

# Rancangan Teknik Kuantifikasi Electrical Conductivity untuk Aplikasi pada Larutan Nutrisi Hidroponik Menggunakan Elektroda Berbahan Material SNI 04-3892.1-2001

**Rida Hudaya<sup>1</sup>, Dodi Budiman Margana<sup>2</sup>, R. Wahyu Tri Hartono<sup>3</sup>,  
Hepi Ludiyati<sup>4</sup>, Rahmawati Hasanah<sup>5</sup>, Feni Isdaryani<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [ridahudayaresearch@gmail.com](mailto:ridahudayaresearch@gmail.com)

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [dodi.budiman@polban.ac.id](mailto:dodi.budiman@polban.ac.id)

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [tri.hartono@polban.ac.id](mailto:tri.hartono@polban.ac.id)

<sup>4</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [hepi.ludiyati@polban.ac.id](mailto:hepi.ludiyati@polban.ac.id)

<sup>5</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [rahmawati@polban.ac.id](mailto:rahmawati@polban.ac.id)

<sup>6</sup>Jurusan Teknik Elektro,Politeknik Negeri Bandung,Bandung 40012

E-mail : [feni.isdaryani@polban.ac.id](mailto:feni.isdaryani@polban.ac.id)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mempelajari karakteristik elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001 yang digunakan sebagai probe sensor *electrical conductivity* pada aplikasi larutan nutrisi hidroponik. Metode ini merupakan cara yang cepat dan murah dalam menentukan kekuatan ion suatu larutan dan sangat luas digunakan untuk tujuan kontrol kualitas suatu larutan.

Penggunaan teknik kuantifikasi pada nilai pembacaan tegangan elektroda digunakan untuk perbandingan dengan nilai acuan alat ukur *electrical conductivity* komersial. Jangkauan pengukuran *electrical conductivity* dirancang pada rentang 0,54 mS.cm<sup>-1</sup> sampai dengan 3,30 mS.cm<sup>-1</sup> pada temperatur kerja antara 16 °C sampai dengan 34 °C dengan titik tengah kerja temperatur 25 °C. Parameter lain dari hasil rancangan yaitu konstanta sel K elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001 sebesar 2,56 cm<sup>-1</sup>, koefisien temperatur  $\alpha$  larutan nutrisi 1,19%, resistor kerja R<sub>beban</sub> 2,4 Kohm dan galat ukur 21,19%. Rentang pengukuran *electrical conductivity* melengkapi kebutuhan nutrisi untuk berbagai jenis tanaman buah, sayuran daun, sayuran buah, sayuran umbi, bunga dan herbal.

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di lingkungan kebun komunitas eFarming Corpora, ecoFarm Kampung Tani Gandok Lembang, Kabupaten Bandung Barat untuk tujuan kegiatan peningkatan produksi lahan pertanian masyarakat.

## Kata Kunci

Larutan nutrisi, *electrical conductivity*, konstanta sel, hidroponik

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar belakang masalah

Pengukuran *electrical conductivity* (EC) adalah metode yang sangat luas penerapannya dan sangat berguna hasilnya, terutama untuk tujuan kontrol kualitas suatu larutan, termasuk aplikasi dalam bidang pertanian khususnya dalam konteks *digital precision agriculture* [1].

Secara garis besar komponen sebuah alat ukur *electrical conductivity* terdiri dari probe sensor atau elektroda, sistem akuisisi data dan perangkat hitung dan tampilan.

Latar belakang permasalahan dari penelitian ini adalah adanya kebutuhan terhadap alat ukur *electrical conductivity* yang (1) murah dan (2) mampu memberikan informasi yang handal mengenai konsentrasi larutan nutrisi tanaman dalam sistem pertanian hidroponik.

Untuk menjawab permasalahan pertama, maka penelitian ini mempelajari penggunaan elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001 sebagai probe sensor *electrical conductivity*, yaitu untuk mengukur kekuatan ion yang terkandung dalam latutan nutrisi tanaman hidroponik. Alasan penggunaan bahan ini karena murah dan sangat mudah diperoleh hampir di setiap tempat serta telah memiliki standar nasional Indonesia.

Untuk menjawab permasalahan kedua, maka permasalahan pertama menjadi syarat kondisi yang membatasi dilakukannya pengembangan teknik atau metoda. Keandalan dan sensitivitas yang tinggi, biaya yang relatif rendah, merupakan parameter utama yang menjadi pertimbangan metode pengukuran *electrical conductivity* yang dikembangkan dalam penelitian ini.

Beberapa metoda dan langkah penyelesaian dilakukan untuk memecahkan permasalahan penelitian yaitu:

1. Mengkaji data temperatur lingkungan.
2. Mengkaji sifat-sifat larutan nutrisi.
3. Merancang rangkaian akusisi data dan probe sensor berbahan material SNI 04-3892.1-2001.
4. Mempelajari konstanta sel K.
5. Menguji alat ukur.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mempelajari penggunaan elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001 sebagai probe sensor *electrical conductivity* dengan menggunakan teknik elektroda 2-kutub melalui teknik kuantisasi hasil pengukuran tegangan jatuh pada kedua probe sensor setelah melakukan kajian terhadap parameter-parameter sebagai berikut:

1. Lingkungan kerja pengukuran.
2. Jangkauan pengukuran EC larutan nutrisi.
3. Rangkaian akusisi data.

## 1.3. Lokasi Penelitian

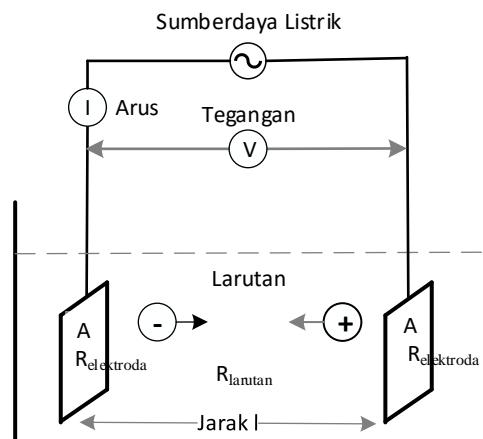
Kegiatan penelitian dilakukan di kebun komunitas eFarming Corpora, ecoFarm Kampung Tani, Kampung Gandok RT/RW 03/02, Desa Suntenjaya, Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat. Kebun ini merupakan kebun percobaan komunitas pertanian untuk kegiatan penerapan teknologi, produksi dan kegiatan ekonomi masyarakat.

## 1.4. Kajian Pustaka

*Electrical conductivity* adalah nilai yang menunjukkan kemampuan suatu larutan, logam atau gas untuk mengalirkan arus listrik. Kemampuan larutan untuk menghantarkan listrik tergantung pada konsentrasi, mobilitas ion, valensi ion dan temperatur.

*Electrical conductivity* mampu memberikan gambaran kondisi air media tanam. Sehingga pola tumbuh dapat dipantau secara seksama [2]. Walaupun demikian kondisi ini tidak selalu linear [3].

*Electrical conductivity* diukur dengan cara menerapkan arus listrik bolak-balik ( $I$ ) pada dua elektroda yang berfungsi sebagai probe sensor. Elektroda tersebut direndam dalam larutan, kemudian tegangan ( $V$ ) yang jatuh pada kedua elektroda tersebut diukur. Larutan dalam hal ini bertindak sebagai konduktor listrik, Gambar 1. Secara khusus pengembangan sensor *electrical conductivity* pada bagian batang tanaman dapat diterapkan dengan mikroneedle implan [4].



Gambar 1. Ilustrasi perpindahan ion dalam suatu larutan

Larutan konduktif yang paling bisa diukur adalah larutan aqueous seperti air, karena air memiliki kemampuan menstabilkan ion yang dibentuk oleh proses yang disebut solvation [5]. Larutan elektrolit yang kuat adalah zat yang terionisasi penuh dalam larutan. Sedangkan elektrolit yang lemah adalah zat yang tidak terionisasi sepenuhnya dalam larutan.

Parameter-parameter yang mempengaruhi penerapan elektroda sebagai probe sensor adalah *resistance* larutan  $R_{\text{larutan}}$  (ohm), conductnace larutan  $G_{\text{larutan}}$  ( $S$ ), konstanta sel  $K$  ( $\text{cm}^{-1}$ ), conductivity EC ( $\text{S.cm}^{-1}$ ), *resistivity*  $\rho$  ( $\text{S}^{-1}.\text{cm}$ ), temperatur  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ )

*Resistance* ( $R$ ) dari suatu larutan dapat dihitung menggunakan hukum Ohm.

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

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

dimana:

- $V$  = Tegangan (volt).
- $I$  = Arus (ampere).
- $R$  = Resistance (ohm).

*Conductance* ( $G$ ) dari suatu larutan didefinisikan sebagai kebalikan dari *resistance* ( $R$ ) dari larutan antara dua elektroda.

$$G = \frac{1}{R} \quad (3)$$

dimana:

- $G$  = Conductance (S).
- $R$  = Resistance (ohm).

Konstanta sel adalah rasio jarak ( $l$ ) antar elektroda dengan luas permukaan elektroda ( $A$ )

$$K = \frac{l}{A} \quad (4)$$

dimana:

- $K$  = Konstanta elektroda ( $\text{cm}^{-1}$ ).
- $A$  = Area efektif elektroda ( $\text{cm}^2$ ).
- $l$  = Jarak antara elektroda (cm).

*Electrical conductivity* adalah kemampuan larutan untuk menghantarkan arus listrik. Pembacaan *electrical conductivity* suatu larutan akan berubah dan dipengaruhi oleh temperatur.

$$EC = G * K \quad (5)$$

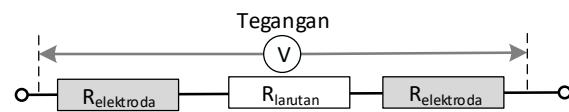
dimana:

- $EC$  = Electrical conductivity ( $\text{S.cm}^{-1}$ )
- $G$  = Conductance (S)
- $K$  = Konstanta sel ( $\text{cm}^{-1}$ )

Proses kalibrasi dalam menentukan konstanta sel diperlukan untuk mengkonversi bacaan *conductance* menjadi *conductivity*. Larutan standar digunakan untuk mengkalibrasi alat ukur *conductivity*.

Alat ukur *conductivity* yang umum menggunakan arus bolak-balik  $I$  dengan frekuensi  $f$  yang optimal pada kedua elektroda yang aktif. *Conductance* dan konstanta sel digunakan untuk menghitung dan menampilkan *electrical conductivity*, seperti diperlihatkan pada Persamaan 5.

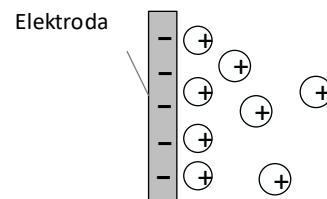
Sebuah arus bolak-balik diterapkan antara 2 kutub dan tegangan yang dihasilkan diukur seperti pada Gambar 2. Tujuannya adalah untuk mengukur *resistance* larutan  $R_{\text{larutan}}$ . Namun demikian *resistance* elektroda  $R_{\text{elektroda}}$  yang disebabkan oleh polarisasi sel dan efek medan akan mengganggu pengukuran, dan keduanya  $R_{\text{larutan}}$  dan  $R_{\text{elektroda}}$  akan turut serta terukur.



Gambar 2. Diagram conductivity sel 2-kutub yang disederhanakan

Faktor-faktor yang mempengaruhi keakuratan pengukuran *electrical conductivity* adalah polarisasi, kontaminasi, geometri, hambatan kabel, kapasitansi kabel, perubahan frekuensi dan temperatur.

Arus listrik pada elektroda dalam larutan dapat menyebabkan akumulasi ionik dan reaksi kimia di dekat permukaan elektroda. Dengan demikian, *resistance* polarisasi muncul pada permukaan elektroda yang dapat menyebabkan kesalahan hasil ukur oleh komponen *resistance* parasit larutan, Gambar 3.



Gambar 3. Akumulasi ionik pada permukaan elektroda

Efek polarisasi dapat dikurangi atau dicegah dengan (1) menerapkan arus bolak-balik, (2) menyesuaikan frekuensi pengukuran dengan conductivity larutan.

Konstanta sel ditentukan oleh sifat geometri sel. Namun secara praktis dapat diukur menggunakan sebuah standar dari conductivity yang diketahui, misalnya larutan  $\text{KCl } 0,01 \text{ D}$ .

Untuk sel 2-kutub, standar yang digunakan untuk kalibrasi harus memiliki nilai *electrical conductivity* sedekat mungkin dengan larutan yang diukur.

Konstanta sel berubah seiring waktu. Pengukuran *electrical conductivity* bergantung pada temperatur. Konsep temperatur acuan diperkenalkan untuk memungkinkan perbandingan hasil *electrical conductivity* yang diperoleh pada temperatur berbeda. Temperatur acuan biasanya  $20^\circ\text{C}$  atau  $25^\circ\text{C}$ . Alat ukur *electrical conductivity* mengukur temperatur dan conductivity aktual. Kemudian dikonversikan ke *electrical conductivity* pada temperatur acuan menggunakan fungsi koreksi temperatur dan menampilkan *electrical conductivity* pada temperatur acuan..

Untuk melakukan pengukuran *electrical conductivity* yang benar digunakan sensor temperatur bawaan. Berbagai opsi dapat dipilih dalam melakukan koreksi temperatur seperti koreksi dengan fungsi linear, fungsi non-linear atau tidak ada koreksi. Dalam kegiatan penelitian ini akan diambil opsi koreksi temperatur linear. Hal ini karena larutan nutrisi yang menjadi objek penelitian termasuk dalam larutan *electrical conductivity* sedang.

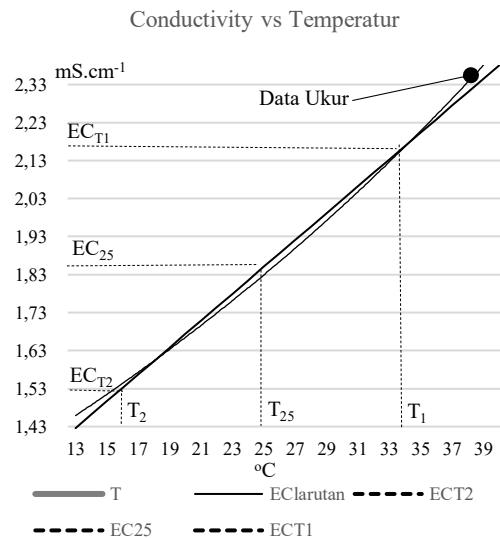
Koefisien temperatur  $\alpha$ , biasanya dinyatakan sebagai sebuah variasi *electrical conductivity* dalam  $\%^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$$EC_{T_{acuan}} = \frac{1}{1 + \alpha(T - T_{acuan})} EC_T \quad (6)$$

dimana:

- $EC_{T_{acuan}}$  = Conductivity pada  $T_{acuan}$ .
- $EC_T$  = Conduktivitas pada  $T$  pengukuran.
- $T_{acuan}$  = Temperature acuan ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T$  = Temperatur pengukuran ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $\alpha$  = Koefisien temperatur ( $\%^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Akurasi koreksi temperatur dapat dilakukan di sekitar  $T_1$  dan  $T_2$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1.



Gambar 4. Conductivity vs Temperatur

Tabel 1. Data temperatur Gambar 4.

Temperatur	Nilai( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ukur} = T_1$	34
$T_{acuan} = T_{25}$	25
$T_{ukur} = T_2$	16

Semakin besar perbedaan antara  $T_{ukur}$  dan  $T_{25}$  atau  $T_{acuan}$ , semakin tinggi resiko kesalahan terjadi. Pengukuran  $T_1$  dan  $T_2$  di sekitar  $T_{acuan}$  dengan perbedaan sekitar  $10^{\circ}\text{C}$ , maka koefisien temperatur

dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (7) sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{(EC_{T_2} - EC_{T_1}) * 100}{(T_2 - T_1) * EC_{T_1}} \quad (7)$$

## 2. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 2.1. Data Cuaca Kota Bandung

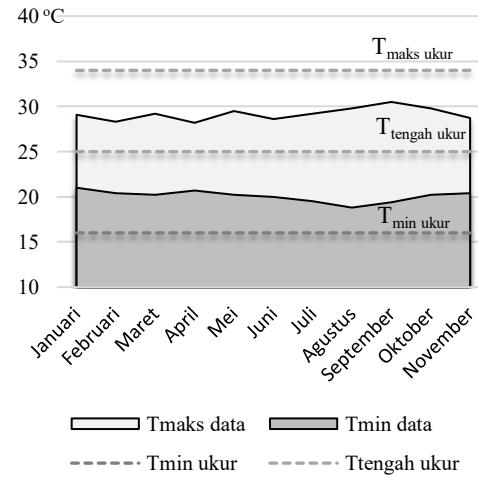
Data perubahan temperatur di Kota Bandung sepanjang Tahun 2017 diperlihatkan pada Tabel 2 dan karakteristik datanya dijelaskan pada Gambar 5.

Tabel 2. Data Cuaca Kota Bandung Tahun 2017.

Bulan	$T_{rata-rata}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{maks}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{min}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
Januari	24,20	29,10	21,00
Februari	23,00	28,30	20,40
Maret	23,30	29,20	20,20
April	23,60	28,20	20,70
Mei	23,90	29,50	20,20
Juni	23,40	28,60	20,00
Juli	23,40	29,20	19,50
Agustus	23,30	29,80	18,80
September	23,70	30,50	19,40
Oktober	23,40	29,80	20,20
November	23,10	28,70	20,40

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Stasiun Bandung.  
<https://bandungkota.bps.go.id/statisticable/2018/07/11/160/rata-rata-suhu-dan-kelembaban-udara-menurut-bulan-di-kota-bandung-2017.html>

Temperatur Kota Bandung Tahun 2017



Gambar 5. Grafik perubahan temperatur lingkungan Kota Bandung sepanjang Tahun 2017

Berdasarkan data tersebut, maka kita memperoleh beberapa data sebagai berikut:

$$T_{maks\ data} = 30,50\ ^{\circ}\text{C} \quad (8)$$

$$T_{maks\ ukur} = 30,50 * 110\% = 33,55 \quad (9)$$

$$\qquad \qquad \qquad \simeq 34^{\circ}\text{C}$$

$$T_{min\ data} = 18,80^{\circ}\text{C} \quad (10)$$

$$T_{min\ ukur} = 18,80 * 90\% = 16,92 \simeq 16^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

$$T_{tengah\ ukur} = T_{min\ ukur} + (T_{maks\ ukur} - T_{min\ ukur})/2$$

$$= 16 + \frac{34 - 16}{2} = 25^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

dimana:

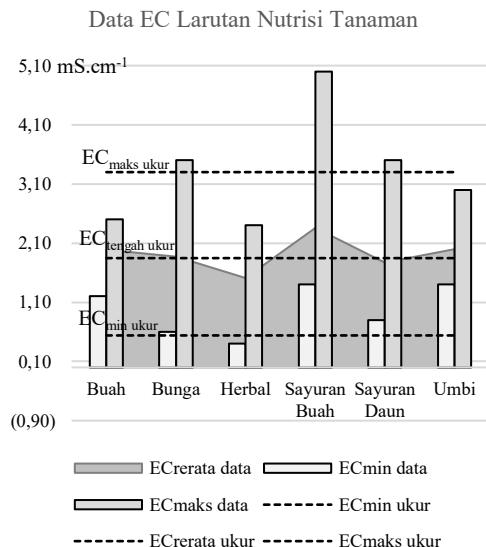
- $T_{maks\ data}$  = Data temperatur maksimum.
- $T_{maks\ ukur}$  = Temperatur ukur maksimum.
- $T_{min\ data}$  = Data temperatur minimum.
- $T_{min\ ukur}$  = Temperatur ukur minimum.
- $T_{tengah\ ukur}$  = Titik tengah ukur temperatur.

Sehingga untuk keperluan penentuan titik tengah ukur, kita dapat mengambil  $T_{tengah\ ukur}=25^{\circ}\text{C}$  sebagai temperatur acuan pengukuran di lingkungan Kota Bandung.

## 2.2. Data EC Larutan Nurisi

Gambar 6 memperlihatkan nilai *electrical conductivity* larutan nutrisi hidroponik yang digunakan dalam penelitian ini untuk berbagai tanaman seperti buah, bunga, herbal, sayuran buah, sayatan daun, dan umbi.

Pada grafik Gambar 6 terdapat beberapa outlier data point yang tidak terjangkau oleh alat ukur yang dirancang dalam penelitian ini. Secara lebih terinci dijelaskan pada Gambar 7.



Gambar 6. Data electrical conductivity larutan nutrisi berbagai tanaman

Karakteristik data *electrical conductivity* larutan nutrisi tanaman hidroponik yang menjadi objek pengukuran ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan data tersebut maka kita dapat menentukan nilai beberapa parameter sebagai berikut:

$$EC_{min\ data} = 0,60 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (13)$$

$$EC_{min\ ukur} = 0,60 * 90\% = 0,54 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (14)$$

$$EC_{tengah\ ukur} = 1,85 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (15)$$

$$EC_{maks\ data} = 3,00 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (16)$$

$$EC_{maks\ ukur} = 3,00 * 110\% = 3,30 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (17)$$

Untuk meningkatkan daya guna alat ukur maka dipilih titik tengah kerja pada:

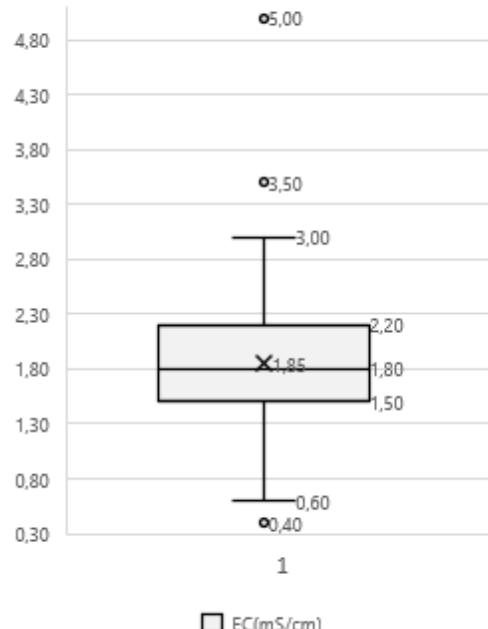
$$EC_{tengah\ ukur} = EC_{rerata\ ukur} = 1,85 \text{ mS.cm}^{-1}$$

Sehingga:

$$Jangkauan_1 = EC_{maks\ data} - EC_{tengah\ ukur} = 3,30 - 1,85 = 1,45 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (18)$$

$$Jangkauan_2 = EC_{tengah\ ukur} - EC_{min\ data} = 1,85 - 0,54 = 1,31 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (19)$$

Karakteristik Data EC Larutan Nurisi Tanaman Hidroponik



Gambar 7. Karakteristik data electrical conductivity larutan nurisi tanaman hidroponik

Jangkauan<sub>1</sub> memiliki nilai jangkauan lebih besar dibanding dengan Jangkauan<sub>2</sub>. Sehingga berdasarkan Persamaan (18) dan Persamaan (19) diperoleh jangkauan pengukuran sebagai berikut:

$$\begin{aligned} EC_{25\text{maks}} &= EC_{\text{rerata ukur}} + \text{Jangkauan}_2 \\ &= 1,85 + 1,45 \\ &= 3,30 \text{ mS.cm}^{-1} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} EC_{25\text{min}} &= EC_{\text{rerata ukur}} - \text{Jangkauan}_2 \\ &= 1,85 - 1,45 \\ &= 0,40 \text{ mS.cm}^{-1} \end{aligned} \quad (21)$$

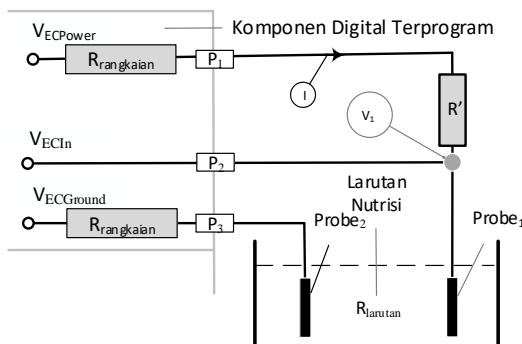
$$EC_{25\text{tengah}} = EC_{\text{rerata ukur}} = 1,85 \text{ mS.cm}^{-1} \quad (22)$$

dimana

- $EC_{25\text{min}}$ =Nilai EC minimum saat T=25°C.
- $EC_{25\text{tengah}}$ =Nilai EC tengah saat T=25°C.
- $EC_{25\text{maks}}$ =Nilai EC maksimum saat T=25°C.

### 2.3. Rangkaian Akuisisi Data

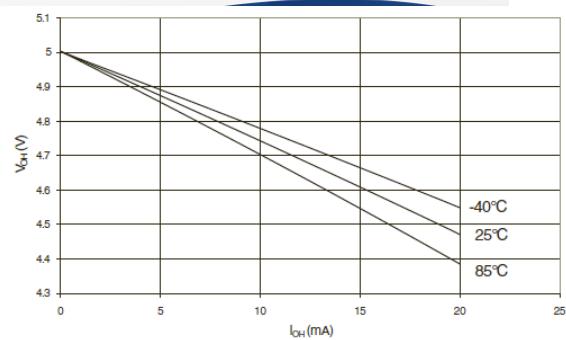
Gambar 8 adalah rangkaian akuisisi data electrical conductivity dari suatu larutan nutrisi yang akan diukur [6]. Komponen yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 8. Rangkaian ekuivalen sistem akuisisi data probe sensor electrical conductivity

#### 2.4. Perhitungan $R_{\text{rangkaian}}$

Gambar 8 adalah rangkaian ekuivalen sistem akuisisi data probe sensor *electrical conductivity*. Arus listrik mengalir dari  $V_{\text{ECPower}}$  melalui  $P_1$ - $R_{\text{beban}}$ - $\text{Probe}_1$ - $R_{\text{larutan}}$ - $\text{Probe}_2$ - $P_3$ - $V_{\text{ECGround}}$ . Tegangan yang jatuh pada  $\text{Probe}_1$  diakuisi melalui  $V_{\text{ECln}}$  yang selanjutnya dikuantisasi oleh komponen digital terprogram.



Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V  
8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash  
Datasheet

Gambar 9. Tegangan output pin I/O vs arus sumber ( $V_{\text{CC}} = 5\text{V}$ )

$R_{\text{rangkaian}}$  adalah *resistance* dari rangkaian komponen digital terprogram. Apabila  $T_{\text{tengah ukur}}$  pada temperatur 25°C Persamaan (22) digunakan, maka dari Gambar 9 [7], dipilih titik kerja pada  $V_{\text{OH}}=4,6$  volt, diperoleh  $I_{\text{OH}}$  sebesar 15 mA. Jika  $V_{\text{OH}}$  dan  $I_{\text{OH}}$  kita substitusikan kedalam Persamaan (1), maka:

$$V_{\text{CC}} = V_{\text{OH maks}} = 5 \text{ volt} \quad (23)$$

$$V = I * R$$

$$V_{\text{rangkaian}} = R_{\text{rangkaian}} * I_{\text{OH}}$$

$$\begin{aligned} R_{\text{rangkaian}} &= \frac{V_{\text{rangkaian}}}{I_{\text{OH}}} \\ &= \frac{V_{\text{ECPower}} - V_{\text{OH}}}{I_{\text{OH}}} = \frac{5 - 4,6}{15 \cdot 10^{-3}} \\ &= 26,67 \text{ ohm} \end{aligned} \quad (24)$$

### 2.5. Koefisien Temperatur ( $\alpha$ )

Dalam penelitian ini pendekatan linier digunakan dalam menentukan koefisien temperatur ( $\alpha$ ). Hal ini masih dapat diterima karena larutan yang digunakan masih dalam kelompok *electrical conductivity* sedang dan rentang temperatur kerja masih relatif kecil.

Tabel 3. Data ukur larutan nutrisi.

EC (mS.cm <sup>-1</sup> )	T (oC)
0,5	T2=16
0,6	T1=25

Data hasil pengukuran larutan nutrisi hidroponik diperlihatkan pada Tabel 3. Maka dengan menggunakan data tersebut pada Persamaan (7) untuk menghitung koefisien temperatur  $\alpha$ , diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{(EC_{T2} - EC_{T1}) * 100}{(T_1 - T_2) * EC_{T1}} \\ &= \frac{(0,60 - 0,50) * 100}{(16 - 25) * 0,60} = 1,91\% ^\circ\text{C}^{-1} \end{aligned} \quad (25)$$

## 2.6. Konstanta Sel K

Metode 1.

Untuk memperoleh konstanta sel K dari rancangan probe sel pada Gambar 8, larutan acuan KCl 0,01D digunakan untuk menentukan nilai konstanta sel K. Sedangkan untuk mengetahui nilai *conductance* dari larutan nutrisi, diperoleh melalui pengukuran  $V_1$  dan I.

Tabel 4. Data larutan KCL.

EC (mS.cm <sup>-1</sup> )	T (°C)
1,409	25

Berdasarkan data pengukuran G larutan sebesar 0,55 mS, Persamaan (5) dan Tabel 4, maka diperoleh:

$$EC = G * K,$$

$$K = \frac{EC}{G} = \frac{1,409 * 10^{-3}}{0,55 * 10^{-3}} = 2,56 \text{ cm}^{-1} \quad (26)$$

Tabel 5. Data persamaan dan tabel.

Item Hitung	Nilai Hitung	Acuan
Koefisien Temp. $\alpha$	1,19 %	Pers. (25)
EC <sub>KCl</sub>	1,409 mS.cm <sup>-1</sup>	Tabel 3
Tengah ukur	25 oC	Pers. (12)

Metode 2.

Berdasarkan pengukuran tegangan akuisisi pada  $V_{ECIn}$  rancangan alat (Gambar 8) diperoleh data pada Tabel 6.

Tabel 6. Data pengukuran  $V_{ECIn}$ .

No	Hasil Ukur (volt)
1	2,30
2	2,32
3	2,31
4	2,32
5	2,30
V <sub>1</sub> rerata	2,31

Sehingga

$$R_{\text{larutan+rangkaian}} = V_{ECIn} \frac{R_{\text{beban}}}{V_{ECPower} - V_{ECIn}}$$

$$R_{\text{larutan+rangkaian}} = 2,31 \frac{2,14 \cdot 10^3}{5 - 2,31} = 1,84 \text{ Kohm} \quad (27)$$

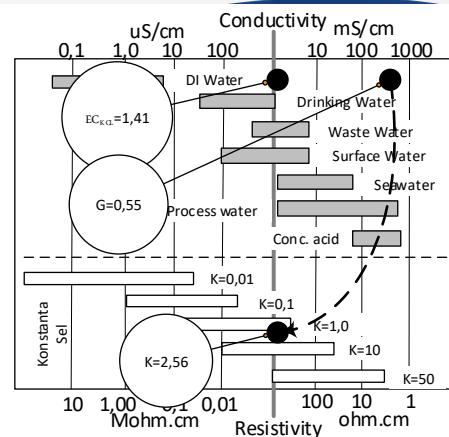
$$R_{\text{larutan}} = R_{\text{larutan+rangkaian}} - R_{\text{rangkaian}}$$

$$R_{\text{larutan}} = 1,84 \cdot 10^3 - 25 = 1,815 \text{ ohm} \quad (28)$$

$$EC = G * K \rightarrow K = R_{\text{larutan}} * EC$$

$$K = 1,815 * 1,409 \cdot 10^{-3} = 2,56 \text{ cm}^{-1} \quad (29)$$

Posisi dan sifat larutan acuan berdasarkan EC larutan dijelaskan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram EC larutan  
Metode 3.

Langkah pencarian lain konstanta sel dilakukan berdasarkan Persamaan (4), kita dapat melakukan pengujian lain melalui area efektif elektroda dan jarak antara elektroda.

Tabel 7. Data geometri elektroda.

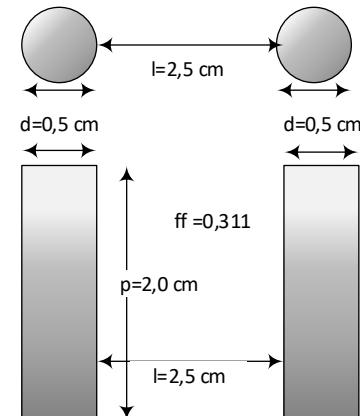
Item Data	Data
jarak antar elektroda l	2,5 cm
panjang elektroda p	2 cm
diameter elektroda d	0,5 cm
form factor ff	0,311

Penggunaan Persamaan (4) pada Tabel 7 dan Gambar 11 diperoleh:

$$K = \frac{l}{A}$$

$$= \frac{l}{0,311 \cdot 2\pi r^2} = \frac{2,5}{0,311 \cdot 2\pi \cdot 0,25^2} = 2,56 \text{ cm}^{-1} \quad (30)$$

Kita dapat menyimpulkan bahwa Persamaan (26), Persamaan (29) dan Persamaan (30) memiliki nilai kontanta sel yang sama.



Gambar 11. Diagram elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001

## 2.7. R<sub>larutan</sub>

R<sub>larutan</sub> akan berubah sesuai dengan *electrical conductivity* dari larutan yang diukur. Oleh karena itu harus dicari nilai maksimum dan minimum *resistance* larutan R<sub>larutan</sub> melalui nilai minimum dan maksimum *electrical conductivity* larutan.

Tabel 8. Data hitung persamaan.

Item Hitung	Nilai Hitung	Persamaan
Tmaks ukur	34 oC	(9)
Tmin ukur	16 oC	(11)
Ttengah ukur	25 oC	(12)
EC25maks	3,30 mS.cm <sup>-1</sup>	(20)
EC25min	0,40 mS.cm <sup>-1</sup>	(21)
EC25tengah	1,85 mS.cm <sup>-1</sup>	(22)
Koefisien Temp. $\alpha$	1,19 %	(25)

Berdasarkan koreksi pengaruh temperatur linear pada Persamaan (6), maka dengan menggunakan data pada Tabel 8 diperoleh:

$$EC_{T_{acuan}} = \frac{100}{100 + a(T - T_{acuan})} EC_T$$

$$EC_{25\ min} = \frac{100}{100 + 1,91\%(16 - 25)} 0,40 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0,48 \text{ mS} \quad (31)$$

$$EC_{25\ maks} = \frac{100}{100 + 1,91\%(34 - 25)} 3,30 \cdot 10^{-3}$$

$$= 2,82 \text{ mS} \quad (32)$$

Tabel 9. Data hitung persamaan.

Item Hitung	Nilai Hitung	Persamaan
Konstanta sel K	2,56 cm <sup>-1</sup>	(30)
EC <sub>25 min</sub>	0,48 mS.cm <sup>-1</sup>	(33)
EC <sub>25 maks</sub>	2,82 ms.cm <sup>-1</sup>	(34)

Berdasarkan data pada Tabel 9 dan Persamaan (6), maka diperoleh:

$$EC = G * K \rightarrow G = \frac{EC}{K} \rightarrow R = \frac{K}{EC}$$

$$R_{larutan\ maks} = \frac{K}{EC_{T\ min}} = \frac{2,95}{0,48 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 6,15 \text{ Kohm} \quad (33)$$

$$R_{larutan\ min} = \frac{K}{EC_{T\ maks}} = \frac{2,95}{3,63 \cdot 10^{-3}}$$

$$= 812,67 \text{ ohm} \quad (34)$$

## 2.8. R<sub>bebhan</sub>

Tabel 10. Data hitung persamaan.

Item Hitung	Nilai Hitung	Persamaan
Rlarutan maks	6,15 Kohm <sup>1</sup>	(33)
Rlarutan min	812,67 ohm	(34)

Nilai R<sub>bebhan</sub> dihitung melalui pembagi tegangan pada V<sub>1</sub> Gambar 8. Berdasarkan data pada Tabel 10 maka diperoleh:

$$k_1 = \frac{R_{larutan\ maks} + R_{rangkaian}}{R_{larutan\ maks} + R_{bebhan} + 2R_{rangkaian}}$$

$$= \frac{6,15 \cdot 10^3 + 25}{6,15 \cdot 10^3 + 50 + R'} = \frac{6.175}{6.200 + R_{bebhan}} \quad (35)$$

$$V_{1k1} = k_1 * V_{ECPower} = 5k_1 \quad (36)$$

dan

$$k_2 = \frac{R_{larutan\ min} + R_{rangkaian}}{R_{larutan\ min} + R_{bebhan} + 2R_{rangkaian}}$$

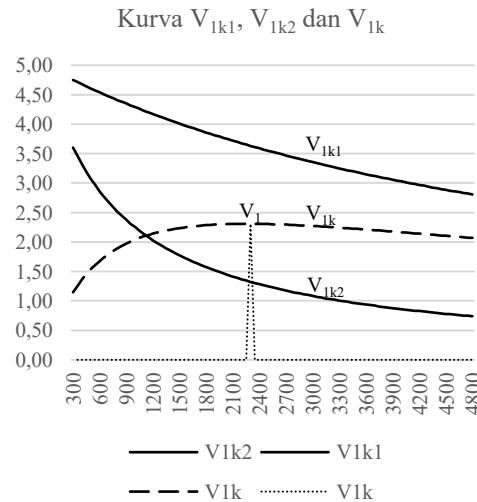
$$= \frac{812,67 + 25}{812,67 + 50 + R_{bebhan}} = \frac{837,67}{862,67 + R_{bebhan}} \quad (37)$$

$$V_{1k2} = k_2 * V_{ECPower} = 5k_2 \quad (38)$$

Maka:

$$V_{1k} = V_{1k1} - V_{1k2} \quad (39)$$

Gambar 12 menunjukkan kurva dari Persamaan (36), Persamaan (38) dan Persamaan (39). Kurva ini memberikan hasil nilai V<sub>1</sub> yaitu tegangan jatuh yang paling besar. V<sub>1</sub> dipilih menjadi tegangan jangkauan kerja dari probe sensor. Data kuantitatif ditunjukkan pada Table 11.



Gambar 12. Kurva pencarian nilai R<sub>bebhan</sub>

Tabel 11. Data ukur Gambar 11.

Item Ukur	Nilai Ukur
V <sub>1</sub>	2,31 volt
R <sub>bebhan</sub>	2,31 ≈ 2,4 Kohm

## 2.9. Electrical Conductivity

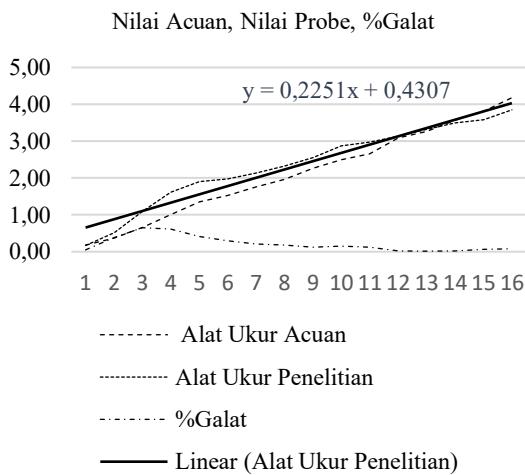
Data hasil pengukuran *electrical conductivity* ditunjukkan pada Tabel 12 dan Gambar 13. Data tersebut membandingkan hasil pengukuran alat ukur komersial sebagai nilai acuan dan hasil pengukuran yang dihasilkan oleh elektroda yang dirancang dalam penelitian ini sebagai nilai probe sensor pada suhu

$T_{ukur}=25^\circ\text{C}$  dan diperoleh galat rerata 21,19%. Galat terbesar diperoleh saat EC rendah.

Tabel 12. Perbandingan nilai acuan dengan nilai probe.

No.	EC ( $\text{mS.cm}^{-1}$ )		%Galat
	Nilai Acuan	Nilai Probe	
1.	0,18	0,17	5,56 %
2.	0,37	0,51	37,84 %
3.	0,66	1,09	65,15 %
4.	1,00	1,61	61,00 %
5.	1,35	1,90	40,74 %
6.	1,53	1,98	29,41 %
7.	1,76	2,14	21,59 %
8.	1,96	2,32	18,37 %
9.	2,27	2,55	12,33 %
10.	2,49	2,88	15,66 %
11.	2,65	2,97	12,07 %
12.	3,09	3,14	1,62 %
13.	3,27	3,32	1,53 %
14.	3,57	3,5	1,96 %
15.	3,82	3,58	6,28 %
16.	4,18	3,85	7,89 %
Rata-rata %Galat		21,19%	

$T_{pengukuran}=25^\circ\text{C}$



Gambar 13. Grafik perbandingan nilai acuan, nilai probe, %Galat dan trend linier dari nilai probe

## 2.10. Kuantisasi Kalibrasi K

Kuantisasi kalibrasi K dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan baik sebelum atau selama algorithma dijalankan.

### Prosedur

1. Rendam probe sensor electrical conductivity dan temperatur secara bersamaan dalam larutan kalibrasi yang sifat-sifatnya diketahui, dalam hal ini larutan KCl 0,01D.

2. Diamkan beberapa saat sampai dengan kondisi tampilan hasil ukur kedua probe stabil.
- 3.Tambahkan konsentrasi larutan kalibrasi sedikit demi sedikit sambil diaduk agar tercampur sampai dengan nilai konsentrasi yang dikehendaki.
4. Diamkan beberapa saat sampai dengan kondisi tampilan hasil ukur kedua probe stabil.
5. Catat hasil pengukuran konstanta sel K terbaru, untuk digunakan sebagai nilai K pada algorithma pengukuran electrical conductivity

### Algorithma

Tabel 13. Konstanta algorithma kuantisasi kalibrasi K.

Item	Nilai	Acuan
$EC_{KCl}$	1,409 $\text{mS.cm}^{-1}$	Tabel 3
$R_{bebani}$	2,4 Kohm	Tabel 11
$R_{rangkaian}$	26,67 ohm	Pers. (24)
Koefisien Temp. $\alpha$	$1,19\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Pers. (25)
$V_{ECPower}$	5 volt	Pers. (23)

Data pada Tabel 13 digunakan untuk konstanta algorithma kuantisasi kalibrasi K.

### Kalibrasi K {

1. Konstanta kalibrasi
  - a.  $EC_{KCl} = 1,409 \cdot 10^{-3} \text{ S/cm}^{-1}$
  - b.  $R_{bebani} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ ohm}$
  - c.  $R_{rangkaian} = 26,67 \text{ ohm}$
  - d.  $\alpha = 1,19\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
2.  $R_{bebani} = R_{bebani} + R_{rangkaian}$ .
3. Baca hasil ukur temperatur larutan kalibrasi  $T_{ukur awal}$ .
4. Baca hasil ukur  $V_{ECIn}$  //yakinkan bahwa larutan tercampur dengan baik.
5. Baca hasil ukur temperatur larutan kalibrasi  $T_{ukur akhir}$ .
6. Uji validasi temperatur
  - a. Apabila  $T_{ukur awal} = T_{ukur akhir}$  pengujian dapat dilanjutkan
  - b. Apabila  $T_{ukur awal} \neq T_{ukur akhir}$  tunggu hingga temperatur sesuai
7.  $EC_{ukur} = EC_{KCl} * (1 + (\alpha * (T_{ukur akhir} - 25)))$
8.  $V_{larutan} = V_{ECPower} * V_{ECIn} / 1024$
9.  $R_{larutan} = (V_{larutan} * R_{bebani}) / (V_{ECPower} - V_{larutan})$ ;
10.  $R_{larutan} = R_{larutan} - R_{rangkaian}$
11.  $K = R_{larutan} * EC_{ukur} // Pers. (5)$

## 2.11. Kuantifikasi Electrical Conductivity

Kuantifikasi electrical conductivity dilakukan dengan mengikuti prosedur yang telah ditetapkan baik sebelum atau selama algorithma dijalankan.

## Prosedur

1. Interval pembacaan tidak dilakukan lebih cepat dari 5 detik, bila kurang dari 5 detik akan diperoleh hasil baca yang kurang baik dan dapat merusak probe. Selain itu untuk menghindari masalah polarisasi dan kerusakan probe. Semakin lama jarak pembacaan, semakin tahan probe bekerja [6].
2. Berdasarkan karakteristik komponen, tidak memasang  $R_{beban}$  kurang dari 300 ohm [7].

## Algorhythma

Tabel 14. Konstanta algorhythma kuantisasi nilai ukur.

Item	Nilai	Acuan
$EC_{KCl}$	1.409 mS.cm <sup>-1</sup>	Tabel 3
$R_{beban}$	2,4 Kohm	Tabel 11
$R_{rangkaian}$	26,67 ohm	Pers. (24)
Koefisien Temp. $\alpha$	1,19% oC-1	Pers. (25)
K	2,56 cm <sup>-1</sup>	Pros.-1 Algo-1
$V_{ECPower}$	5 volt	Pers. (23)
$T_{ukur}$	25°C	Pers.(12)

## Pembacaan Electrical Conductivity{

1. Konstanta kalibrasi
    - a.  $EC_{KCl} = 1,409 \cdot 10^{-3} S/cm^{-1}$
    - b.  $R_{beban} = 2,4 \cdot 10^3 \text{ ohm}$
    - c.  $R_{rangkaian} = 26,67 \text{ ohm}$
    - d.  $\alpha = 1,19\%$
    - e.  $K = 2,56 \text{ cm}^{-1}$
  2.  $R_{beban} = R_{beban} + R_{rangkaian}$
  3. Baca hasil ukur  $EC_{larutan}$ 
    - a.  $V_{larutan} = (V_{ECPower} * V_{ECIn}) / 1024;$
    - b.  $R_{larutan} = V_{larutan} * R_{beban} / (V_{ECPower} - V_{larutan})$
    - c.  $R_{larutan} = R_{larutan} - R_{rangkaian}$
    - d.  $EC_{larutan} = K / R_{larutan} // Pers. (5)$
  4.  $EC_{25} = EC / (1 + \alpha * (T_{ukur} - 25))$
- }

## 3. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah dipelajari dan dirancang probe sensor untuk *electrical conductivity* menggunakan elektroda berbahan material SNI 04-3892.1-2001 pada aplikasi pengukuran *electrical conductivity* larutan nutrisi hidroponik dengan karakteristik sebagai berikut:

- Jangkauan ukur *electrical conductivity* 0,54 mS.cm<sup>-1</sup> sampai dengan 3,30 mS.cm<sup>-1</sup>.
- Jangkauan kerja temperatur 16 °C -34 °C.
- Titik tengah kerja temperatur 25 °C.
- Konstanta sel K 2,56 cm<sup>-1</sup>.
- Koefisien temperatur  $\alpha$  1,19%.

–  $R_{beban}$  2,4 Kohm.

– Prosentase galat 21,19%

Saran untuk penelitian berikutnya adalah:

- Jangkauan ukur *electrical conductivity* yang lebih besar.
- Kompensasi temperatur dilakukan secara otomatis.
- Memperbaiki teknik pencegahan polarisasi pada elektroda.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung khususnya UPPM Polban yang telah memfasilitasi kegiatan ini melalui program PkM kemitraan masyarakat dan skema penelitian pengembangan KBK Tahun 2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Min WU dan Chieri Kubota, "Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening," *Scientia Horticulturae*, vol. 116, no. 2, pp. 122-129, 2008.
- [2] Anja Stadlera, Sebastian Rudolph, Moritz Kupischa, Matthias Langensiepena, Janvan der Kruk dan Frank Ewerta, "Quantifying the effects of soil variability on crop growth using apparent soil electrical conductivity measurements," *European Journal of Agronomy*, vol. 64, pp. 8-20, March 2015.
- [3] Anna F. Rusydi, "Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review," dalam *Global Colloquium on GeoSciences and Engineering 2017*, 2017.
- [4] Eunyoung Jeon, Seungyul Choi, Kyung-Hwan Yeo, Kyoung Sub Park, Mitesh L Rathod dan Junghoon Lee, "Development of electrical conductivity measurement technology for key plant physiological information using microneedle sensor," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 27, no. 8, 20 July 2017.
- [5] M. Siosemarde, F. Kave, E. Pazira, H. Sedghi dan S. J. Ghaderi , "Determine of Constant Coefficients to Relate Total Dissolved Solids to Electrical Conductivity," *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, vol. 4, no. 10, 2010.
- [6] Michael Ratcliffe , "Three Dollar EC - PPM Meter," HACKDAY.IO, 09 April 2015 . [Online]. Available: <https://hackaday.io/project/7008-fly-wars-a-hackers-solution-to-world-hunger/log/24646-three-dollar-ec-ppm-meter-arduino>. [Diakses 20 Juny 2019].
- [7] ATmega, "ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V [DATASHEET]," [Online]. Available: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/atmel-1280-1281-2560-2561.pdf>

2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-  
2560-2561\_datasheet.pdf. [Diakses 20 Juni 2019].