

## **Pemanfaatan Teknik Lissajous untuk Mengetahui Korelasi antara Kandungan Air terhadap Sifat Dielektrik Tanah (Studi Kasus: Sampel Tanah Permukaan di Sekitar Kota Purwokerto)**

**Sehah, Abdullah Nur Aziz dan Zaroh Irayani**

*Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman*

*Jl. Dr. Suparno No. 61 Karangwangkal Purwokerto*

*Corresponding author: E-mail: sehallasimy@yahoo.com*

### **Abstract**

*The equipment has been designed to measure the dielectric properties of soil samples with lissajous technique in Basic Physics Laboratory, Study Program of Physics, Faculty of Science and Engineering, University of Jenderal Sudirman, Purwokerto. The equipment has been used to measure the dielectric constant of 19 soil samples taken from several locations in area of Purwokerto city and its surrounding, at a frequency of 100 kHz. The measurement has been conducted on soil samples with the variation of soil mass water content. The results obtained indicate, the existence of a correlation between the dielectric constant of soil samples to the soil water mass content ( $\eta$ ) which can be expressed with two equations; dielectric permittivity  $\epsilon = 0.3176 \eta^{-2.5555}$  with a correlation coefficient  $R^2 = 0.9538$ , and dielectric loss equation  $\epsilon' = 0.00003 \eta^{-5.3336}$  with a correlation coefficient  $R^2 = 0.9513$ .*

*Keyword: dielectric constant, soil, lissajous method, soil mass water content, dielectric permittivity, dielectric loss.*

### **Abstrak**

*Telah dilakukan perancangan peralatan untuk menguji sifat dielektrik sampel tanah dengan teknik lissajous di Laboratorium Fisika Dasar, Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto. Peralatan tersebut digunakan untuk menguji tetapan dielektrik 19 buah sampel tanah yang diambil dari beberapa lokasi di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya, pada frekuensi 100 kHz. Pengujian dilakukan terhadap sampel tanah dengan variasi kandungan massa air. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan adanya suatu korelasi antara tetapan dielektrik sampel tanah terhadap kandungan massa air ( $\eta$ ) yang dapat dinyatakan dengan dua buah persamaan; permitivitas dielektrik  $\epsilon = 0,3176 \eta^{-2,5555}$  dengan koefisien korelasi  $R^2 = 0,9538$ , serta persamaan rugi dielektrik  $\epsilon' = 0,00003 \eta^{-5,3336}$  dengan koefisien korelasi  $R^2 = 0,9513$ .*

*Kata Kunci: tetapan dielektrik, tanah, metode lissajous, kandungan massa air, permitivitas dielektrik, rugi dielektrik.*

### **PENDAHULUAN**

Sifat dielektrik merupakan sifat yang menggambarkan tingkat kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik pada beda potensial yang tinggi. Secara praktis, sifat dielektrik sering dikaitkan dengan kelistrikan bahan isolator yang ditempatkan di antara dua keping kapasitor. Apabila bahan isolator itu dikenai medan listrik yang dipasang di

antara kedua keping kapasitor, maka di dalam bahan tersebut dapat terbentuk dwikutub (*dipole*) listrik. Sehingga pada permukaan bahan dapat terjadi muatan listrik induksi. Bahan dengan sifat seperti ini disebut sebagai bahan dielektrik [1].

Setiap bahan isolator, termasuk tanah mempunyai sifat dielektrik. Bahkan tanah dengan sifat dielektrik yang cukup baik, banyak dimanfaatkan

sebagai bahan untuk membuat keramik, isolator listrik dan peralatan lain. Sifat dielektrik tanah bukan merupakan nilai yang tetap, tetapi tergantung dari beberapa faktor, seperti frekuensi medan listrik, kandungan air, kepadatan dan lain-lain. Berdasarkan hasil penelitian Kaya (2001) [2], sifat dielektrik tanah berubah terhadap nilai porositasnya, dimana umumnya porositas tanah terisi oleh fluida, seperti udara, gas, maupun air. Penelitian tentang sifat-sifat dielektrik tanah diharapkan dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi dan menginterpretasi kandungan air tanah, karena hal ini mendukung bidang pertanian, industri dan lain-lain.

Secara teoritis, kandungan massa air dalam tanah (*soil mass water content*) mempunyai kontribusi yang besar terhadap sifat dielektrik tanah. Pada saat sampel tanah dikenai medan listrik, maka molekul air yang terdapat di dalamnya yang bersifat *dipole* berusaha untuk menyelaraskan kutub-kutubnya terhadap arah medan listrik yang datang. Dengan demikian, pada saat berinteraksi dengan medan listrik, maka molekul air dapat beresilasi pada frekuensi yang sangat tinggi sesuai dengan frekuensi gelombang elektromagnetik dari generator isyarat yang menghasilkan medan listrik tersebut, sehingga sifat dielektrik tanah menjadi berubah [3].

Metode pengujian sifat dielektrik tanah yang digunakan di dalam penelitian ini adalah metode *lissajous*. Metode *lissajous* merupakan metode sederhana karena hanya menggunakan beberapa peralatan sederhana seperti osiloskop sinar katoda (*Cathode Ray Oscilloscope*, CRO), generator isyarat, resistor serta keping logam sejajar. Kelebihan metode ini adalah proses pengujiannya relatif cukup singkat yaitu hanya mengukur beberapa nilai tegangan berdasarkan tampilan kurva

*lissajous* pada CRO serta mengatur frekuensi medan listrik dari generator isyarat. Kemudian dengan formulasi yang tersedia, maka nilai permitivitas maupun rugi dielektrik dapat dihitung dengan baik [4].

Sampel yang akan diuji diletakkan di antara keping logam sejajar sehingga membentuk suatu kapasitor dengan sampel tersebut sebagai bahan dielektriknya. Tegangan bolak-balik (AC) dengan nilai frekuensi yang dapat divariasikan dipasang di antara kedua keping sejajar yang juga berfungsi sebagai elektroda dengan formasi susunan seperti pada Gambar 1. Tahanan  $R$  dapat bernilai beberapa kiloohm ( $k\Omega$ ) disesuaikan dengan sensitivitas penguat pada CRO.

Menurut gambar 1, tegangan  $V_T$  dihubungkan ke saluran X dan tegangan  $V_R$  ke saluran Y pada CRO. Berdasarkan gambar tersebut, jika

$$V_x = V_T \sin(\omega t) \quad (1)$$

maka

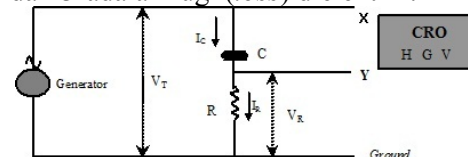
$$V_y = V_R \sin(\omega t + \phi) \quad (2)$$

dimana  $\phi$  adalah sudut fase.

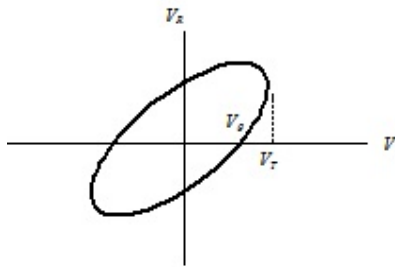
Sinyal  $V_x$  dan sinyal  $V_y$  pada nilai frekuensi tertentu membentuk gambar *lissajous* seperti terlihat pada gambar 2. Gambar *lissajous* ini tidak terjadi pada sembarang frekuensi, tetapi hanya terjadi pada frekuensi-frekuensi resonansi saja. Sudut rugi tangen diperoleh dari Gambar 1 dan Gambar 2 dengan persamaan:

$$\tan \delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\epsilon}{\epsilon'} \quad (3)$$

dimana  $\epsilon$  adalah permitivitas dielektrik dan  $\epsilon'$  adalah rugi (*loss*) dielektrik.



**Gambar 1.** Skema peralatan untuk mengukur tetapan dielektrik dengan metode *lissajous* [5]



**Gambar 2.** Gambar *lissajous* dengan  $V_T$  terhubung ke  $X$  dan  $V_R$  ke  $Y$

Berdasarkan gambar 2, terlihat bahwa pada saat  $V_y = 0$ , maka  $V_x = V_\theta$ . Jika  $V_y = 0$ , maka  $(\omega t + \varphi) = \pi$  atau  $\omega t = \pi - \varphi$ . Dengan demikian, persamaan (1) dapat ditulis menjadi:

$$V_x = V_T \sin(\pi - \varphi) = V_T \sin \varphi \quad (4)$$

Karena  $V_x = V_\theta$ , maka diperoleh persamaan:

$$V_\theta = V_T \sin \varphi \quad (5)$$

Sehingga rugi (*loss*) tangennya dapat ditulis menjadi:

$$\tan \delta = \cot \varphi = \frac{(V_T^2 - V_\theta^2)^{1/2}}{V_\theta} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} \quad (6)$$

Sementara itu menurut Giancolli (1991) dan Mwanje (1980), hubungan  $\varepsilon'$  terhadap besaran-besaran fisis yang lain dalam keping sejajar dapat dinyatakan:

$$\varepsilon = \frac{I_R d}{\omega A \varepsilon_0 V_T} = \frac{V_\theta d}{(2\pi f) R (\pi r^2) \varepsilon_0 V_T} \quad (7)$$

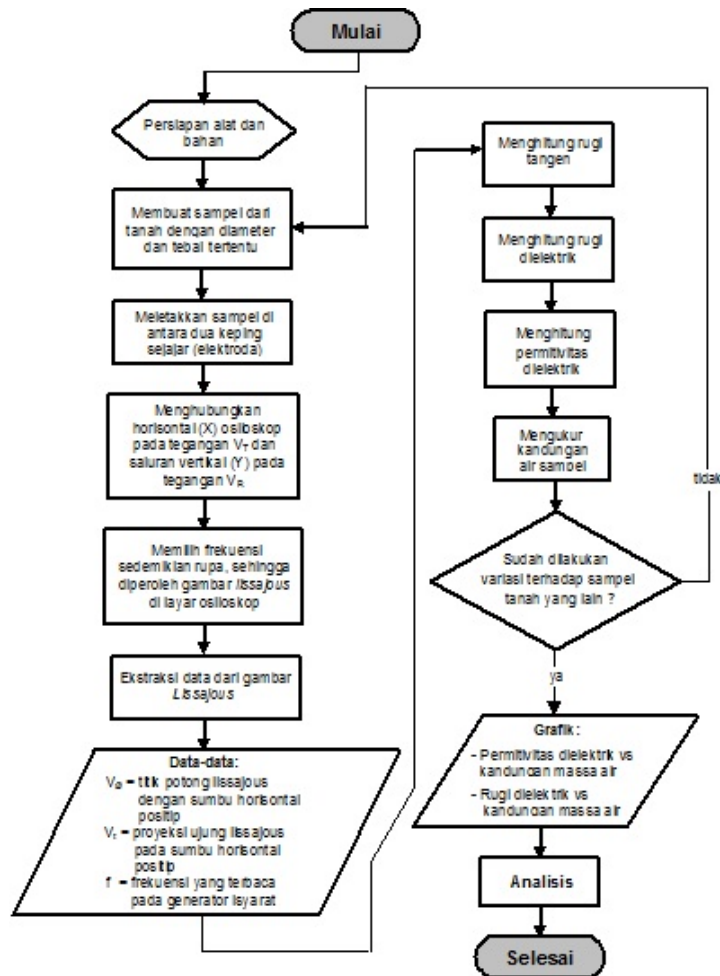
dimana  $\varepsilon_0$  adalah permitivitas dielektrik ruang hampa,  $d$  adalah jarak antara dua keping sejajar,  $A$  adalah luas permukaan keping,  $r$  adalah jari-jari keping sejajar,  $f$  adalah frekuensi generator isyarat dan  $R$  adalah hambatan resistor yang terpasang.

## METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan ini memadukan antara survei dan eksperimen. Pengambilan sampel tanah dilakukan di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya, sedangkan pengujian tetapan dielektrik sampel dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED, dengan lama penelitian kurang lebih empat bulan. Variabel yang diteliti di dalam penelitian ini adalah tetapan dielektrik tanah, yaitu permitivitas dielektrik ( $\varepsilon$ ) dan rugi (*loss*) dielektrik ( $\varepsilon'$ ) terhadap variasi kandungan massa air (*soil mass water content*).

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sampel tanah. Adapun peralatan yang diperlukan meliputi generator isyarat dengan frekuensi hingga 12 MHz, osiloskop (CRO) dengan frekuensi cuplik hingga 50 MHz, sumber tegangan bolak-balik, resistor 700 k $\Omega$ , keping logam sejajar dengan diameter 40,76 mm dari tembaga, tempat sampel sebagai bahan dielektrik dari paralon, kabel dan penjepit, neraca digital dengan ketelitian 0,01 g, serta oven untuk mengeringkan sampel.

Sedangkan tahapan di dalam penelitian ini meliputi persiapan, pelaksanaan dan analisis. Pada tahap persiapan dilakukan pengesetan peralatan keping sejajar, osiloskop, dan generator isyarat untuk pengujian sifat dielektrik sampel tanah. Pada tahap pelaksanaan dilakukan pengambilan sampel tanah serta mengukur tetapan dielektriknya terhadap variasi kandungan massa air. Sedangkan pada tahap analisis dilakukan pengolahan dan interpretasi data terhadap hasil yang diperoleh. Secara umum urutan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir pengujian tetapan dielektrik tanah menggunakan teknik *lissajous*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah permitivitas dielektrik ( $\epsilon$ ) dan rugi dielektrik ( $\epsilon'$ ) untuk setiap sampel tanah yang diambil dari berbagai lokasi di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya terhadap variasi kandungan massa air. Pengujian dilakukan pada frekuensi generator isyarat 100 kHz. Jumlah sampel tanah yang diuji tetapan dielektriknya adalah 19 buah dari berbagai titik lokasi. Sebagian besar sampel tanah merupakan jenis lempung yang diambil dari lokasi persawahan penduduk dan sebagian kecil adalah pasir sangat halus yang

diambil dari Kali Pelus dan Kali Banjaran, Purwokerto.

**1. Pengujian Tetapan Dielektrik terhadap Variasi Kandungan Massa Air**

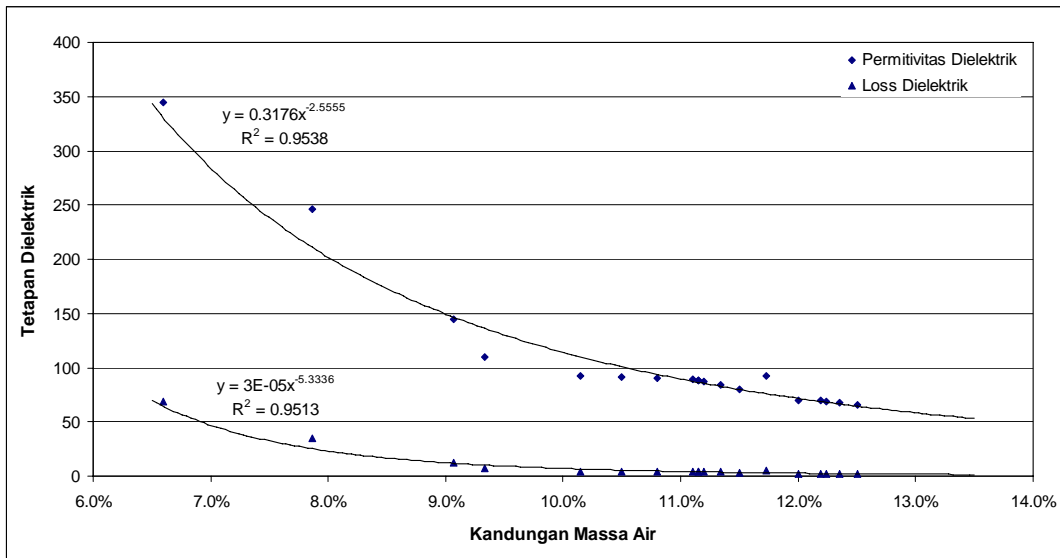
Parameter dan data hasil pengujian tetapan dielektrik seluruh sampel tanah terhadap variasi kandungan massa air dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2. Sedangkan kurva model *profile* hasil pengujian tetapan dielektrik sampel tanah terhadap variasi kandungan massa air dapat dilihat pada gambar 4.

**Tabel 1.** Parameter sampel tanah yang diuji tetapan dielektriknya

No.	Parameter Sampel	Nilai
1	Massa Total	15,00 gram
2	Volume Total	11,97 cm <sup>3</sup>
3	Diameter	41,05 mm
4	Ketebalan	9,05 mm
5	Kepadatan Total ( <i>Total Density</i> )	1,253 gram/cm <sup>3</sup>

**Tabel 2.** Hasil pengujian tetapan dielektrik sampel tanah terhadap variasi kandungan massa air (*soil mass water content*)

No. Sampel	Lokasi Pengambilan Sampel Tanah	Kandungan Massa Air	Tetapan Dielektrik	
			Permittivitas	Loss
1	Kali Pelus, Purwokerto	6,60%	344,8113	68,9485
2	Kali Pelus, Purwokerto	7,87%	246,1953	34,8102
3	Kali Pelus, Purwokerto	9,07%	145,0340	12,0025
4	Kali Pelus, Purwokerto	9,33%	109,9086	6,8827
5	Kr.nanas, Sokaraja, Banyumas	9,95%	92,5303	4,4112
6	Komplek RSUD Margono	10,50%	91,4417	4,3079
7	Sidabowa, Patikraja, Banyumas	10,80%	90,3784	4,2082
8	Sumbang, Banyumas	11,11%	89,3396	4,1119
9	Kutaliman, Baturaden, Banyumas	11,15%	88,3243	4,0189
10	Tambak Sogra, Purwokerto	11,15%	88,3243	4,0189
11	Kutasari, Baturaden, Banyumas	11,20%	87,3319	3,9290
12	Pandak, Baturaden, Banyumas	11,34%	84,4841	3,6767
13	Kdwingin, Patikraja, Banyumas	11,50%	79,8549	3,2845
14	Kali Pelus, Purwokerto	11,73%	92,5546	4,8781
15	Mersi, Purwokerto	12,00%	69,3977	2,4801
16	Tanjung, Purwokerto	12,19%	69,3977	2,4801
17	Komplek UNWIKU, Purwokerto	12,24%	68,5812	2,4220
18	Bantarsoka, Purwokerto	12,35%	68,1005	2,3882
19	Kembaran, Banyumas	12,50%	65,4989	2,2091



**Gambar 4.** Kurva *profile* tetapan dielektrik sampel tanah terhadap variasi kandungan massa air (*soil mass water content*).

Berdasarkan tabel 2 maupun gambar 4, telah diperoleh hubungan antara tetapan dielektrik sampel tanah (studi kasus tanah di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya) terhadap kandungan massa air ( $\eta$ ) pada frekuensi 100 kHz, yang dapat dinyatakan dengan persamaan:

- Permittivitas dielektrik,  $\epsilon' = 0,3176 \eta^{-2,5555}$  dengan koefisien korelasi 0,9538
- Rugi Dielektrik,  $\epsilon'' = 0,00003 \eta^{-5,3336}$  dengan koefisien korelasi 0,9513

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa semakin besar kandungan massa air, maka nilai tetapan dielektrik (permittivitas dan rugi dielektrik) semakin menurun. Hal ini dapat dipahami karena kandungan unsur logam atau oksida logam di dalam sampel tanah di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya cukup tinggi, mengingat daerah ini adalah kawasan vulkanik Gunungapi Slamet. Oleh karena itu, meskipun sifat dasar air adalah netral, namun keberadaan air dalam tanah maupun batuan dapat berakibat meningkatnya sifat konduktivitas listrik bagi campuran

tanah dan air (*soil-water mixture*). Kondisi ini merupakan konsekuensi munculnya ion-ion logam dari tanah atau batuan akibat terurainya oksida-oksida logam di dalam air. Jika sifat konduktivitas listrik tanah meningkat, maka tetapan dielektriknya menjadi turun [6,7].

Selain itu, pada frekuensi generator isyarat yang rendah (100 kHz), medan listrik dalam keping sejajar yang dihasilkan relatif kecil, sehingga tidak optimal untuk memicu proses pensejajaran (*alignment*) dipol-dipol listrik molekul air yang terkandung di dalam sampel. Akibatnya polarisasi yang dihasilkan kecil, sehingga jumlah muatan permukaan induksi yang muncul di sekitar keping sedikit dan medan listrik induksi yang dihasilkan juga relatif kecil. Medan listrik induksi mempunyai arah berlawanan dengan medan listrik semula (dari generator isyarat). Sehingga keberadaan muatan permukaan induksi cenderung memperlemah medan listrik semula (*original field*) dalam bahan dielektrik. Jika jumlah muatan induksi di permukaan keping sedikit, maka nilai

tetapan dielektrik bahan menjadi kecil atau menurun [6].

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Peralatan pengujian tetapan dielektrik bahan (contoh: sampel tanah) dengan teknik *lissajous* telah berhasil dirancang untuk mengetahui korelasi antara sifat dielektrik tanah terhadap kandungan massa airnya.
2. Diperoleh hubungan antara tetapan dielektrik sampel tanah (studi kasus tanah di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya) terhadap kandungan massa airnya ( $\eta$ ) pada frekuensi 100 kHz, yang dapat dinyatakan dengan persamaan:
  - a. Permittivitas dielektrik,  $\epsilon = 0,3176 \eta^{2,5555}$  dengan koefisien korelasi 0,9538
  - b. Rugi Dielektrik,  $\epsilon' = 0,00003 \eta^{5,3336}$  dengan koefisien korelasi 0,9513

### SARAN

Untuk mengevaluasi kandungan massa air di dalam bahan (contoh sampel tanah) dengan baik berdasarkan pengujian tetapan dielektrik tanah dengan metode *lissajous*, maka perlu dirancang suatu sistem peralatan yang *portable* dan dapat digunakan untuk menguji tetapan dielektrik tanah secara langsung (*in situ*). Selain itu, agar diperoleh data yang lebih lengkap dan akurat, maka diperlukan peralatan generator isyarat dengan frekuensi yang lebih tinggi (misalnya 50 MHz), agar dapat diteliti sifat dielektrik tanah pada frekuensi-frekuensi resonansi yang lain.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian Universitas Jenderal Soedirman atas

dukungan dana penelitian, dan Kepala Laboratorium Fisika Dasar, Program Studi Fisika, UNSOED atas dukungan peralatannya. Terimakasih juga disampaikan kepada Saudara Wahyu Hidayat dan Saudara Sutoro, atas jerih payahnya membantu peneliti dalam merancang peralatan dan mengambil sampel tanah di lokasi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutrisno dan Gie, Tan Ik., 1983, *Seri Fisika Dasar: Listrik, Magnet dan Termofisika*, Penerbit ITB, Bandung.
- [2] Kaya, A., 2002, Evaluation of Soil Porosity Using a Low MHz Range Dielectric Constant, *Turkish Journal Engineering Science*, 26 (2002), 301 – 307.
- [3] Hart, F.X. and Cole, W.H., 1993, Dielectric Properties of Apples in the Range 0,1–100 kHz, *Journal of Material Science*, 28 (1993), 621 - 631.
- [4] Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R. and Wang, Y., 2003, Dielectric Properties of Fruits and Insect Pest as Related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystem Engineering (2003)*, 85 (2), 201 – 212.
- [5] Mwanje, J., 1980, Dielectric Loss Measurement on Raw Material, *The American Journal of Physics*, 48 (10), 837 - 839.
- [6] Grisso, R., Mark Alley., David H., Wade T., 2009, Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity, Publication 442-508, Virginia State University, USA.
- [7] Aziz, A.N., Sehad, Sugito, 2005, *Studi Analisis Variasi Frekuensi Gelombang Elektromagnetik terhadap Sifat Dielektrik Biji Kopi dengan Metode Lissajous*, Laporan Penelitian Dinas DIKBUD Propinsi Jawa Tengah.

