

# KAJIAN TENTANG PERLAKUAN BENTUK KONFIGURASI ELEKTRODA TERHADAP KINERJA SENSOR KONDUKTIVITAS LISTRIK TANAH JENIS KAPASITIF

## STUDY OF ELECTRODE CONFIGURATION SHAPE ON THE PERFORMANCE OF CAPASITIF TYPE OF THE SOIL ELECTRIC CONDUCTIVITY

Wahyu Octavianus<sup>(1)</sup>, I Made Anom S. Wijaya<sup>(2)</sup>, I Putu Gede Budi Sanjaya<sup>(2)</sup>

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana

Email: wahyu.octavianus@gmail.com

### ABSTRACT

*The measurement of EC can be conducted in two ways, namely electromagnetic induction and direct contact. This study using capacitive direct contact. The aims of this study were to determine the relationship of configurations shape each other of electrode to the measurements performance, and to determine to treatment that has the best performance. The study was started by designing the electrodes then continued by functional test and performance test. The treatments used was electrodes shape of ring, hair and triangle, and electrodes configuration of each shape was 2, 4, 6 and 8. The electrode probe was inserting into the soil with the depth of 20 cm to get the frequency and at the same time soil sample was collected for analyzed in the laboratory to get the EC values. Based on those data the relationship of between soil frequency and EC were then analyzed. The results indicated that the best performance was hair shapes with 2 configuration. The equation of soil frequency and EC was  $EC = 0.080590 F_{(soil)} - 4.48289$  with  $R^2 = 0.851$ ,  $RMSE = 0.066$ ,  $stability = 0.02$  and  $respond\ time = 7.41\ second$ .*

*Keyword: Electric conductivity (EC), Capacitive sensor, Parallel chip sensor electrode, soil frequency, Performance test.*

### PENDAHULUAN

Tanah mempunyai arti penting bagi tanaman. Tanah yang subur adalah tanah yang mampu untuk menyediakan unsur hara yang cocok, dalam jumlah yang cukup serta dalam keseimbangan yang tepat dan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan suatu spesies tanaman (Munif, 2009). Data analisa tanah sangat penting diketahui petani untuk memberikan penanganan yang tepat terhadap lahan pertaniannya, sehingga kesuburan tanahnya dapat tetap dipertahankan. Analisa yang masih sering dilakukan adalah dengan cara melakukan uji laboratorium. Uji Laboratorium memerlukan proses lama dan biaya yang tinggi. Mengingat kebanyakan petani memerlukan hasil cepat dan biaya yang seminimal mungkin, maka diperlukan suatu alat pengukur yang bisa memberikan hasil secara cepat dan biaya terjangkau. Pengukuran konduktivitas listrik (EC) tanah menjadi pengukuran yang paling sering dilakukan untuk mengetahui keragaman kandungan tanah untuk aplikasi *precision* pertanian, karena sangat mudah dilakukan dan memberikan hasil yang tepat (Rhoades,1999).

Terdapat dua (2) metode pengukuran konduktivitas listrik (EC) tanah yaitu, induksi elektromagnetik dan kontak langsung. Induksi elektromagnetik dilakukan dengan memberikan energi elektromagnetik ke dalam geologi bahan menggunakan sumber arus yang melewati permukaan bumi, tetapi tidak terjadi kontak fisik. Metode kontak langsung melibatkan perangkat yang mengarahkan arus listrik ke dalam tanah melalui elektroda logam terisolasi yang menembus

---

<sup>(1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, FTP UNUD

<sup>(2)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, FTP UNUD

permukaan tanah. Pengukuran konduktivitas listrik tanah dengan metode induksi elektromagnetik dan kontak langsung telah memberikan hasil yang sebanding (Sudduth dkk., 1998). Penelitian ini dilakukan dengan metode pengukuran kontak langsung, yaitu dengan menggunakan elektroda sensor kapasitif.

Sensor jenis kapasitif memiliki prinsip dasar pengukuran berdasarkan perubahan kapasitansi. Kapasitansi antara dua pelat ditentukan oleh tiga hal yaitu luas penampang plat elektroda, jarak elektroda dan material dielektrik antara plat elektroda. Luas permukaan elektroda logam pada rangkaian sensor dapat mempengaruhi kinerja sensor kelembaban jenis kapasitif yang dihasilkan (Cifriadi Adi, 2005). Menurut Suprpto (2006), semakin besar jarak antara elektroda akan semakin menurunkan densitas arus yang mengalir pada medium tanah. Mengingat adanya hubungan yang erat antara hasil pengukuran EC dengan luas penampang dan jarak elektroda, maka penulis mengkaji tentang bentuk dan konfigurasi elektroda sensor terhadap hasil pengukuran yang didapatkan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk konfigurasi elektroda sensor konduktivitas listrik tanah terhadap kinerja pengukuran dengan menggunakan sensor jenis kapasitif dan juga untuk mendapatkan perlakuan yang memberikan kinerja terbaik.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada Bulan Juni – Oktober 2014. Tahapan pembuatan rangka sensor dilaksanakan di bengkel Han Bubut di Desa Pesanggaran Denpasar. Tahapan kontruksi sensor dilaksanakan di Laboraturium Rekayasa Alat dan Ergonomika Fakultas Teknologi Pertanian Universita Udayana. Tahapan pengujian sensor dilaksanakan di lahan sawah Desa Cemagi, Kec. Mengwi, Kab Badung, Bali. Analisis EC dilaksanakan di Laboratorium Pengelolaan Sumber Daya Alam Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Udayana.

### Alat dan Bahan

#### Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian meliputi 2 jenis yaitu, alat untuk perancangan elektroda sensor dan alat untuk melakukan uji EC. Alat untuk perancangan elektroda sensor adalah gergaji besi, grinda, *tools kit*, solder, amplas, alat bakar, multimeter. Alat yang digunakan untuk uji EC adalah mesin pengocok/*shaker*, gelas ukur, pipet tetes, gelas beker, EC meter dengan merek dagang *milwaukee* serta alat-alat lain yang mendukung penelitian ini.

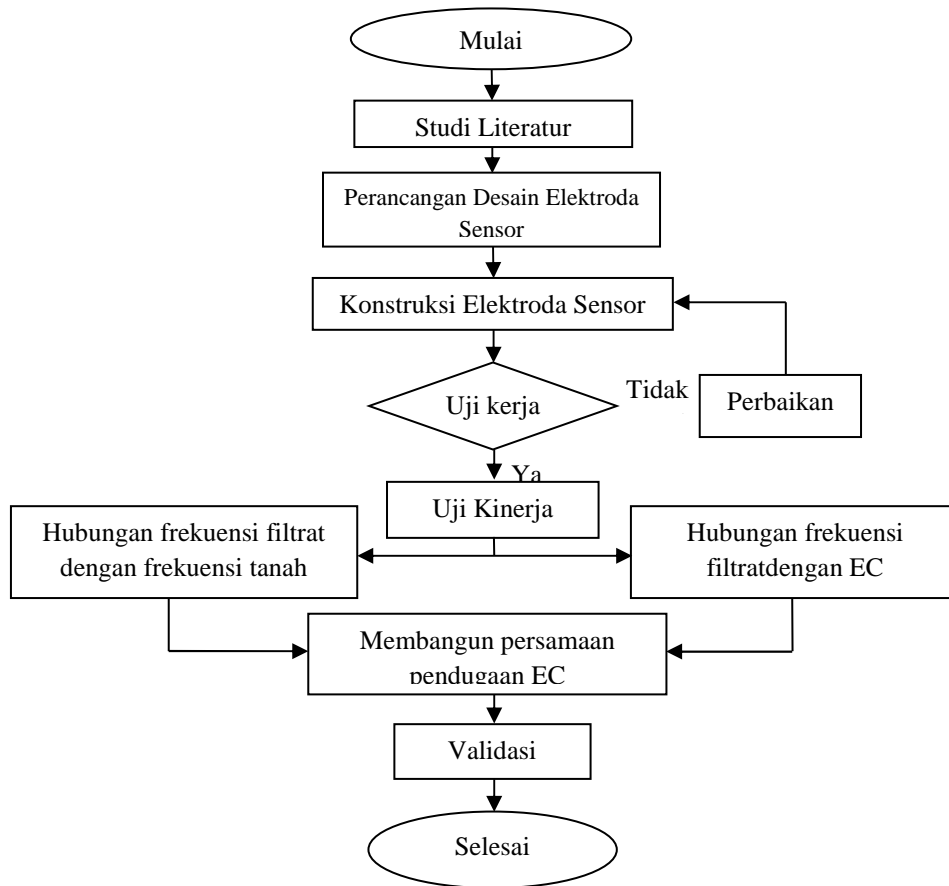
#### Bahan

Bahan yang digunakan untuk elektroda sensor ini adalah bahan tembaga dengan ketebalan tebal 0,2 mm, isolasi bakar, kabel kanare, skun (konektor), lem *rubber*, batang aluminium, garam KCl p.a, aqua DM dan tanah.

### Metodelogi

Sensor secara umum dibagi menjadi 2 yaitu rangkaian pembaca dan elektroda sensor. Rangkaian pembaca sensor dirancang menggunakan frekuensi *counter* dan osilator, yang menjadi kapasitor pada penelitian ini adalah bahan konduktor yang dipasang sejajar, kapasitor ini akan mengasilkan kapasitansi, nilai kapasitan akan mempengaruhi sinyal osilator, sinyal ini kemudian dibaca oleh frekuensi *counter* dengan pembacaan per detik yaitu berupa data frekuensi. Elektroda

sensor pada penelitian ini dibuat dalam berbagai perlakuan, proses dan tahapan pengerjaannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### Studi Literatur

Sebagai tahapan awal dalam melakukan riset, telah dilakukan studi literatur berupa pengumpulan materi ilmiah sebagai pedoman untuk mendesain sensor yang baik. Dalam tahap ini, telah dilakukan dokumentasi, pengelompokan yang mendalam terhadap seluruh informasi yang didapat guna mendukung perancangan desain elektroda sensor konduktivitas tanah jenis kapasitif ini.

### Perancangan

Perancangan elektroda sensor kapasitif terdiri dari 2 tahapan perancangan, yaitu perancangan elektroda sensor dan perancangan rangka elektroda sensor. Tahapan perancangan sensor akan dimulai dengan persiapan gambar rupa dan bahan yang kemudian akan dilanjutkan dengan pembuatan rangka sensor. Rangka sensor terdiri dari 3 (tiga) komponen yaitu kepala sensor, badan sensor dan pegangan sensor. Setelah pengerjaan rangka sensor selesai akan dilanjutkan dengan pengerjaan elektroda sensor yang terdiri dari 3 (tiga) macam konfigurasi yaitu konfigurasi rambut, cincin (ring), segitiga yang diikuti masing-masing jumlah konfigurasinya. Bentuk dan luasan dari masing-masing konfigurasi akan menjadi perlakuan yang akan diamati dari penelitian ini. Perlakuan yang ada pada penelitian ini akan menghasilkan 12 bentuk dan luasan elektroda sensor.

## **Perancangan Fungsional**

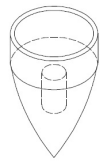
Perancangan elektroda sensor dibagi menjadi 2 yaitu perancangan elektroda dan perancangan rangka elektroda sensor. Elektroda berfungsi sebagai media pertukaran muatan listrik dari media yang diukur. Rangka elektroda sensor secara umum berfungsi untuk mempermudah proses pengukuran tanah. Komponen-komponen rangka sensor meliputi, kepala sensor, badan sensor dan pegangan sensor. Kepala sensor merupakan bagian ujung sensor yang berfungsi mempermudah menancapkan sensor ke dalam tanah. Badan sensor merupakan bagian rangka sensor yang akan ditempatkannya konduktor tembaga dengan berbagai bentuk konfigurasi. Pegangan sensor merupakan bagian dari sensor yang berfungsi sebagai tempat untuk memegang sensor pada saat digunakan.

Dalam penelitian ini akan menggunakan 3 (tiga) jenis bentuk elektroda yang berbeda (konfigurasi), yaitu konfigurasi rambut, cincin (*ring*) dan segitiga. Menurut Cifriadi, dkk., (2005), luas permukaan (ukuran) elektroda logam pada rangkaian sensor dapat mempengaruhi kinerja sensor jenis kapasitif yang mana nilai kapasitansi yang ditimbulkan berbanding lurus dengan luas penampang lempeng logam. Oleh karena itu pemilihan konfigurasi pada penelitian ini didasari bahwa masing-masing konfigurasi mempunyai luasan dan bentuk yang sangat berbeda yang akan mempengaruhi nilai kapasitansi (C) pada sensor kapasitif.

## **Perancangan Struktural**

Perancangan rangka sensor dilakukan dengan menggunakan bahan aluminium karena aluminium merupakan bahan metal yang ringan namun cukup kuat dan mudah didapat serta mempunyai harga yang cukup terjangkau. Rangka sensor dibuat dengan menggunakan aluminium bentuk silinder pejal dengan diameter 16 mm dan 25 mm menurut ukuran dipasaran.

Kepala sensor akan dibuat menggunakan bahan aluminium silinder berdiameter 25 mm, dan akan diperkecil diameternya. Kepala sensor ini memiliki diameter 22,5 mm dan tinggi 40 mm, memiliki lubang pada bagian atas dengan diameter dalam 18 mm dengan kedalaman 7 mm yang berfungsi sebagai tempat bertemunya antara bagian kepala dan badan sensor, serta memiliki lubang baut ukuran 10 dengan kedalaman 20 mm. Badan sensor akan dibuat menggunakan bahan aluminium berdiameter 16 mm, dan akan diperkecil diameternya. Badan sensor ini memiliki diameter 14 mm dan panjang 240 mm, memiliki jalur kabel dengan panjang 230 mm dari pangkal sensor yang berdimensi 4 mm x 4 mm, yang berfungsi sebagai tempat kabel nantinya, serta memiliki baut ukuran 10 disetiap ujungnya dengan panjang 10 mm. Pegangan sensor, seperti halnya dengan bagian yang lain, pegangan ini akan dibuat menggunakan bahan aluminium dengan diameter 25 mm, dan akan diperkecil diameternya dan dibentuk menurut ergonomi yang benar. Pegangan sensor ini memiliki diameter 25 mm dan panjang 100 mm, memiliki tekstur kasar atau "bergerigi" pada bagian luar yang bertujuan memperbesar gesekan pada tangan (agar tidak licin) saat memegang sensor. Memiliki lubang pada bagian bawah dengan diameter dalam 18 mm dengan kedalaman 10 mm yang berfungsi sebagai tempat bertemunya antara bagian badan dan pegangan sensor, serta memiliki lubang baut ukuran 10 dengan kedalaman 20 mm. Kepala, badan dan pegangan rangka dari elektroda sensor dapat dilihat pada Gambar 2.



a. Kepala Sensor



b. Badan Sensor



c. Pegangan Sensor

Gambar 2. Perancangan rangka sensor

Perancangan bentuk dan konfigurasi elektroda sensor dilakukan dengan menggunakan bahan tembaga. Luasan dan jarak antar elektroda pada masing-masing konfigurasi akan mempengaruhi nilai kapasitansi yang ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- C = nilai kapasitansi dalam farad (F)
- $\epsilon$  = permitivitas mutlak
- A = luas plat/lempeng dalam m<sup>2</sup>
- d = jarak antara plat /lempeng dalam m

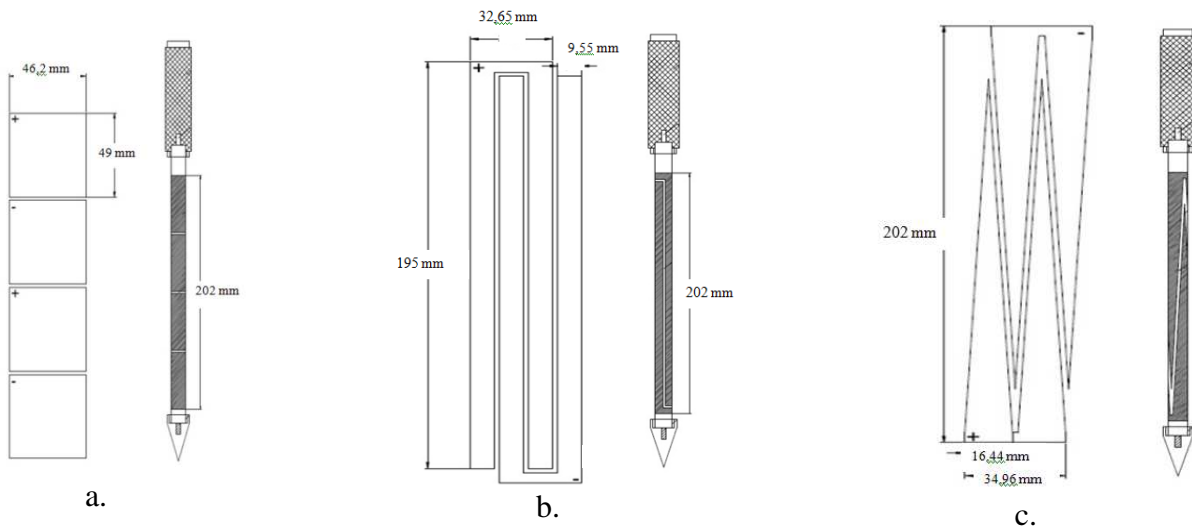
Luas penampang (A) pada setiap konfigurasi dapat ditentukan dengan persamaan :

1. Konfigurasi rambut  
 $A = (p_1 \times p_2) + n (p_2 \times l_2) \dots\dots\dots(2)$
2. Konfigurasi cincin  
 $A = n (p \times l) \dots\dots\dots(3)$
3. Konfigurasi segitiga  
 $A = (p \times l) + n (a \times t / 2) \dots\dots\dots(4)$

Dimana :

- A = luas penampang elektroda dalam mm<sup>2</sup>
- p = panjang elektroda dalam mm
- l = lebar elektroda dalam mm
- a = alas segitiga dalam mm
- t = tinggi segitiga dalam mm
- n = jumlah konfigurasi dalam mm

Pembuatan elektroda dimulai dari menggambar pola masing-masing konfigurasi di atas lembaran tembaga dengan tebal 0,2 mm. Kemudian dipotong dengan menggunakan *cutter* agar ukuran elektroda lebih presisi. Konfigurasi elektroda yang digunakan pada setiap bentuk adalah konfigurasi 2, 4, 6 dan 8. Pada Gambar 3 masing-masing menjelaskan setiap bentuk konfigurasi rambut, cincin (*ring*) dan segitiga yang menggunakan konfigurasi 4 elektroda.



Gambar 3. Perancangan elektroda sensor konfigurasi 4, a = bentuk cincin, b = bentuk rambut, c = bentuk segitiga

### Konstruksi

Konstruksi dilakukan dengan menggabungkan semua bagian elektroda sensor yang telah dirancang yaitu bagian kepala elektroda sensor, badan elektroda sensor dan juga pegangan elektroda sensor. Bagian-bagian elektroda sensor yang ada digabungkan secara tidak permanen, dengan tujuan bagian badan elektroda sensor dapat diganti-ganti sesuai dengan perlakuan elektroda yang dilakukan dalam penelitian ini.

### Uji Kerja Elektroda Sensor

Uji Kerja elektroda sensor dilakukan dengan mencelupkan elektroda sensor ke dalam media air. Air ditampung pada gelas ukur dengan ketinggian air minimal 20 cm, kemudian elektroda dimasukkan kedalam air, dan dites menggunakan multimeter. Tujuan dari uji kerja ini adalah untuk mengetahui apakah sensor sudah dapat bekerja dan siap untuk digunakan untuk pengukuran di lahan. Apabila masih belum siap, maka elektroda diperbaiki lagi untuk menemukan kesalahannya.

### Uji Kinerja

Uji kinerja dilakukan di Desa Cemagi, Kec. Mengwi, Kab. Badung, Bali. Elektroda sensor secara langsung ditancapkan pada tanah sedalam 20 cm untuk diambil data frekuensinya, setiap satu titik pengukuran dilakukan 3 kali ulangan pengambilan data frekuensi. Pengukuran di lapangan dilakukan pada pukul 08.00 – 11.00 wita, hal ini dilakukan untuk menyeragamkan suhu pengambilan data. Titik lokasi pengukuran diambil sampel tanahnya untuk uji EC di laboratorium. Pengukuran EC diikuti dengan pengukuran frekuensi filtrat dengan sensor yang dirancang. Data uji lapangan dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu data untuk membangun persamaan EC dan juga kelompok data untuk validasi.

### Membangun Persamaan Pendugaan EC

Persamaan pendugaan EC dibangun dengan mencari hubungan frekuensi filtrat dengan EC hasil analisis. Persamaan yang dihasilkan kemudian ditambahkan dengan hubungan antara frekuensi

filtrat dengan frekuensi tanah. Hasil dari hubungan frekuensi filtrat dengan frekuensi tanah ini digunakan untuk mengkoreksi nilai frekuensi tanah, sehingga persamaan pendugaan EC dapat digunakan untuk pengukuran dilapangan dengan lebih presisi dan akurat.

### **Validasi**

Validasi dilakukan dengan mengujikan persamaan pendugaan EC terhadap kelompok data yang sudah disiapkan untuk validasi.

### **Parameter yang diamati**

Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah presisi elektroda sensor dan akurasi hasil pengukuran sensor terhadap media yang diukur.

### **Presisi**

Presisi merupakan ukuran keragaman observasi yang masih berada di dalam batas penerimaan statistik, menjadi indikator keseragaman atau reproduksibilitas suatu hasil, meskipun hasilnya tidak selalu benar (Fares dkk., 2004). Presisi pada penelitian ini ditentukan dari  $R^2$  yang dihasilkan dari persamaan regresi hasil hubungan frekuensi laboratorium dengan EC hasil analisis.

### **Akurasi**

Akurasi merupakan tingkat kesesuaian hasil terhadap pengukuran standar (Fares dkk., 2004). Akurasi pada penelitian ini ditentukan dari nilai RMSE (*Root Mean Squar Error*) yang dihasilkan oleh masing-masing perlakuan elektroda sensor yang dirancang. Nilai RMSE diketahui dengan mencari selisih kuadrat antara uji laboratorium dengan pengukuran sensor di lapangan. Semakin kecil nilai RMSE yang dihasilkan oleh elektroda sensor, maka pembacaan elektroda sensor dikatakan semakin akurat.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **Elektroda Sensor**

Penelitian ini diawali dengan pengerjaan elektroda sensor sesuai dengan apa yang telah dirancang. Bahan tembaga digunakan sebagai bahan konduktor elektroda sensor, karena bahan ini memiliki konduktivitas listrik tinggi dan harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan bahan perak. Feriniawan (2012), mengatakan konduktivitas berbagai bahan dari yang paling tinggi yaitu perak ( $6,8 \times 10^7$  ohm meter), tembaga ( $6,0 \times 10^7$  ohm meter), emas ( $4,3 \times 10^7$  ohm meter), dan aluminium ( $3,8 \times 10^7$  ohm meter). Konduktor ini ditempelkan pada batang elektroda sensor berisolasi.

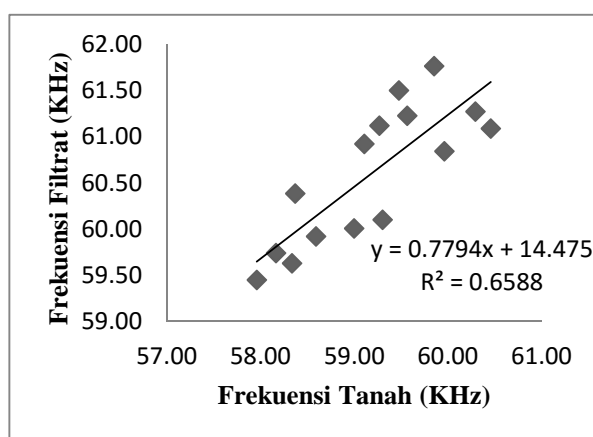
Elektroda sensor yang telah selesai dipasang kemudian dilakukan uji kerja dengan mencelupkan elektroda sensor ke dalam air. Uji kerja dilakukan dengan tujuan menguji apakah isolasi elektroda sensor bocor atau tidak. Kebocoran sensor diketahui dengan menggunakan multimeter. Sensor yang telah lolos uji kerja selanjutnya dapat digunakan untuk uji kinerja. Uji kinerja dilakukan dengan menancapkan elektroda sensor langsung di lapangan. *Output* dari sensor ini adalah berupa data frekuensi yang terbaca melalui komponen pembaca. Komponen pembaca ini terhubung pada elektroda sensor melalui kebel *canare* dengan skun u sebagai konektornya. Komponen sensor lengkap ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Komponen lengkap sensor

### Hubungan frekuensi lapangan dengan frekuensi filtrat laboratorium

Uji kinerja dilakukan pada tanah sawah lembab dengan kadar air berkisar antara 46,61% – 57,73%. Uji kinerja menghasilkan data frekuensi tanah dan data frekuensi filtrat laboratorium. Data yang ada kemudian dicari rata-rata untuk setiap sampelnya. Data frekuensi lapangan kemudian dihubungkan dengan data frekuensi filtrat untuk dicari persamaan regresinya. Hasil terbaik dari hubungan frekuensi lapangan dengan frekuensi filtrat sebagai contoh disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan frekuensi tanah dengan frekuensi filtrat elektroda sensor bentuk rambut konfigurasi 2

Tabel 1. Persamaan yang dihasilkan dari hubungan tanah lapangan dengan frekuensi filtrat

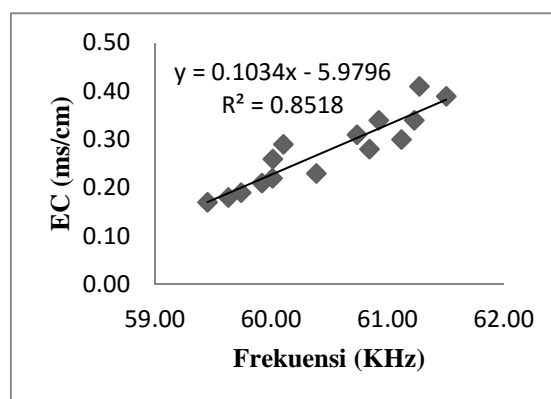
Bentuk	Konfigurasi	Persamaan	R <sup>2</sup>
Cincin	2	$F_{\text{filtrat}} = 0.3351 F_{\text{tanah}} + 41.031$	0.52
	4	$F_{\text{filtrat}} = 0.1532 F_{\text{tanah}} + 52.534$	0.39
	6	$F_{\text{filtrat}} = 0.4143 F_{\text{tanah}} + 35.028$	0.48
	8	$F_{\text{filtrat}} = 0.3768 F_{\text{tanah}} + 58.166$	0.27
Rambut	2	$F_{\text{filtrat}} = 0.7794 F_{\text{tanah}} + 14.475$	0.66
	4	$F_{\text{filtrat}} = 0.5363 F_{\text{tanah}} + 29.518$	0.51
	6	$F_{\text{filtrat}} = 0.7269 F_{\text{tanah}} + 17.531$	0.35
	8	$F_{\text{filtrat}} = 0.6729 F_{\text{tanah}} + 21.040$	0.53
Segitiga	2	$F_{\text{filtrat}} = 0.6775 F_{\text{tanah}} + 21.422$	0.32
	4	$F_{\text{filtrat}} = 0.7185 F_{\text{tanah}} + 16.745$	0.21
	6	$F_{\text{filtrat}} = 0.6170 F_{\text{tanah}} + 24.418$	0.32
	8	$F_{\text{filtrat}} = 0.2634 F_{\text{tanah}} + 44.356$	0.20



Persamaan yang didapatkan dari hubungan frekuensi tanah dengan frekuensi filtrat digunakan untuk mengoreksi frekuensi filtrat yang diukur di laboratorium. Frekuensi filtrat perlu dikoreksi karena hasil pengukuran di lapangan menunjukkan frekuensi lapangan lebih tinggi dari frekuensi filtrat. Perbedaan pengukuran ini terjadi karena terdapat banyak faktor lapangan yang menyebabkan terjadinya perbedaan nilai atau hasil yang didapatkan sehingga frekuensi filtrat perlu disesuaikan dengan frekuensi tanah yang diambil di lapangan. Persamaan yang dihasilkan dari semua hubungan elektroda sensor dapat dilihat pada Tabel 1.

### Hubungan EC dengan Frekuensi Filtrat

Nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan dari analisa di laboratorium dihubungkan dengan frekuensi dari filtrat tanah yang diukur di laboratorium. Persamaan yang dihasilkan ini digunakan untuk membangun persamaan pendugaan EC. Hasil hubungan frekuensi filtrat dengan EC ditunjukkan oleh Gambar 6.



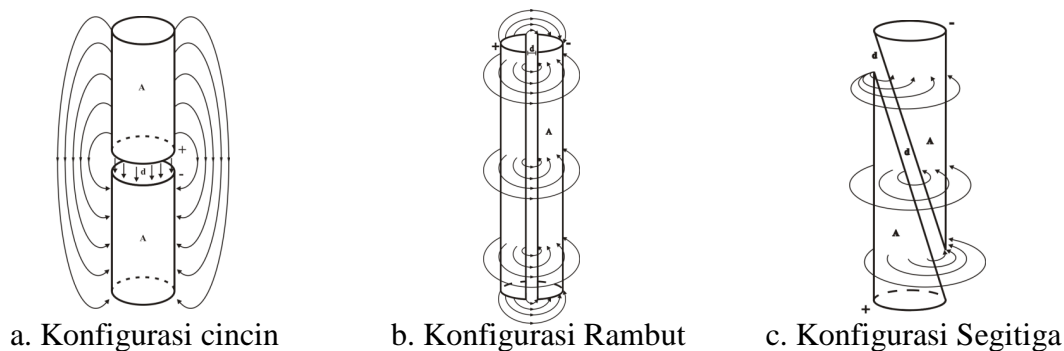
Gambar 6. Hubungan frekuensi filtrat laboratorium dengan EC elektroda sensor bentuk rambut konfigurasi 2

Hubungan frekuensi filtrat dengan EC hasil analisis menghasilkan persamaan dan koefisien determinan. Koefisien determinan ( $R^2$ ) ini akan digunakan untuk menentukan salah satu parameter dari penelitian ini yaitu parameter tingkat kepresisian elektroda sensor yang dirancang. Hasil persamaan dari hubungan frekuensi filtrat dengan EC dan koefisien determinan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persamaan dan nilai  $R^2$  hasil hubungan dari frekuensi filtrat dengan EC

Bentuk	Konfigurasi	Persamaan	R2
Cincin	2	$EC = 0.1151 F_{filtrat} - 6.6777$	0.70
	4	$EC = 0.1135 F_{filtrat} - 6.7267$	0.61
	6	$EC = 0.1344 F_{filtrat} - 7.6966$	0.59
	8	$EC = 0.0537 F_{filtrat} - 4.7298$	0.61
Rambut	2	$EC = 0.1034 F_{filtrat} - 5.9796$	0.85
	4	$EC = 0.1288 F_{filtrat} - 7.6835$	0.72
	6	$EC = 0.0795 F_{filtrat} - 4.5600$	0.52
	8	$EC = 0.1587 F_{filtrat} - 9.4529$	0.62
Segitiga	2	$EC = 0.0579 F_{filtrat} - 3.3340$	0.66
	4	$EC = 0.0819 F_{filtrat} - 4.6022$	0.61
	6	$EC = 0.1122 F_{filtrat} - 6.5964$	0.55
	8	$EC = 0.1110 F_{filtrat} - 6.3172$	0.40

Penelitian menghasilkan elektroda sensor bentuk rambut konfigurasi 2 menghasilkan nilai  $R^2$  paling tinggi yaitu sebesar 0.85, dan elektroda yang menghasilkan nilai  $R^2$  paling kecil adalah elektroda sensor bentuk segitiga konfigurasi 8 dengan nilai  $R^2$  sebesar 0.40. Hasil penelitian menunjukkan elektroda sensor bentuk rambut menghasilkan nilai  $R^2$  lebih tinggi dibandingkan dengan elektroda sensor bentuk cincin dan segitiga. Asdak (2010), mengatakan model persamaan regresi dikatakan semakin baik apabila  $R^2$  yang dihasilkan mendekati 1. Nilai  $R^2$  menunjukkan seberapa jauh kesalahan dalam memperkirakan besarnya  $y$  yang dapat direduksi dengan menggunakan informasi yang dimiliki variabel  $x$ . Variabel  $x$  dalam penelitian ini adalah frekuensi yang dihasilkan oleh elektroda sensor. Elektroda bentuk rambut menghasilkan nilai  $R^2$  lebih baik karena pertukaran muatan antara 2 lempeng terjadi secara konstan karena jarak pada semua sisi lempengnya sama. Skema pertukaran medan listrik antara 2 lempeng plat sejajar ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Medan listrik masing-masing konfigurasi

Pada skema ini terlihat pertukaran medan listrik, dimana dalam penelitian ini konfigurasi bentuk rambut dan segitiga memiliki pertukaran medan listrik terdekat jika dibandingkan dengan bentuk konfigurasi cincin. Masing-masing bentuk konfigurasi akan memiliki jarak pertukaran medan listrik yang berbeda, jarak pertukaran medan listrik sangat menentukan baik tidaknya hasil pengukuran sebuah sensor, dimana semakin dekat jarak pertukaran medan listrik maka semakin baik pula sensor dalam membaca hasil, begitu juga sebaliknya semakin jauh jarak pertukaran medan listrik maka semakin buruk sebuah sensor dalam membaca hasil. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, bahwa konfigurasi bentuk rambut dan segitiga memiliki jarak pertukaran medan listrik yang lebih dekat dari pada bentuk cincin, namun pertukaran medan listrik pada bentuk segitiga tidak seragam pada setiap sisinya karena bentuknya yang segitiga.

Adapun selain jarak pertukaran medan listrik terdapat juga luas penampang elektroda sensor yang mempengaruhi dalam pembacaan sensor dalam hal ini yang berpengaruh juga terhadap  $R^2$  itu sendiri. Semakin luas penampang plat elektroda sensor maka semakin baik sebuah sensor dalam membaca hasil, begitu pula sebaliknya semakin kecil luas penampang plat elektroda sensor maka semakin buruk sebuah sensor dalam membaca hasil. Luasan dari masing-masing penampang berbagai bentuk konfigurasi disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa bentuk cincin konfigurasi 2 memiliki penampang terluas dan diikuti dengan bentuk rambut konfigurasi 2 selanjutnya segitiga konfigurasi 2. Bentuk rambut konfigurasi 2 menjadi perlakuan yang terbaik dengan  $R^2 = 0.85$  dikarenakan memiliki jarak pertukaran medan listrik yang lebih dekat dibandingkan dengan bentuk cincin konfigurasi 2 yang memiliki luasan penampang tertinggi dengan  $R^2 = 0.70$ .

Tabel 3. Luas Penampang Plat Elektroda

Bentuk	Konfigurasi	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Presi (R <sup>2</sup> )
Cincin	2	4900.00	0.70
	4	2401.00	0.61
	6	1568.00	0.59
	8	1151.50	0.61
Rambut	2	4275.00	0.85
	4	1947.50	0.72
	6	1159.00	0.52
	8	779.00	0.62
Segitiga	2	4112.50	0.66
	4	1968.75	0.61
	6	1251.25	0.55
	8	892.50	0.40

### Persamaan Pendugaan EC

Persamaan pendugaan EC dibangun dari persamaan hasil hubungan EC hasil analisis dengan frekuensi filtrat, frekuensi filtrate disubstitusikan dengan persamaan hasil hubungan frekuensi tanah dengan frekuensi filtrat. Persamaan pendugaan EC sebagai contoh ditunjukkan oleh persamaan yang dihasilkan oleh elektroda sensor bentuk rambut konfigurasi 2.

$$F_{\text{filtrat}} = 0.7794(F_{\text{tanah}}) + 14.475 \dots\dots\dots(2)$$

$$EC = 0.1034(F_{\text{filtrat}}) - 5.9796 \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned} EC &= 0.1034(F_{\text{filtrat}}) - 5.9796 \\ &= 0.1034 (0.7794(F_{\text{tanah}}) + 14.475) - 5.9796 \\ &= 0.080590 F_{\text{tanah}} - 4.48289 \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

Persamaan pendugaan yang dihasilkan semua perlakuan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persamaan pendugaan EC semua perlakuan elektroda sensor.

Bentuk	Konfigurasi	Persamaan Pendugaan EC
Cincin	2	EC = 0.0386 F <sub>tanah</sub> - 1.9550
	4	EC = 0.0174 F <sub>tanah</sub> - 0.7641
	6	EC = 0.0557 F <sub>tanah</sub> - 2.9888
	8	EC = 0.0202 F <sub>tanah</sub> - 1.6063
Rambut	2	EC = 0.0806 F <sub>tanah</sub> - 4.4829
	4	EC = 0.0691 F <sub>tanah</sub> - 3.8816
	6	EC = 0.0578 F <sub>tanah</sub> - 3.1463
	8	EC = 0.1068 F <sub>tanah</sub> - 6.1139
Segitiga	2	EC = 0.0392 F <sub>tanah</sub> - 2.0937
	4	EC = 0.0588 F <sub>tanah</sub> - 3.2308
	6	EC = 0.0692 F <sub>tanah</sub> - 3.8567
	8	EC = 0.0292 F <sub>tanah</sub> - 1.3937

### Validasi

Validasi dilakukan dengan menguji persamaan pendugaan EC pada kelompok data yang telah disiapkan untuk validasi. Nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan oleh persamaan pendugaan EC selanjutnya dibandingkan dengan nilai konduktivitas listrik yang diperoleh dari uji

laboratorium untuk dicari selisih hasil pengukurannya. Selisih hasil pengukuran ini kemudian dicari nilai RMSE yang dihasilkan. Semakin kecil nilai RMSE yang dihasilkan oleh elektroda sensor, semakin akurat elektroda sensor untuk membaca nilai konduktivitas listrik tanah. Nilai RMSE dari semua perlakuan elektroda disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan besarnya nilai RMSE yang dihasilkan oleh elektroda sensor yang dirancang, dimana akurasi paling baik dihasilkan oleh sensor bentuk rambut konfigurasi 2 sebesar 0.066 dan akurasi paling buruk dihasilkan sensor bentuk segitiga konfigurasi 4 yaitu sebesar 0.127.

Hasil penelitian menunjukkan elektroda sensor yang mempunyai pengukuran paling akurat adalah elektroda sensor tembaga bentuk rambut konfigurasi 2 karena memiliki nilai RMSE paling kecil. Nilai akurasi sangat ditentukan oleh persamaan pendugaan EC yang dihasilkan. Persamaan pendugaan EC dengan nilai  $R^2$  paling baik akan menghasilkan nilai akurasi paling bagus, dimana elektroda sensor ini menghasilkan persamaan pendugaan EC dan nilai akurasi paling baik. Nilai RMSE ini sebanding dengan apa yang dihasilkan oleh Hakim (2011) yaitu menghasilkan kisaran nilai RMSE 0.035 – 0.10 pada penentuan konduktivitas hidraulik tidak jenuh tanah.

Tabel 5. Nilai RMSE dari semua perlakuan elektroda

Bentuk	Konfigurasi	RMSE
Cincin	2	0.084
	4	0.103
	6	0.086
	8	0.094
Rambut	2	0.066
	4	0.070
	6	0.087
	8	0.105
Segitiga	2	0.079
	4	0.127
	6	0.083
	8	0.082

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Bentuk konfigurasi elektroda sensor yang berbeda memberikan kinerja berbeda pula pada setiap perlakuannya. Konfigurasi bentuk cincin memberikan output frekuensi yang besar dibandingkan dengan konfigurasi yang lain. Konfigurasi bentuk rambut memberikan hasil output frekuensi yang lebih stabil. Konfigurasi segitiga mempunyai output frekuensi yang lebih kecil dibandingkan dengan konfigurasi yang lain.
2. Elektroda sensor bentuk rambut dengan konfigurasi 2 memberikan hasil persamaan pendugaan EC terbaik dengan persamaan pendugaan  $EC = 0.080590 F_{\text{tanah}} - 4.48289$ , nilai  $R^2 = 0.851$ , dan akurasi dengan eror sebesar 0.066.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini diharapkan untuk melakukan pengujian elektroda sensor lebih lanjut lagi, sehingga kinerja elektroda sensor menjadi lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C, 2010, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Cifriadi Adi, Barnas Holil, Munawar A. Riyadi (2005) Karakteristik Film Polisulfon Sebagai Bahan Dielektrik Sensor Kelembaban Jenis Kapasitif. Balai Penelitian Teknologi Karet Bogor.
- Doerge, Tom. 2001. *Fitting Soil Electrical Conductivity Measurements into the Precision Farming Toolbox*. Presented at the 2001 Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference. Madison.
- Hakim,A.,R. 2011. Perancangan Sistem Informasi Pengukuran Konduktivitas Hidraulik Tidak Jenuh Tanah dengan Sensor Tensiometer dan Higrometer Digital. SKRIPSI-S1 Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.
- Munif, E. 2009. *Konservasi Tanah*. Akademika Presindo. Jakarta.
- Rhoades, J.D., D.L. Corwin, and S.M. Lesch. 1999b. Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation. p. 197–215. In D.L. Corwin, K.Loague, and T.R. Ellsworth (ed.) Assessment of non-point sourceApplication of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture:Theory, Principles, and Guidelines D. L. Corwin\* and S. M. Lesch
- Sudduth, K.A., N.R. Kitchen and S.T. Drummond. 1998. Soil conductivity sensing on claypan soils: Comparison of electromagnetic induction and direct methods. Proc. of the 4th
- Suprpto,NM. 2006. Uji Konduktivitas Listrik Terhadap Kadar Air Tanah Dermaga Bogor dan Metode Wenner dan Sifat Fisik Tanahnya. Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan IPB.
- Tipler, P.1991.Fisika Untuk Sains dan Teknik, Edisi ke-3 jilid 2.Erlangga.Jakarta.