

## RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN KONDUKTIVITAS LISTRIK LARUTAN HIDROPONIK BERBASIS MIKROKONTROLER

### DESIGN AND DEVELOPMENT OF MICROCONTROLLER-BASED ELECTRICAL CONDUCTIVITY MEASUREMENT SYSTEM FOR HYDROPONIC SOLUTION

Faizal Ghearama Girindra<sup>1</sup>, Endang Rosdiana<sup>2</sup>, Asep Suhendi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

<sup>1</sup>faizalghearama03@gmail.com, <sup>2</sup>endang.rosdiana@gmail.com, <sup>3</sup>as.suhendi@gmail.com

#### Abstrak

Budidaya hidroponik adalah metode cocok tanam dengan menggunakan media air yang dicampur dengan nutrisi sebagai perantara pertumbuhan tanamannya. Budidaya hidroponik sedang diminati oleh masyarakat karena tidak menggunakan media tanah dan tidak memerlukan lahan yang luas untuk media tanamnya. Konsentrasi larutan nutrisi sangat mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman, sehingga perlu alat ukur untuk mengetahui nilai konsentrasi dari larutan tersebut. Konsentrasi dari larutan dapat ditinjau dari nilai konduktivitas listriknya (*electrical conductivity*). Pada penelitian ini dibuat alat ukur konduktivitas listrik atau EC meter berbasis mikrokontroler dengan menggunakan dua buah plat sejajar sebagai sensornya. Alat ukur yang dirancang memiliki nilai kesalahan pembacaan sebesar 1,54 %. Tingkat ketelitian (presisi) sebesar 90,10 % dengan ketepatan (akurasi) sebesar 88,15 %. Pada kondisi pengukuran satu larutan yang diubah nilainya secara bertahap dengan kondisi probe EC direndam terus-menerus didapatkan kesalahan pembacaan sebesar 5,38 %.

**Kata kunci :** *Electrical Conductivity, Probe EC, Mikrokontroler.*

#### Abstract

*Hydroponic cultivation is a method of planting using water mixed with nutrients as an intermediary for plant growth. Hydroponic cultivation is in demand by public because it does not use soil media and extensive land for planting media. The concentration of nutrient solution greatly affects the growth of plants, so a measuring instrument is needed to determine the concentration of the solution. The concentration of the solution can be monitored from its electrical conductivity value (electrical conductivity). In this study, an electric meter or EC meter based microcontroller was made using two parallel plates as the sensor. The designed measuring instrument has a reading error value of 1.54%. The device has the precision percentage of 90.10% with accuracy percentage of 88.15%. A method used is soaking the EC probe continuously in a gradually changing value of solution concentration. From this method, the device reading error is found to be 5.38%.*

**Keywords:** *Electrical Conductivity, EC Probe, Microcontroller.*

#### 1. PENDAHULUAN

Sekarang ini, sedang berkembang cara menanam pada lahan yang sempit, salah satunya adalah dengan cara budidaya hidroponik. Hidroponik adalah pembudidayaan tanaman tanpa menggunakan media tanah untuk menanam di mana teknik ini memanfaatkan pertumbuhan akar tanaman di dalam larutan nutrisi dengan kandungan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan mineral tanaman tersebut [1].

Pada sistem hidroponik, media tanam yang digunakan adalah air. Air yang digunakan pada budidaya hidroponik dicampur dengan nutrisi. Konsentrasi nutrisi pada sistem budidaya hidroponik merupakan parameter yang menentukan kualitas pertumbuhan dan hasil panen tanaman. Penambahan nutrisi yang tepat sangat mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman yang sedang ditanam [2]. Pemantauan terhadap konsentrasi larutan nutrisi merupakan hal penting yang perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil budidaya dengan maksimal [3].

Konsentrasi larutan nutrisi dapat direpresentasikan dengan nilai konduktivitas listrik atau *electrical conductivity* (EC) [3]. EC atau konduktivitas listrik adalah kemampuan materi untuk menghantarkan muatan listrik dari satu titik ke titik lain [4]. Nilai konsentrasi dari larutan nutrisi dapat dilakukan pendekatan pengukuran dengan seberapa besar EC yang terkandung pada larutan nutrisi. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan EC meter. Metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan arus listrik yang dialirkan pada dua buah probe elektroda yang dicelupkan pada larutan yang nantinya akan didapatkan nilai berupa tegangan [5]. Selama proses ini, kation berpindah ke elektroda negatif dan anion berpindah ke elektroda positif, larutan bertindak sebagai penghantar listrik [5]. Telah dilakukan penelitian untuk EC meter ini dengan berbagai macam metode, mulai dari metode dengan empat buah elektroda probe sensor [6], probe sensor dilapisi dengan silver [7], dan variasi dari beberapa bentuk probe sensor (silinder pejal, silinder berongga, dan plat tipis sejajar) [8].

Bahan yang digunakan untuk pembuatan probe sensor EC meter biasanya silver, tembaga, platina, stainless steel, dan aluminium. Aluminium digunakan sebagai probe sensor karena memiliki daya hantar listrik yang baik,

selain itu penggunaan aluminium ini untuk mencegah terjadinya korosi dan memiliki harga beli yang ekonomis. Korosi yang terjadi pada probe sensor yang digunakan dapat menyebabkan menurunnya kualitas pembacaan dari alat ukur tersebut [7]. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah sistem pengukuran EC yang terdiri dari probe sensor berbahan aluminium, sumber arus AC, mikrokontroler, pengkondisi sinyal, dan LCD sebagai display. Sistem pengukuran diharapkan dapat mengukur nilai resistansi pada larutan nutrisi, nilai resistansi yang didapatkan akan dikonversi menjadi nilai konduktivitas listrik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Hidroponik

Budidaya hidroponik merupakan budidaya menanam dengan sistem tanam yang tidak menggunakan media tanah. Hidroponik merupakan teknologi bercocok tanam dengan menggunakan air, nutrisi, dan oksigen. Secara lain budidaya hidroponik merupakan teknik bertanam dengan menggunakan air yang mengandung campuran hara. Aspek yang perlu diperhatikan dalam budidaya hidroponik adalah konsentrasi dari campuran air dengan nutrisi yang digunakan karena setiap tanaman yang ditanam memiliki kebutuhan akan nutrisi yang berbeda-beda. Pendekatan pengukuran untuk konsentrasi larutan nutrisi adalah dengan mengukur konduktivitas listrik atau *electrical conductivity* (EC) [2].

### 2.2 Hukum Ohm

Hukum ohm dinyatakan sebagai besar arus listrik (I) yang mengalir melalui penghantar berbahan konduktor berbanding lurus dengan beda potensial atau tegangan (V) dan berbanding terbalik dengan hambatannya (R) [9]. Jika pernyataan tersebut ditulis secara matematis maka didapatkan perumusan:

$$V = I \cdot R \quad (1)$$

Dimana:

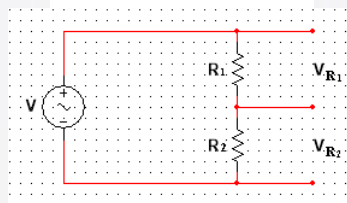
V: Tegangan listrik (Volt)

I: Arus listrik yang mengalir (Ampere)

R: Hambatan listrik (Ohm)

### 2.3 Pembagi Tegangan

Rangkaian pembagi tegangan merupakan rangkaian yang biasa digunakan untuk membagi tegangan atau mengkonversi resistansi menjadi sebuah tegangan [10]. Berikut ini gambar rangkaian pembagi tegangan pada penelitian, tegangan (V) dapat diasumsikan sebagai signal generator AC dan  $R_2$  sebagai hambatan air larutan nutrisi.  $V_{R_1}$  dan  $V_{R_2}$  sebagai tegangan output pada masing-masing hambatan. Pada gambar 2.1 menunjukkan rangkaian pembagi tegangan.



Gambar 2.1 Rangkaian Pembagi Tegangan.

Dapat dilihat bahwa sumber tegangan (V) akan mengalirkan arus melewati  $R_1$  dan  $R_2$ . Persamaan untuk mencari arus yang mengalir pada rangkaian pembagi tegangan pada gambar 2.1 jika diketahui V,  $V_{R_1}$ ,  $V_{R_2}$ , dan  $R_1$  adalah

$$I = \frac{V_{R_1}}{R_1} = \frac{V_{R_2}}{R_2} \quad (2)$$

$$I = \frac{V - V_{R_2}}{R_1} \quad (3)$$

Untuk mendapatkan nilai  $R_2$  pada rangkaian pembagi tegangan di atas dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$R_2 = \frac{V - V_{R_1}}{R_1} \times R_1 \quad (4)$$

### 2.4 Konduktansi

Konduktansi merupakan kemudahan elektron dalam mengalir pada suatu bahan konduktor, dapat juga diartikan sebagai kebalikan dari suatu hambatan listrik (R) dan satuan dari konduktansi adalah siemens (S). Hubungan konduktansi (G) dengan hambatan listrik (R) adalah sebagai berikut [11].

$$G = \frac{1}{R} \quad (5)$$

Dimana:

G: Nilai Konduktansi (Siemens)

R: Hambatan Listrik (Ohm)

## 2.5 Cell Constant (K)

*Cell constant* atau konstanta sel merupakan perbandingan dari jarak ( $d$ ) antara elektroda dengan luas penampang elektroda ( $a$ ) [12]. Hubungan antara konstanta sel, jarak antara dua elektroda, dan luas penampang dapat dilihat pada persamaan berikut ini.

$$K = \frac{d}{a} \quad (6)$$

Dimana:

$K$  = *Cell constant* ( $\text{cm}^{-1}$ )

$d$  = Jarak antara dua elektroda (cm)

$a$  = Luas penampang elektroda ( $\text{cm}^2$ )

## 2.6 Electrical Conductivity (EC)

*Electrical conductivity* (EC) adalah kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik per satuan panjang. Konduktivitas listrik dapat diukur melalui penggunaan arus listrik bolak-balik (AC) pada dua elektroda yang direndam dalam larutan dengan cara mengukur tegangan yang dihasilkan. Selama proses ini, ion muatan positif (kation) berpindah menuju elektroda negatif dan ion muatan negatif (anion) menuju elektroda positif [12]. Adapun untuk mendapatkan nilai konduktivitas listrik dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$\sigma = G.K \quad (7)$$

Dimana:

$\sigma$  = Konduktivitas listrik (S/cm)

$G$  = Konduktansi (S)

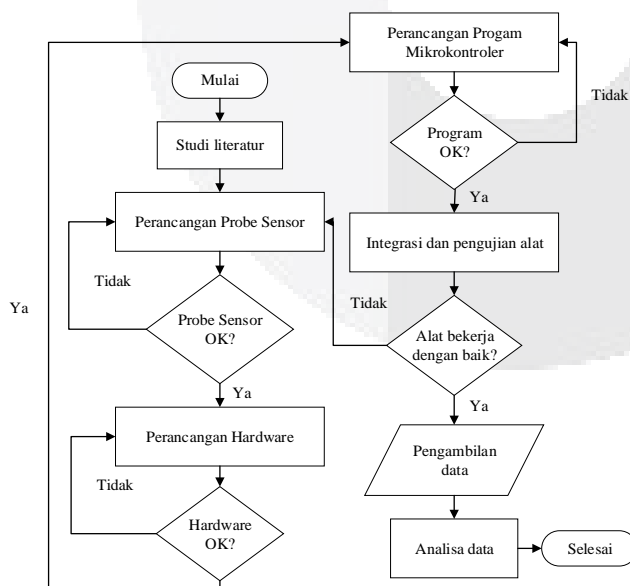
$K$  = *Cell Constant* ( $\text{cm}^{-1}$ )

Nilai EC menyatakan konsentrasi larutan nutrisi yang ada di dalam air. Unsur pada larutan nutrisi yang terlarut dalam air berupa ion bermuatan positif dan ion negatif, keberadaan ion-ion tersebut memungkinkan nilai EC dalam larutan nutrisi dapat terukur [2]. Semakin besar kandungan ion yang ada dalam larutan maka EC akan semakin besar juga.

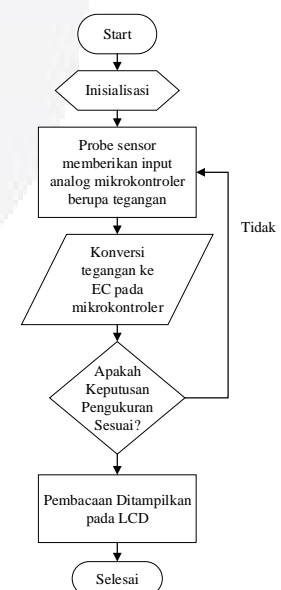
## 3. METODOLOGI DAN PERANCANGAN SISTEM

### 3.1 Tahapan Metode Penelitian

Metode penelitian pada pembuatan alat ukur ini adalah dengan melakukan pencarian informasi atau studi literatur berupa jurnal, paper, makalah, dan buku-buku yang menunjang dalam proses penelitian pembuatan alat ukur ini. Selain itu, tahapan yang digunakan adalah melakukan pengujian terhadap probe sensor yang sudah dibuat dengan cara mencari nilai tegangan pada air yang dihasilkan dari beberapa larutan dengan konsentrasi nilai konduktivitas listrik yang berbeda, nilai tegangan yang dihasilkan didapatkan dari rangkaian pembagi tegangan. Proses perancangan alat pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir (*flowchart*) yang ditunjukkan pada gambar 3.1 dan untuk perancangan software dari alat yang dibuat dapat dilihat pada gambar 3.2.

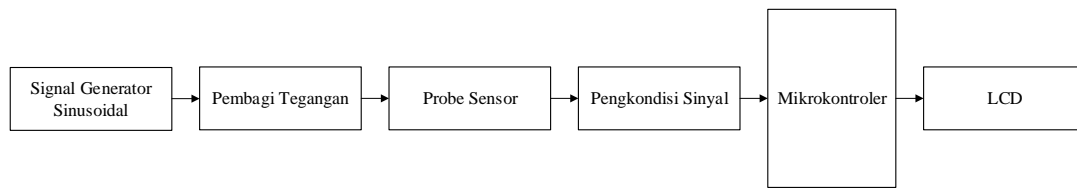


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Perancangan Software EC Meter

Integrasi dari keseluruhan komponen dan piranti yang digunakan untuk membuat *electrical conductivity* meter ini dapat dilihat pada gambar 3.3. Perancangan alat menggunakan catu daya, probe sensor, *signal generator* sinusoidal, pengkondisi sinyal, mikrokontroler Arduino, dan LCD 16x2.



Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan EC Meter

### 3.2 Proses Pengambilan Data

Proses pengujian yang dilakukan untuk membuat EC meter pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan, yaitu pengambilan data untuk karakterisasi, kalibrasi, pengambilan data secara berulang, dan pengambilan data secara continue.

#### 3.2.1 Pengambilan Data Karakterisasi

Proses pengambilan data karakterisasi meliputi pengambilan data tegangan input, tegangan yang terukur pada probe EC, tegangan pada resistor pembagi tegangan, dan tegangan yang sudah yang sudah dikonversi menjadi tegangan DC oleh pengkondisi sinyal terhadap nilai konduktivitas listrik pada konsentrasi larutan yang berbeda-beda. Nilai konsentrasi larutan sudah diketahui dengan menggunakan EC meter standar. Tegangan DC yang didapatkan akan dikonversi menjadi nilai konduktivitas pada mikrokontroler. Hasil dari pengukuran akan digunakan sebagai program pada mikrokontroler. Pada karakterisasi juga dicari nilai EC terhadap perubahan suhu, pada larutan yang sama semakin besar suhu maka terjadi peningkatan juga pada nilai EC [13].

#### 3.2.2 Pengambilan Data Kalibrasi

Kalibrasi adalah proses membandingkan alat ukur yang dibuat dengan alat ukur standar. Kalibrasi dilakukan dengan cara membuat beberapa larutan nutrisi dengan konsentrasi yang berbeda-beda. EC meter yang dibuat membaca nilai konsentrasi pada beberapa larutan tersebut, lalu hasil dari pembacaan dibandingkan dengan EC meter acuan.

#### 3.2.3 Pengambilan Data Berulang

Pengambilan data berulang dilakukan dengan cara membuat beberapa larutan nutrisi dengan nilai konsentrasi yang berbeda-beda. Nilai konsentrasi didapatkan dengan alat ukur EC meter standar. EC meter yang dibuat diukur secara berulang sebanyak 5 kali pada tiap konsentrasi nutrisi yang sudah diketahui nilainya. Hasil perbandingan pembacaan alat ukur standar dengan EC meter yang dibuat berguna untuk mengetahui nilai kesalahan pembacaannya.

#### 3.2.4 Pengambilan Data Secara *Continue*

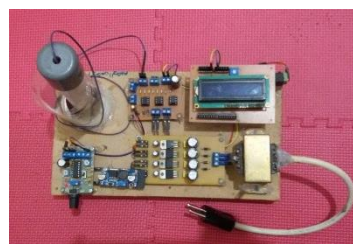
Pengambilan data secara continue dilakukan dengan mendapatkan nilai konduktivitas listrik pada EC meter yang dibuat dan EC meter standar. Kedua EC meter dicelup pada satu larutan nutrisi, pada saat tercelup ditambahkan nutrisi sedikit demi sedikit. Setiap perubahan nilai EC yang terbaca pada EC meter yang dibuat dan EC meter standar dicatat untuk mendapatkan nilai kesalahan pembacaannya.

#### 3.2.5 Realisasi Alat Ukur

Setiap pembuatan suatu alat ukur membutuhkan sensor untuk menangkap data yang diterima, untuk mengukur kadar nutrisi yang ada dalam suatu larutan pada penelitian ini menggunakan probe. Pada gambar 3.4 menunjukkan hasil rancangan probe EC meter, untuk alat EC meter secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.4 Probe EC Meter



Gambar 3.5 Alat Ukur EC Meter

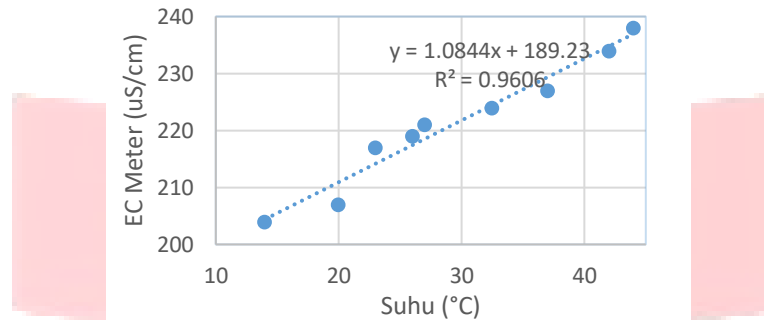
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Karakterisasi Alat

Hal yang dilakukan pada karakterisasi alat ukur penelitian ini adalah dengan cara mencari pengaruh EC terhadap suhu dan nilai tegangan yang terbaca pada probe EC.

#### 4.1.1 *Electrical Conductivity Terhadap Suhu*

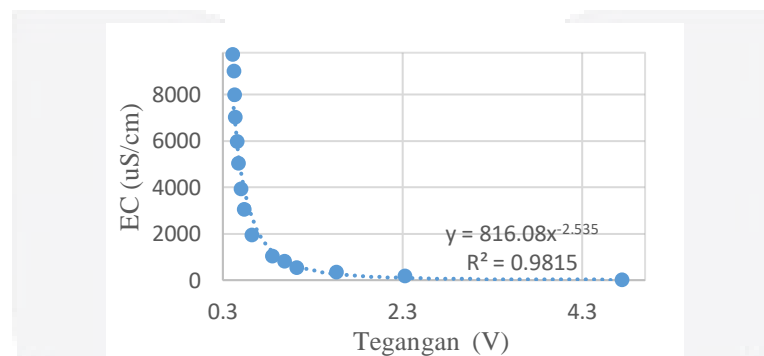
Faktor yang dapat mempengaruhi nilai EC adalah suhu, jika terjadi kenaikan pada suhu maka nilai EC pun akan terjadi kenaikan [13]. Gambar 4.1 merupakan grafik nilai EC menggunakan EC Meter standar terhadap suhu yang didapatkan dengan konsentrasi larutan nutrisi yang sama, hanya faktor suhu yang diubah-ubah. Data pada gambar 4.1 bersifat linier, dapat dilihat terjadi perbedaan nilai EC jika suhu berubah.



Gambar 4.1 Grafik Perubahan Nilai Konsentrasi EC Terhadap Suhu.

#### 4.1.2 *Electrical Conductivity Terhadap Tegangan Probe*

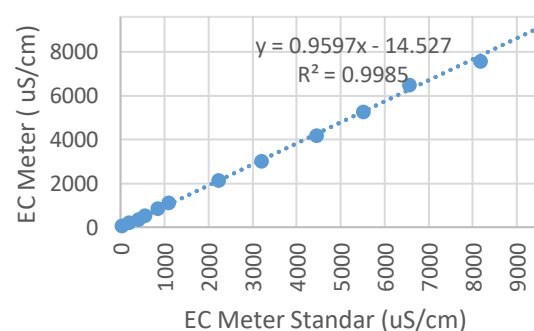
Proses awal mencari karakterisasi dari alat ukur EC meter adalah dengan mencari nilai tegangan yang terbaca oleh probe pada larutan nutrisi dan juga dengan mengganti nilai resistor dari pembagi tegangan untuk mendapatkan pembacaan nilai yang baik dengan *error* yang kecil. Pengukuran tegangan terhadap EC dapat dilihat pada grafik berikut ini



Gambar 4.2 Grafik Karakteristik EC Terhadap Tegangan pada Probe yang Sudah di Searahkan.

#### 4.1.3 Kalibrasi Alat Ukur

Kalibrasi adalah membandingkan alat ukur yang dibuat dengan alat ukur standar (kalibrator). Kalibrasi juga bertujuan untuk mengetahui nilai *error* yang ada pada alat ukur *electrical conductivity* yang dibuat. Kalibrasi dilakukan setelah data karakterisasi yang sudah didapat dimasukkan kedalam pemrograman mikrokontroler. Data kalibrasi didapatkan dengan menggunakan beberapa cairan nutrisi dengan kandungan EC yang berbeda-beda pada suhu yang tetap. Berikut ini data grafik hasil pengujian EC meter penelitian dengan EC meter standar.



Gambar 4.3 Data Kalibrasi Alat Ukur

Pada gambar 4.3, grafik menunjukkan data yang linear antara EC meter yang dibuat terhadap EC meter standar maka alat ukur yang dibuat dapat digunakan untuk mendapatkan nilai konduktivitas pada larutan nutrisi.

## 4.2 Data Pengukuran

Data pengukuran pada penelitian ini dilakukan setelah semua proses kalibrasi alat dilakukan. Data pengukuran didapatkan dengan cara membandingkan pembacaan pada EC meter dan kalibrator pada larutan nutrisi.

### 4.2.1 Pengukuran Berulang

Pengukuran ini dilakukan dengan cara membandingkan kalibrator dengan EC meter yang dibuat pada beberapa titik nilai konsentrasi larutan yang sudah didapatkan dengan cara berulang. Data yang didapatkan ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel Pengukuran Secara Berulang.

No.	Alat ukur standar (uS/cm)	EC yang dirancang (uS/cm)				
		1	2	3	4	5
1	51.00	59.00	60.00	61.00	58.00	59.00
2	131.00	123.00	122.00	125.00	121.00	124.00
3	278.00	308.00	310.00	317.00	315.00	319.00
4	614.00	632.00	643.00	640.00	636.00	638.00
5	819.00	881.00	873.00	878.00	860.00	867.00
6	1614.00	1499.00	1482.00	1508.00	1520.00	1572.00
7	2447.00	2658.00	2548.00	2603.00	2589.00	2633.00
8	3113.00	3340.00	3244.00	3305.00	3252.00	3312.00
9	4214.00	4456.00	4392.00	4530.00	4487.00	4337.00
10	5794.00	5411.00	5389.00	5597.00	5434.00	5369.00

Pengukuran dilakukan dengan cara membandingkan EC meter yang dibuat terhadap kalibrator pada 10 titik nilai konsentrasi larutan EC dengan mengukur ulang sebanyak lima kali pada setiap titiknya.

#### 4.2.1.1 Kesalahan Pembacaan Pengukuran Berulang.

Kesalahan pembacaan atau *error* dapat dihitung jika sudah mendapatkan data pengukuran. Kesalahan pembacaan merupakan penyimpangan dari pembacaan yang sebenarnya. Dari data pengukuran pada tabel 4.1 didapatkan nilai kesalahan pembacaan (*error*) yang ditunjukkan pada tabel 4.2.

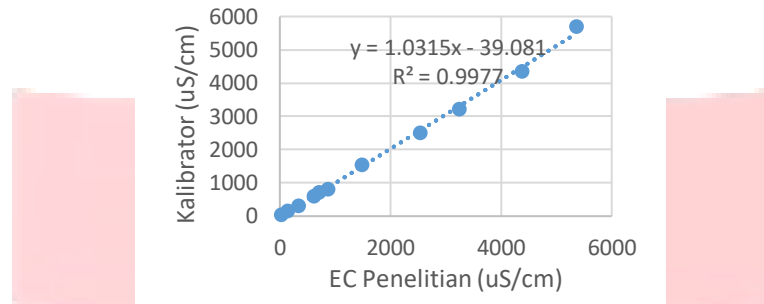
Tabel 4.2 Data Simpangan Baku dan Error

$\sum X_i$	$\sum (X_i^2)$	$(\sum X_i)^2$	S	$\Delta X$ (mutlak)	Error (%)
297.00	17647.00	88209.00	2.55	1.14	0.02
615.00	75655.00	378225.00	3.54	1.58	0.01
1569.00	492439.00	2461761.00	10.42	4.66	0.02
3189.00	2034013.00	10169721.00	9.27	4.15	0.01
4359.00	3800463.00	19000881.00	18.93	8.47	0.01
7581.00	11498973.00	57471561.00	76.33	34.14	0.02
13031.00	33968487.00	169806961.00	94.17	42.12	0.02
16453.00	54147009.00	270701209.00	91.97	41.13	0.01
22202.00	98609238.00	492928804.00	171.31	76.61	0.02
27200.00	148001168.00	739840000.00	203.62	91.06	0.02

Dari tabel 4.2 didapatkan persentase kesalahan pembacaan sebesar 1,53 % dengan tingkat akurasi (ketepatan) pembacaan sebesar 88,15 % dan tingkat presisi (ketelitian) pembacaan sebesar 90,1 %.

#### 4.2.2 Pengukuran Konsentrasi Larutan Nutrisi yang Dirubah Bertahap.

Pengukuran pada konsentrasi larutan nutrisi yang dirubah adalah pengukuran dengan cara menggunakan satu larutan yang nilai konsentrasi dari larutannya dirubah secara perlahan terus menerus (*continue*) dengan kondisi dari EC meter dan kalibrator dicelup secara terus menerus untuk melihat kenaikan dari konduktivitas listriknya saat larutan nutrisi ditambah. Hasil pembacaan alat ukur pada rentang 50 uS/cm sampai dengan 5700 uS/cm dan foto saat pengambilan data berlangsung dapat dilihat grafik pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Data Pengukuran dengan Mengubah Nilai EC Secara Bertahap (Continue)

##### 4.2.2.1 Kesalahan Pembacaan Pengukuran Secara *Continue*

Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan nilai data acuan dengan data yang terbaca pada alat ukur EC meter yang dibuat. Hasil perhitungan dari data tersebut didapatkan persentase kesalahan pembacaan dari pengukuran sebesar 5,38 %.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dibuat terdapat kesimpulan yang didapat oleh peneliti, diantaranya:

1. Probe EC berhasil dibuat dengan bentuk dua plat sejajar berdimensi 1 x 1 cm berjarak 1 cm dan menghasilkan tegangan DC melalui pengkondisi sinyal sebesar 4,7 V – 0,46 V untuk konsentrasi larutan sebesar 11 uS/cm – 9738 uS/cm. tegangan yang dihasilkan semakin kecil seiring kenaikan konsentrasi EC mengikuti persamaan pangkat.
2. Alat ukur dapat mengukur konduktivitas listrik larutan pada rentang 50 uS/cm sampai 6000 uS/cm dengan hasil nilai kesalahan pembacaan rata-rata sebesar 1,54 %, tingkat ketelitian (presisi) rata - rata dari alat sebesar 90,10 % dan tingkat ketepatan (akurasi) rata-rata sebesar 88,15 %
3. Alat ukur dapat mengukur konduktivitas listrik larutan secara *continue* pada satu larutan yang nilai EC-nya diubah-ubah dan menghasilkan nilai kesalahan pembacaan rata-rata sebesar 5,38 %.

### 5.2 Saran

Dari hasil penelitian terdapat saran dari peneliti untuk alat ukur konduktivitas larutan, diantaranya:

1. Suhu mengakibatkan perubahan nilai konsentrasi EC, maka perlu ditambahkan sensor suhu pada alat ukur untuk pembacaan alat ukur yang optimal.
2. Setelah digunakan berkali-kali probe EC terdapat kotoran yang diakibatkan oleh larutan nutrisi yang mengendap, maka perlu menggunakan bahan lain selain aluminium untuk probe EC agar daya tahan, tingkat pengukuran dari alat ukur, dan tingkat kestabilan alat lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Prathisthaya, "Rancang Bangun Sistem Kendali Konsentrasi Larutan Hidroponik Berbasis PID," 2014.
- [2] G. G. Heliadi, "Monitoring dan Kontrol Nutrisi Pada Sistem Hidroponik NFT Berbasis Konduktivitas Listrik," 2017.

- [3] M. N. R. Ibrahim, "Desain Sistem Kontrol Otomatik Larutan Nutrisi Berbasis Electrical Conductivity untuk Budidaya Hidroponik Menggunakan Logika Fuzzy," 2015.
- [4] G. I. Hapsari and R. Chaidir, "Pengukuran Konduktivitas Cairan Berbasis Mikrokontroler AT89C2051," 2016.
- [5] H. Taunaumang and P. E. Goliath, "Konduktivitas Fluida Cairan di Manifestasi Panas Bumi Bukit Kasih Kanonang Sulawesi Utara," 2017.
- [6] A. Wiono and E. Rahmawati, "Perancangan dan Pembuatan Alat Ukur Konduktivitas Larutan Berbasis Mikrokontroler," 2014.
- [7] F. Y. Nurhasanah, "Rancang Bangun Sensor Konduktivitas Listrik Double Probe yang Telah Dilapisi Perak," 2015.
- [8] H. Cahyani, Harmadi and Wildian, "Pengembangan Alat Ukur Total Dissolved Solid (TDS) Berbasis Mikrokontroler dengan Beberapa Variasi Bentuk Sensor Konduktivitas," 2016.
- [9] V. U. Kurnia, "Bunyi Hukum Ohm dan Pengertiannya," 2013. [Online]. Available: <http://www.miung.com/2013/11/bunyi-hukum-ohm-dan-pengertiannya.html>.
- [10] N. Hilalliati, "Rangkaian Pembagi Tegangan, Pembagi Arus, dan Setara," 2014.
- [11] D. Harjono, A. Aminudin and D. G. Syarif, "Rancang Bandun Alat Konduktivitas Listrik Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega8535," 2014.
- [12] R. A. SAS, *Conductivity Theory and Practice*, Villeurbanne, 2004.
- [13] M. Z. B. Razali, M. S. A. Khair, I. A. Zakaria and W. A. N. Wan, "Effect of Temperature Towards Electrical Conductivities of Low Concentration of AL203 Nanofluid in Electrically Active Cooling System.," 2014.