1000} = 1000 \mu\text{S/cm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_{1000} = \frac{1000 \mu\text{S/cm} \times 100 \text{ mL}}{12880 \mu\text{S/cm}} = 7,76 \text{ mL}$$

Untuk mendapatkan larutan standar baru dengan nilai EC sebesar 1200 $\mu\text{S/cm}$ dibutuhkan volume larutan EC standar 12880 $\mu\text{S/cm}$ sebesar:

$$12880 \mu\text{S/cm} \times V_{1200} = 1200 \mu\text{S/cm} \times 100 \text{ mL}$$

$$V_{1200} = \frac{1200 \mu\text{S/cm} \times 100 \text{ mL}}{12880 \mu\text{S/cm}} = 9,31 \text{ mL}$$

Untuk larutan standar dengan nilai EC sebesar 1413 $\mu\text{S/cm}$ diambil karena langsung diperoleh dari produsen penyedia pelarut tersebut sehingga tidak dilakukan pengenceran lagi. Alasan digunakannya titik tersebut tanpa dilakukan pengenceran lagi adalah nilainya yang dekat dengan jangkauan pengukuran yang dilakukan oleh sensor pada prototipe yang dibuat.

Setelah mendapatkan jumlah volume larutan dari pengenceran dengan larutan EC standar sebesar 12880 $\mu\text{S/cm}$ untuk mendapatkan larutan dengan nilai konduktivitas yang diinginkan maka dapat ditentukan volume akuades yang digunakan dalam pengenceran tersebut. Dalam pembuatan larutan baru dengan nilai EC yang akan digunakan volume totalnya adalah 100 mL. Maka volume akuades yang dibutuhkan dapat dihitung dengan cara mengurangi 100 mL dengan volume larutan EC standar 12880 $\mu\text{S/cm}$ yang telah ditentukan untuk setiap titik uji yang dipilih.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Pengenceran Larutan EC Standar ($\mu\text{S/cm}$)

Larutan EC standar hasil pengenceran dalam 100 mL (M2)	Volume larutan EC standar 12880 $\mu\text{S/cm}$ (V1)	Volume akuades (V2)
1000 $\mu\text{S/cm}$	7,76 mL	92,24 mL
1200 $\mu\text{S/cm}$	9,31 mL	90,69 mL

Hasil Pengujian Kalibrasi Alat Ukur Nilai EC

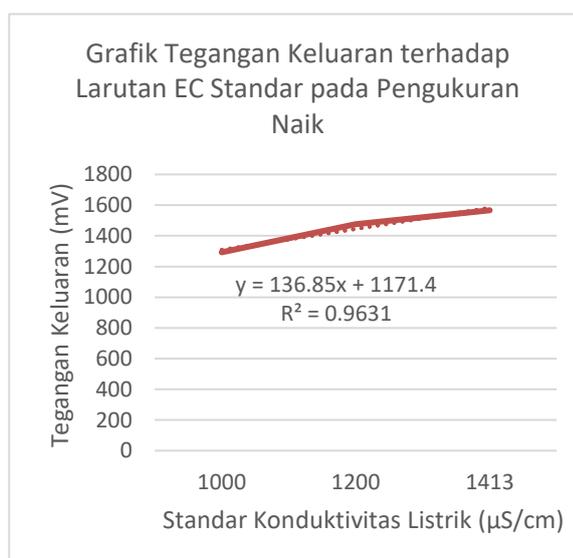
Pada pengujian kalibrasi alat ukur EC dilakukan pengambilan data di 3 titik konduktivitas dalam rentang 1000 – 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$. pengujian dilakukan dengan melakukan pengukuran naik dan turun. Pengambilan data dilakukan sebanyak 30 kali.

Tabel 2. Nilai Rerata Tegangan Keluaran Sensor EC

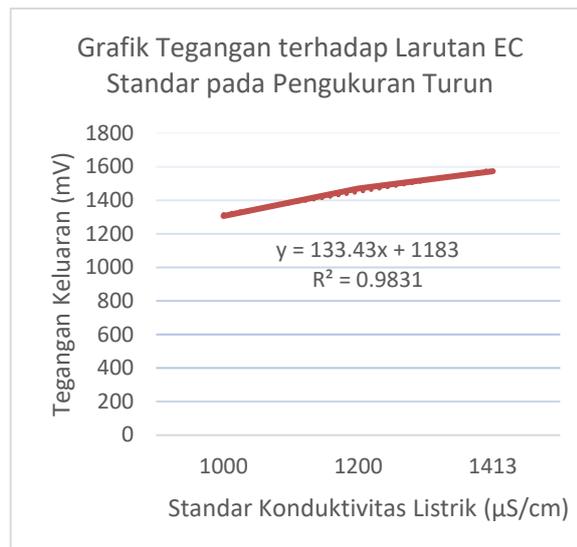
Input Standar Konduktivitas ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	V	Rerata Tegangan Keluaran (mV)	
		Naik	Turun
1000	10	1292,77	1306,29
1200	10	1476,05	1470,02
1413	10	1566,47	1573,15

Setelah didapatkan data pengukuran nilai konduktivitas listrik pada 3 titik ukur yang telah ditentukan, data tersebut kemudian dapat diolah untuk mendapatkan karakteristik dari alat ukur. Karakteristik tersebut antara lain bias, akurasi, presisi, eror, rerata eror dan histerisis. Karakteristik didapatkan dengan mengolah data dari yang telah diambil saat kalibrasi. Berdasarkan datasheet sensor yang digunakan tidak terdapat penjelasan mengenai faktor kalibrasi atau yang biasa disebut regresi yang dapat dijadikan acuan dalam perubahan input dari larutan EC standar menjadi acuan untuk perubahannya terhadap output yang berupa tegangan yang terbaca pada mikrokontroler. Faktor kalibrasi tersebut dapat ditentukan dengan cara memperhitungkan persamaan regresi. Persamaan regresi digunakan untuk plotting perubahan nilai input yang berupa konduktivitas menjadi keluaran yang berupa tegangan dan menentukan apakah sudah memenuhi karakteristik pengukuran yang baik atau belum.

Perbandingan antara masukan dan keluaran pada sensor EC dilakukan untuk mendapatkan karakteristik berupa linieritas, sedangkan karakteristik lainnya akan dijelaskan pada perbandingan nilai standar konduktivitas listrik dengan hasil pembacaan konduktivitas pada alat ukur.



Gambar 6. Grafik Tegangan Keluaran terhadap Larutan EC Standar pada Pengukuran Naik



Gambar 7. Grafik Tegangan Keluaran terhadap Larutan EC Standar pada Pengukuran Turun

Jika dilihat pada kedua gambar di atas persamaan yang digunakan untuk merumuskan hubungan standar konduktivitas listrik dan tegangan keluaran adalah persamaan linier. Persamaan linier dianggap menyatakan hubungan input konduktivitas dan tegangan keluaran karena bentuk persamaan tersebut digunakan oleh mikrokontroler untuk mengonversi sinyal tegangan yang ditransmisi oleh sensor. Pada Gambar 6 yang menggambarkan grafik pengukuran naik, nilai tegangan akan semakin besar pada nilai standar konduktivitas listrik yang nilainya besar. Pada Gambar 7 yang menggambarkan grafik pengukuran turun nilai tegangan akan semakin kecil pada nilai standar konduktivitas listrik yang semakin kecil. Grafik pengukuran naik pada Gambar 5 memiliki nilai linieritas R² sebesar 0,9631 pada pengukuran naik dan pada Gambar 6 untuk pengukuran turun memiliki nilai linieritas sebesar 0,9831. Berdasarkan nilai linieritas yang didapatkan dari pengolahan data tersebut memiliki nilai linieritas yang mendekati 1 maka sensor dianggap sudah baik dalam hal ini memberikan nilai tegangan keluaran yang sebanding dengan nilai masukan berupa konduktivitas yang terdapat pada larutan baik dalam pengukuran naik maupun pengukuran turun.

Pengujian dilakukan juga bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan larutan EC standar yang diukur. Keluaran yang didapat dari sensor ditransmisikan ke mikrokontroler untuk selanjutnya dikalkulasi dengan menggunakan persamaan yang dituliskan pada pemrograman. Persamaan tersebut yaitu $y = 661,90 + 0,65x$ yang didapatkan dari perhitungan data tegangan sensor yang dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi linier. Hal ini dilakukan karena jika dilakukan menggunakan persamaan regresi dari persamaan histerisis, hasil yang didapatkan tidak akurat dan acak. Dimana y adalah tegangan keluaran yang didapat dari pengukuran sensor, dan x adalah nilai konversi ke satuan µS/cm. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan karakteristik lainnya yang tercantum pada tabel berikut ini.

Tabel 3. Karakteristik Sensor EC Pengukuran Naik

Titik Uji (µS/cm)	Rerata Hasil Pengukuran (µS/cm)	Bias (µS/cm)	Standar Deviasi (µS/cm)	Akurasi (%)	Eror (%)	Presisi (%)
1000	1084,39	-84,39	0,77	91,33	8,67	99,78
1200	1227,93	-27,93	1,92	97,19	2,81	99,53
1413	1501,81	-88,81	0,77	93,54	6,45	99,84
Rata-Rata		-67,05	1,15	94,02	5,97	99,72

Tabel 4. Karakteristik Sensor EC Pengukuran Turun

Titik Uji ($\mu\text{S/cm}$)	Rerata Hasil Pengukuran ($\mu\text{S/cm}$)	Bias ($\mu\text{S/cm}$)	Standar Deviasi ($\mu\text{S/cm}$)	Akurasi (%)	Error (%)	Presisi (%)
1000	1071,89	-71,89	1,30	92,42	7,58	99,63
1200	1203,51	-3,51	0,00	99,70	0,29	100,00
1413	1506,78	-93,78	1,73	92,99	7,00	99,65
Rata-Rata		-56,39	1,01	95,04	4,96	99,76

Tabel 5. Rerata Error dan Hysteresis

Titik Uji ($\mu\text{S/cm}$)	Rerata Error (%)	Hysteresis ($\mu\text{S/cm}$)
1000	8,13	12,50
1200	1,55	24,42
1413	6,73	4,97

Data pada tabel-tabel di atas merupakan hasil pengukuran naik dan turun nilai konduktivitas listrik dari sensor EC yang digunakan pada prototipe alat ukur. Pada kedua pengukuran yang dilakukan, nilai bias bernilai negatif. Nilai bias dapat dilihat pada tabel 3 dan 4. Hal tersebut menunjukkan bahwa kecenderungan pembacaan nilai konduktivitas listrik pada alat ukur bernilai lebih besar daripada nilai larutan standar yang diukur. Pada pengukuran naik bias terbesar terdapat di titik 1413 $\mu\text{S/cm}$ yaitu sebesar -88,81 $\mu\text{S/cm}$ dan bias terkecil terdapat pada titik uji 1000 $\mu\text{S/cm}$ yaitu sebesar -27,93 $\mu\text{S/cm}$ dengan rerata bias sebesar -67,05 $\mu\text{S/cm}$. Hal yang sama juga terjadi pada pengukuran turun. Untuk pengukuran turun, bias terbesar ada pada titik pengujian 1413 yaitu sebesar -93,78 $\mu\text{S/cm}$ sedangkan untuk titik pengujian dengan bias terkecil adalah pada titik 1200 $\mu\text{S/cm}$ yaitu sebesar -3,51 $\mu\text{S/cm}$ dengan rerata bias sebesar -56,39 $\mu\text{S/cm}$. Nilai bias pada pengukuran turun lebih kecil dikarenakan sensor dapat cenderung menjadi lebih stabil pengkondisiannya jika diberi waktu lebih lama.

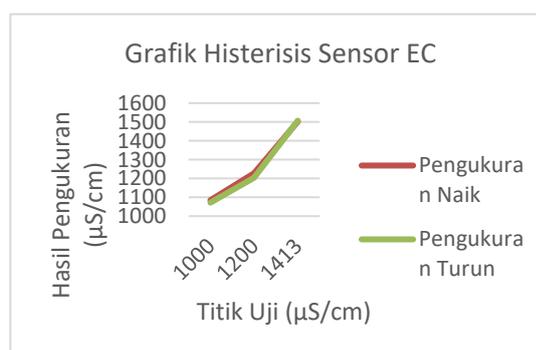
Berdasarkan nilai bias yang didapatkan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai error pembacaan hasil pengukuran pada alat ukur. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan telah didapatkan nilai perhitungan pada Tabel 5. Pada pengukuran naik nilai error berada pada 2,81 – 8,67 % dimana nilai error terkecil berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S/cm}$ dan error terbesar terdapat pada titik pengujian 1431 $\mu\text{S/cm}$ dengan rerata error pengukuran naik sebesar 5,97%. Sedangkan pada pengukuran turun rentang error sebesar 0,29 % – 7,58 % dimana nilai error terkecil berada pada titik 1200 $\mu\text{S/cm}$ dan error terbesar berada pada titik 1000 $\mu\text{S/cm}$ dengan nilai rerata error pengukuran turun sebesar 4,96%. Sedangkan untuk error keseluruhan yang merupakan rerata dari error pengukuran naik dan pengukuran turun dapat dilihat pada Tabel 5. Berdasarkan hasil pengamatan pada pengujian alat, error dapat disebabkan oleh dua hal yaitu berasal dari alat yang digunakan atau kesalahan acak yang berada di luar kontrol dan error yang kedua disebabkan oleh larutan standar yang belum tercampur atau diaduk secara merata pada setiap bagiannya. Pada proses pengenceran, saat pencampuran dengan pelarut larutan konduktivitas sudah terkondisi hingga terlarut dengan baik dan tidak terlihat endapan secara kasat mata. Pengukuran juga dilakukan pada saat campuran sudah selesai diaduk dan diasumsikan larutan dalam gelas ukur sudah tercampur dengan baik tanpa ada lagi endapan. Probe diletakkan pada tengah larutan untuk menghindari kemungkinan pengukuran pada larutan yang tidak tercampur atau endapan yang belum tercampur secara kasat mata karena partikel cairan yang berukuran sangat kecil.

Dari hasil perhitungan error sebelumnya dapat ditentukan pula nilai karakteristik pengukuran yang lainnya yaitu akurasi. Akurasi adalah kedekatan nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Akurasi dapat dihitung dengan perhitungan 100% dikurangi dengan nilai error. Data hasil perhitungan akurasi telah dirangkum pada Tabel 3 untuk akurasi pengukuran naik dan pada Tabel 4 untuk akurasi

pengukuran turun. Pada pengukuran naik, nilai akurasi tertinggi berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sebesar 97,19% dengan nilai akurasi terendah berada pada titik uji 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan rerata akurasi untuk pengukuran naik sebesar 94,02%. Sedangkan untuk pengukuran turun nilai akurasi tertinggi berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai akurasi terendah berada pada titik uji 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan rerata nilai akurasi untuk pengukuran turun sebesar 95,04%. Faktor yang mempengaruhi nilai akurasi kurang lebih sama dengan faktor yang menyebabkan besarnya nilai error.

Karakteristik pengukuran lainnya yang dapat dikalkulasi pada pengujian sensor EC adalah presisi. Presisi adalah kedekatan nilai-nilai pengukuran pada titik ukur yang sama. Pada sensor analog yang digunakan, data hasil pengukuran sensor untuk menentukan posisinya tidak dapat langsung diambil setelah probe sensor diletakkan di dalam larutan EC standar. Hal ini disebabkan karena sensor analog membutuhkan waktu untuk mendapatkan nilai penunjukkan stabil sesuai titik uji. Oleh karena itu pada pengujian yang dilakukan diberikan rentang waktu 5 menit pada pengambilan data pertama dan rentang waktu 30 detik untuk setiap data yang diambil. Variabel yang diperlukan untuk menghitung presisi adalah standar deviasi. Maka data yang didapat diolah dengan cara terlebih dahulu menghitung standar deviasi kemudian menghitung nilai posisinya. Nilai presisi tertinggi untuk pengukuran naik berada pada titik uji 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai presisi terendah untuk pengukuran naik berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan nilai rerata nilai presisi pada pengukuran naik sebesar 99,72%. Sedangkan pada pengukuran turun nilai presisi tertinggi berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan nilai presisi terendah pada titik 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dengan rerata nilai presisi untuk pengukuran turun sebesar 99,76%. Nilai presisi yang semakin tinggi berarti perbedaan hasil pengukuran pada titik yang sama semakin kecil. Sedangkan untuk nilai presisi yang semakin rendah berarti perbedaan hasil pengukuran semakin jauh pada titik yang sama. Jika dilihat dari rerata nilai presisi pengukuran naik dan pengukuran turun hasilnya menunjukkan tingkat presisi yang sudah sangat baik.

Karakteristik berikutnya yaitu histerisis. Pengukuran yang dilakukan dengan dua kondisi yaitu naik dan turun bertujuan untuk mendapatkan nilai histerisis pada alat ukur. Histerisis adalah salah satu jenis karakteristik statis dalam pengukuran yang menunjukkan penyimpangan yang timbul apabila pengukuran dilakukan pada titik yang sama namun dengan dua arah yang berlawanan. Berdasarkan hasil perhitungan histerisis yang terdapat pada Tabel 5 nilai histerisis terkecil berada pada titik uji 1431 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yaitu sebesar 4,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sedangkan nilai histerisis tertinggi berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yaitu sebesar 24,42 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dari nilai yang didapat tersebut dapat diketahui bahwa pengukuran pada 1431 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tidak menunjukkan nilai yang berbeda jauh, sedangkan untuk nilai histerisis yang terbesar pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dapat disebabkan oleh pengaruh waktu penundaan pengambilan data. Faktor lainnya dapat disebabkan oleh pengaruh eksternal seperti pada saat pengujian dan diatur penundaan setiap titiknya kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban ruangan berubah sehingga hasil pengukuran juga dapat terpengaruh dan berubah nilainya sehingga terjadi penyimpangan. Adapun grafik histerisis data hasil kalibrasi sensor EC terdapat pada Gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Grafik Hysteresis Sensor EC

Hasil Pengujian Kalibrasi Alat Ukur Nilai pH

Pada pengujian kalibrasi alat ukur nilai pH, dilakukan pengambilan data di 3 titik pengujian nilai pH dalam rentang 4,00 – 9,18. Adapun standar yang digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui karakteristik sensor pH adalah buffer pH yang berbentuk bubuk yang dilarutkan dengan aquades sebanyak 100 mL dengan titik-titik pengujian berada pada nilai 4,00; 6,86; dan 9,18.

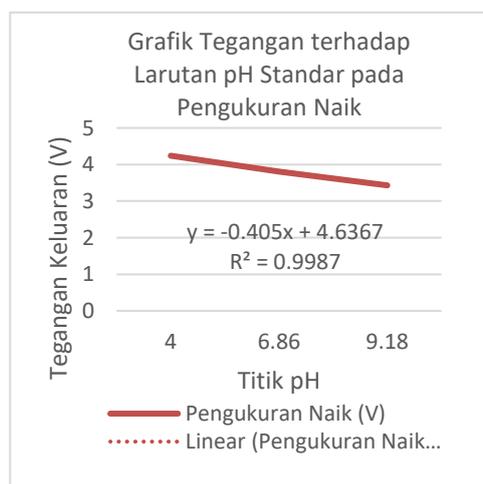
Tabel 6. Nilai Rerata Keluaran Tegangan Sensor pH

Standar pH	n	Rerata Keluaran Tegangan	
		Pengukuran Naik (V)	Pengukuran Turun (V)
4	30	4,24	4,29
6,86	30	3,81	3,82
9,18	30	3,43	3,43

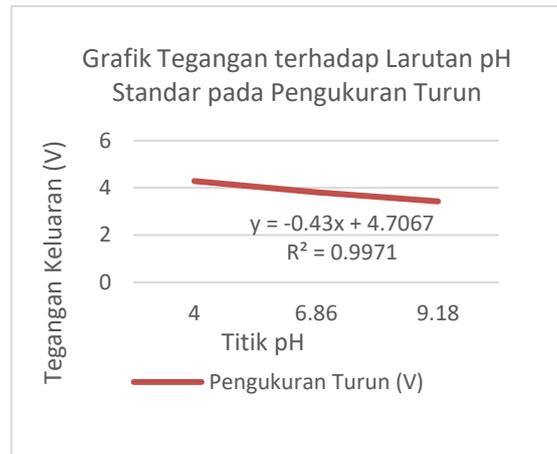
Setelah mendapatkan data pengukuran naik dan turun pada sensor pH pada 3 titik ukur yang ditentukan, data kemudian dapat diolah untuk mendapatkan karakteristik dari alat ukur. Karakteristik tersebut antara lain bias, akurasi, presisi, eror, rerata eror dan hysteresis. Karakteristik didapatkan dengan mengolah data dari yang telah diambil saat kalibrasi. Berdasarkan datasheet sensor yang digunakan tidak terdapat penjelasan mengenai faktor kalibrasi atau yang biasa disebut regresi yang dapat dijadikan acuan dalam perubahan input dari larutan penyangga pH standar menjadi acuan untuk perubahannya terhadap keluaran sensor berupa tegangan yang terbaca pada mikrokontroler. Faktor kalibrasi tersebut dapat ditentukan dengan cara memperhitungkan persamaan regresi. Persamaan regresi digunakan untuk plotting perubahan nilai input yang berupa nilai larutan pH standar menjadi keluaran yang berupa tegangan dan menentukan apakah sudah memenuhi karakteristik pengukuran yang baik atau belum.

Oleh karena itu dilakukan perbandingan antara masukan dan keluaran pada sensor pH yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik berupa linieritas. Untuk karakteristik lainnya akan dijelaskan pada perbandingan nilai larutan pH standar dengan hasil pembacaan pH pada alat ukur. Adapun hubungan antara nilai masukan pH dengan tegangan keluaran dapat dilihat pada Tabel 6.

Pada Gambar 9 berikut ini menunjukkan grafik tegangan terhadap nilai larutan pH standar pada pengukuran naik. Sedangkan pada Gambar 10 di bawah ini menunjukkan grafik tegangan terhadap nilai larutan pH standar pada pengukuran turun.



Gambar 9. Grafik Tegangan Keluaran terhadap Larutan pH Standar pada Pengukuran Naik



Gambar 10. Grafik Tegangan Keluaran terhadap Larutan pH Standar pada Pengukuran Turun

Pada Gambar 9 dan 10 persamaan yang digunakan untuk merumuskan hubungan antara masukan larutan pH standar dan tegangan keluaran adalah persamaan linier. Persamaan linier dianggap menyatakan hubungan input nilai pH dan output berupa tegangan karena bentuk persamaan tersebut digunakan kembali pada mikrokontroler untuk mengubah sinyal tegangan yang ditransmisi dari sensor ke nilai pengukuran pH yang sebenarnya.

Pada Gambar 9 yang merupakan grafik pengukuran naik nilai tegangan akan semakin kecil di setiap titik larutan pH standar yang semakin besar. Begitu juga pada Gambar 10 yang merupakan grafik pengukuran turun, nilai tegangan akan semakin besar di setiap titik larutan pH standar yang semakin kecil. Hubungan antara masukan dan keluaran jika dilihat pada Gambar 9 dan 10 ini berbanding terbalik, semakin besar masukan maka akan semakin kecil keluarannya. Maka semakin asam larutan pH yang digunakan maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin besar dan sebaliknya jika larutan cenderung basa maka tegangan keluaran yang dihasilkan akan semakin kecil. Kedua gambar grafik tersebut memiliki nilai linieritas (R^2) mendekati 1 yaitu 0,9887 pada pengukuran naik dan 0,9971 pada pengukuran turun. Berdasarkan nilai linieritas yang didapatkan dari pengolahan data tersebut memiliki nilai linieritas yang mendekati 1 maka sensor dianggap sudah baik dalam hal ini memberikan nilai tegangan keluaran yang sebanding dengan nilai masukan berupa nilai pH standar yang terdapat pada larutan baik dalam pengukuran naik maupun pengukuran turun.

Pengujian dilakukan juga bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran dengan larutan pH standar yang diukur. Tegangan keluaran yang didapat dari sensor ditransmisikan menuju mikrokontroler untuk selanjutnya dikalkulasi dengan menggunakan persamaan yang dituliskan pada pemrograman. Persamaan tersebut yaitu $y = 4,844 + 0,150x$ yang didapatkan dari perhitungan data tegangan sensor yang dilakukan dengan menggunakan persamaan regresi linier. Hal ini dilakukan karena jika dilakukan menggunakan persamaan regresi dari persamaan histerisis, hasil yang didapatkan tidak akurat dan acak. Dimana y adalah tegangan keluaran yang didapat dari pengukuran sensor, dan x adalah nilai konversi ke nilai pH. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan karakteristik lainnya yang tercantum pada tabel berikut ini.

Tabel 7. Karakteristik Sensor pH Pengukuran Naik

Titik Uji	Rerata Hasil Pengukuran	Bias	Standar Deviasi	Akurasi (%)	Error (%)	Presisi (%)
4,00	3,96	0,04	0,29	76,67	23,32	77,50
6,86	6,76	0,10	0,15	91,94	8,06	93,32
9,18	9,07	0,11	0,07	96,50	3,49	97,63
Rata-rata		0,08	0,17	88,37	11,62	89,48

Tabel 8. Karakteristik Sensor pH Pengukuran Turun

Titik Uji	Rerata Hasil Pengukuran	Bias	Standar Deviasi	Akurasi (%)	Error (%)	Presisi (%)
4,00	3,99	0,001	0,29	78,55	21,45	78,56
6,86	6,82	0,03	0,10	95,03	4,97	95,52
9,18	9,06	0,12	0,06	96,65	3,34	97,88
Rata-rata		0,05	0,15	90,07	9,92	90,65

Tabel 9. Rerata Error dan Hysteresis

Titik Uji	Rerata Error (%)	Hysteresis
4	22,39	0,041
6,86	6,51	0,066
9,18	3,42	0,008

Data pada tabel-tabel di atas menunjukkan hasil pengukuran naik dan turun sensor pH yang digunakan pada prototipe alat ukur dan pengontrolan nilai pH dan EC pada hidroponik tanaman cabai. Pada kedua pengukuran yang telah dilakukan, penunjukan hasil pengukuran dan pengolahan nilai bias yang dihasilkan adalah bernilai positif. Data nilai bias pada pengukuran naik dan turun dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8. Nilai bias yang positif menunjukkan kecenderungan pembacaan nilai pH pada alat ukur yang bernilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai larutan pH standar yang diukur. Hal tersebut dapat dibuktikan dari nilai hasil pengukuran pada Tabel 7 dan 8. Dari hasil kalibrasi sensor pH didapatkan nilai bias terbesar berada pada titik uji 9,18 dengan bias sebesar 0,11 dan bias terkecil berada pada titik uji 4,00 dengan bias sebesar 0,04 dengan rerata nilai bias untuk pengukuran naik sebesar 0,08. Pada pengukuran turun, bias terbesar berada pada titik uji 9,18 dengan bias sebesar 0,12 dan bias terkecil berada pada titik uji 4,00 dengan bias sebesar 0,001 dengan rerata bias hasil pengukuran untuk pengukuran turun sebesar 0,05.

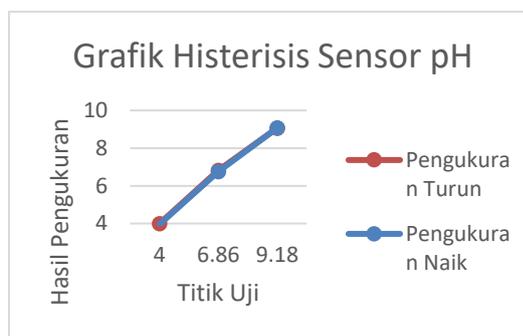
Berdasarkan nilai bias yang didapatkan kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai error pembacaan hasil pengukuran pada alat ukur. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan telah didapatkan nilai error pada setiap titik uji yang ditunjukkan pada Tabel 7 dan 8. Pada pengukuran naik, nilai error pada sensor pH berada pada rentang 3,49 % sampai 23,32% dimana error terkecil berada pada titik uji 9,18 dan error terbesar berada pada titik uji 4,00 dengan rerata error pada pengukuran naik sebesar 11,62%. Sedangkan pada pengukuran turun, error yang terjadi berada pada rentang 3,34 % sampai 21,45% dimana error terkecil berada pada titik uji 9,18 dan error terbesar berada pada titik uji 4,00 dengan rerata nilai error pada pengukuran turun sebesar 9,92%. Sedangkan untuk rerata error pada setiap titik uji untuk pengukuran naik dan turun pada sensor pH dapat dilihat pada tabel 9. Berdasarkan dari hasil pengamatan error yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor pertama karena kemampuan alat ukur yang digunakan atau kesalahan acak yang tidak dapat terlihat oleh mata. Faktor kedua dapat disebabkan oleh larutan pH standar yang belum terlarut secara merata di setiap bagian dari gelas ukur yang digunakan untuk pengujian. Pada proses pelarutan bubuk pH standar dengan aquades 100 mL dipastikan agar semua partikel bubuk sudah terlarut dalam larutan campuran dengan sempurna agar tidak terdapat endapan yang dapat membuat hasilnya berbeda dari yang seharusnya. Pengukuran yang dilakukan adalah dengan cara meletakkan probe sensor pH pada bagian tengah larutan untuk menghindari probe mengukur bagian larutan yang kemungkinan terdapat endapan yang tidak terlihat karena partikelnya yang berukuran sangat kecil. Selain itu, error dapat

disebabkan oleh perbedaan jenis gelas ukur yang digunakan untuk setiap titik uji. Hal ini dapat menyebabkan timbulnya ketidakpastian volume yang tidak diperhitungkan pada pengujian, sehingga mempengaruhi nilai error yang terjadi.

Dari hasil perhitungan error dapat diketahui karakteristik pengukuran lainnya yaitu akurasi. Akurasi adalah kedekatan nilai hasil pengukuran dengan nilai sebenarnya. Akurasi dapat dikalkulasi menggunakan perhitungan 100% dikurangi nilai error pada sensor. Data hasil perhitungan akurasi dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8. Pada pengukuran naik, nilai akurasi tertinggi berada pada titik uji 9,18 dengan nilai akurasi sebesar 96,50% dan nilai akurasi terendah berada pada titik uji 4,00 yaitu sebesar 76,67% dengan rerata akurasi pengukuran untuk pengukuran naik sebesar 88,37%. Sedangkan untuk pengukuran turun nilai akurasi terbesar berada pada titik uji 9,18 dengan nilai akurasi sebesar 96,65% dan nilai akurasi terendah berada pada titik uji 4,00 yaitu sebesar 78,54% dengan rerata nilai akurasi untuk pengukuran turun sebesar 90,07%. Nilai akurasi akan berbanding terbalik dengan nilai error. Maka titik uji yang memiliki eror tertinggi akan memiliki nilai akurasi yang terendah dan sebaliknya titik uji yang memiliki eror terendah akan memiliki nilai akurasi yang tertinggi.

Karakteristik pengukuran lainnya yaitu presisi. Presisi merupakan kedekatan nilai dari banyak data hasil pengukuran pada titik ukur yang sama. Pada sensor berjenis analog yang digunakan data hasil pengukuran sensor untuk menentukan nilai posisinya tidak dapat langsung diambil setelah sensor diletakkan pada larutan pH standar karena sensor jenis analog membutuhkan waktu untuk mendapatkan nilai yang stabil dan presisi sesuai dengan titik uji dan karakteristik pengukuran sensor itu sendiri. Oleh karena itu pada pengujian yang dilakukan digunakan waktu tunda selama 30 detik hingga alat ukur menunjukkan hasil yang stabil. Data hasil perhitungan standar deviasi dan nilai presisi dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8. Pada pengukuran naik nilai presisi tertinggi terdapat pada titik uji 9,18 dengan nilai presisi sebesar 97,64% dan nilai presisi terkecil berada pada titik uji 4,00 dengan nilai presisi sebesar 77,50% dengan rerata nilai presisi untuk pengukuran naik sebesar 89,48%. Sedangkan pada pengukuran turun nilai presisi terbesar berada pada titik uji 9,18 yaitu sebesar 97,88% dan nilai presisi terkecil berada pada titik uji 4,00 dengan nilai presisi sebesar 78,56% dengan rerata nilai presisi sebesar 90,65%. Nilai presisi yang semakin tinggi berarti perbedaan hasil pengukuran pada titik yang sama semakin kecil. Sedangkan untuk nilai presisi yang semakin rendah berarti perbedaan hasil pengukuran semakin jauh pada titik yang sama. Jika dilihat dari rerata nilai presisi pengukuran naik dan pengukuran turun hasilnya menunjukkan tingkat presisi yang sudah sangat baik.

Karakteristik pengukuran yang terakhir adalah histerisis. Pengukuran dilakukan dalam dua kondisi yaitu pengukuran naik dan turun. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai histerisis pada alat ukur atau sensor. Histerisis adalah karakteristik pengukuran yang menunjukkan penyimpangan yang timbul apabila pengukuran dilakukan dari arah yang berlawanan. Berdasarkan hasil perhitungan histerisis yang terdapat pada Tabel 9 nilai histerisis terkecil berada pada titik uji 9,18 yaitu sebesar 0,008 sedangkan nilai histerisis tertinggi berada pada titik uji 6,86 yaitu sebesar 0,06. Berdasarkan Tabel 9 nilai histerisis yang telah dihitung dari hasil pengukuran yang dilakukan diketahui bahwa pada kedua pengukuran tidak menunjukkan nilai yang jauh berbeda pada setiap titik ujinya. Adapun grafik histerisis data hasil kalibrasi sensor pH terdapat pada Gambar 11 di bawah ini.



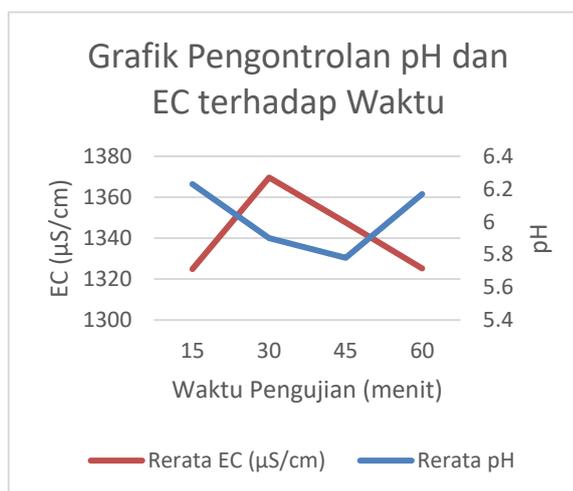
Gambar 11. Grafik Hysteresis Sensor pH

Data Pengujian Prototipe

Setelah dilakukan pengujian untuk masing-masing sensor pH dan EC, dilakukan pengujian prototipe saat dihubungkan dengan instalasi hidroponik tanaman cabai yang dibuat. Data yang diambil adalah data nilai pH dan EC yang diukur pada instalasi hidroponik berisi air sebanyak 4 liter dan larutan nutrisi dengan total 1 liter. Data diambil pada menit ke 15, 30, 45 dan 60 dari saat pertama kali sistem prototipe dinyalakan. Data diambil sebanyak 30 kali. Adapun data yang sudah di rerata dirangkum pada Tabel berikut ini.

Tabel 10. Rerata Nilai Pengontrolan pH dan EC pada Prototipe Terhadap Waktu

Waktu	Rerata pH	Rerata EC ($\mu\text{S/cm}$)
5 menit	6,23	1324,90
0 menit	5,90	1369,63
5 menit	5,78	1347,73
0 menit	6,17	1325,26



Gambar 12. Grafik Pengontrolan pH dan EC terhadap Waktu

Data tersebut merupakan data saat pengontrolan pH dan EC pada prototipe. Pengontrolan oleh prototipe yang dibuat bertujuan untuk menjaga nilai pH dan EC berada di dalam rentang pengukuran nilai yang direkomendasikan. Untuk tanaman cabai nilai pH yang direkomendasikan berada pada rentang 5,5 sampai 6,5 sedangkan nilai EC berada pada rentang 1000 $\mu\text{S/cm}$ sampai 1500 $\mu\text{S/cm}$. Berdasarkan Tabel 10 nilai pH dan EC untuk pengontrolan sudah berada pada rentang, dengan mengoperasikan waktu aktif pompa selama 3 detik dan waktu selama 5 detik untuk pompa dalam

kondisi tidak aktif. Sehingga penggunaan lama waktu jeda kondisi pompa aktif dan tidak aktif tersebut dianggap sesuai dengan prototipe yang dibuat karena sudah berhasil menjaga nilai pH dan EC berada dalam rentang yang direkomendasikan.

SIMPULAN

Pada prototipe alat kontrol nilai pH dan EC selama masa tanam pada hidroponik tanaman cabai yang dibuat, dari hasil uji kalibrasi pada 3 titik pengukuran untuk sensor EC diperoleh nilai error dan presisi keseluruhan berturut-turut sebesar 5,46% dan 99,76% dengan nilai linieritas $R^2 = 0,9631$ pada pengukuran naik dan $R^2 = 0,9831$ pada pengukuran turun. Dengan nilai histerisis tertinggi berada pada titik uji 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ yaitu sebesar 24,42 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Berdasarkan hasil uji kalibrasi pada 3 titik pengukuran untuk sensor pH diperoleh nilai error dan presisi keseluruhan berturut-turut 10,77% dan 89,48% dengan nilai linieritas untuk pengukuran naik $R^2 = 0,9987$ dan nilai linieritas untuk pengukuran turun sebesar $R^2 = 0,9971$. Dengan nilai histerisis tertinggi berada pada titik uji 4,00 yaitu sebesar 0,04.

Berdasarkan data pengujian, larutan nutrisi hidroponik untuk tanaman cabai memiliki nilai rerata EC dalam jangka waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit berturut-turut sebesar 1324,90 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1369,63 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 1347,74 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dan 1325,26 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai pengukuran EC sudah berada dalam rentang yang direkomendasikan untuk masa vegetatif tanaman cabai yaitu 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sampai 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Berdasarkan data pengujian larutan nutrisi hidroponik untuk tanaman cabai memiliki nilai rerata pH dalam jangka waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit dan 60 menit berturut-turut sebesar 6,23; 5,90; 5,78 dan 6,17. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai pengukuran pH sudah berada dalam rentang pH yang direkomendasikan untuk masa vegetatif tanaman cabai yaitu 5,5 sampai 6,5.

DAFTAR PUSTAKA

- Azmi, Z., Saniman. dan Ishak. 2016). *Sistem Penghitung pH Air pada Tambak Ikan Berbasis Mikrokontroler*. *Jurnal ilmiah INTIKOM*, 102.
- Anonim. 2021. *DFRobot TDS Sensor Datasheet*. DFRobot Website. <https://www.tme.eu/en/details/dfsens0161/sensormodules/dfrobot/sens0161>. [20 Februari 2021]
- Domingues, D.S., Takahashi, H.W., Camara, C.A.P. dkk. 2012. *Automated System Developed to Control pH and Concentration of Nutrient Solution Evaluated in Hydroponic Lettuce Production*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 53-61.
- Gozali, A. 2016. *Menanam Tomat Secara Hidroponik*. Sentral Hidroponik. <http://sentralhidroponik.blogspot.co.id/2016/10/menanam-tomat-secara-hidroponik.html>. [22 Februari 2021]
- Anonim. 2016. *Pengaruh pH Nutrisi Hidroponik Terhadap Pertumbuhan Tanaman*. Urban Hidroponik. <http://www.urbanhidroponik.com/2016/06/pengaruh-ph-nutrisi-hidroponik-pada-tanaman-hidroponik.html>. [24 Februari 2021]
- Irwan, F. dan Afdal, A. 2016. *Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air*. *Jurnal Fisika Unand*, 5(1), 85-93.
- Lingga, P. 2015) *Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Mujadin, A., Astharini, D. dan Samijayani, O, N. 2017. *Prototipe Pengendalian pH dan Elektro Konduktivitas Pada Cairan Nutrisi Tanaman Hidroponik*. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, 4(1).
- Pujiansyah. 2014. *Pembuatan Larutan dan Pengenceran*. Academia. https://www.academia.edu/10903577/Laporan_Kimia_Dasar_Pembuatan_Larutan_Dan_Pengenceran. [1 Maret 2021]
- Roslioni, R., & Sumarni, N. 2005. *Budidaya tanaman sayuran dengan sistem hidroponik*. Bandung: Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Anonim. 2016. *Conductivity K 1.0 Kit*. Atlas Scientific. https://www.atlascientific.com/product_pages/kits/ec_k1_0_kit.html. [4 Maret 2021]

- Umar, U. F., Akhmadi, Y. N. dan Sanyoto. 2016. *Mengenal, Membuat, & Menggunakan Larutan Nutrisi. In Jago Bertanam Hidroponik Untuk Pemula*. Jakarta: PT Agro Media Pustaka.
- Anonim. 2014. *Electrical conductivity (EC) dan TDS/ PPM hidroponik*. Hidroponik. <http://hidroponikuntuksemua.com/2014/09/08/electrical-conductivity-ec-dan-tds-ppm-hidroponik/>. [28 Juni 2021].