

Studi Analisis Sifat Dielektrik Tanah dengan Variasi Porositas Pada Frekuensi Resonansi Rendah

Sehah¹ dan Abdullah Nur Aziz²

Abstract: The equipment to measure dielectric properties of soil samples with lissajous method has been designed in Electronic and Instrumentations Laboratory, Faculty of Science and Technique, Jenderal Soedirman University, Purwokerto. The fundamental parts of this equipment are signal generator, cathode ray oscilloscope (CRO) and parallel plate. Thus, the soil samples which be researched is placed in zone between parallel plate, as dielectric material. If signal generator supply electric field into the parallel plate, hence response of samples to electric field is shown with voltages values on oscilloscope (CRO). Based on this voltages values, so that can be calculated a dielectric permittivity, dielectric loss and tangent loss of soil samples. The number of samples that measured its dielectric properties are three samples, which contains of top soil, smooth sand of river, and sediments rocks. The measurement to dielectric properties with variation of porosity is done to samples at low resonance frequency of 600 kHz and 2,75 MHz. The results which obtained show that a linear relation between dielectric constant of soil samples to its porosity, but with empirical equations different for every samples.

Keywords: dielectric, soil, porosity, low resonance frequency, lissajous

PENDAHULUAN

Secara umum, setiap tanah atau batuan memiliki pori-pori dengan berbagai ukuran. Pori-pori ini umumnya terisi fluida, seperti air, udara atau gas lainnya sehingga dapat berfungsi sebagai reservoir atau akuifer. Porositas sangat penting diketahui, terutama untuk keperluan eksplorasi dan eksploitasi air tanah, minyak dan gas di bawah permukaan. Oleh karena itu, porositas merupakan parameter fisis yang sangat penting untuk memprediksi besarnya cadangan fluida yang terdapat di dalam tanah

atau batuan (Warmada, 1999). Berdasarkan kajian teori dan hasil penelitian, diketahui bahwa porositas suatu benda terkait dengan sifat dielektriknya. Dengan demikian penentuan porositas dapat dilakukan melalui perhitungan tetapan elektrik. Salah satu metode yang mudah dan sederhana untuk menguji tetapan dielektrik sampel batuan adalah metode lissajous.

Metode lissajous sangat sederhana karena hanya menggunakan peralatan antara lain: Cathoda Ray Oscilloscope (CRO), generator isyarat, resistor dan

¹⁾ Laboratorium Fisika Dasar, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED

²⁾ Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED

keping logam sejajar. Kelebihan metode lissajous ini adalah proses pengujiannya cepat, karena hanya mengukur beberapa nilai tegangan berdasarkan tampilan kurva lissajous pada CRO dan mengatur frekuensi medan listrik dari generator isyarat (Wang et. al., 2003). Sampel yang akan diuji diletakkan di antara keping sejajar sehingga membentuk suatu kapasitor dengan sampel tersebut sebagai material dielektrik. Tegangan bolak-balik pada frekuensi yang dapat divariasikan dipasang pada kedua keping yang berfungsi sebagai elektroda, yang formasinya disusun seperti Gambar 1. Hambatan R dapat didesain dengan nilai beberapa kilo-ohm ($k\Omega$) disesuaikan dengan sensitivitas penguat pada CRO (Mwanje, 1980).

Menurut Gambar 1, tegangan V_T dihubungkan ke

saluran X dan tegangan V_R ke saluran Y pada CRO. Berdasarkan Gambar 1, jika

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

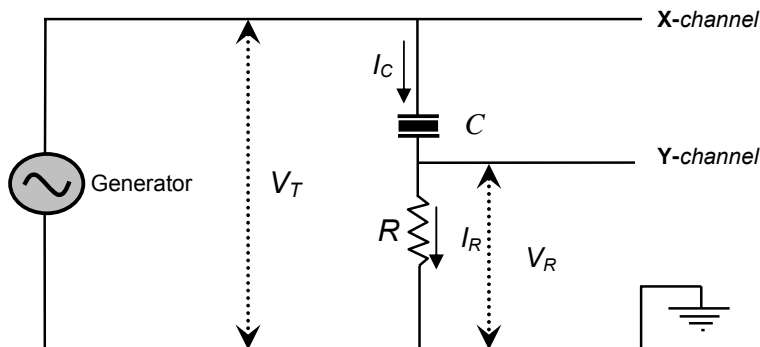
maka

$$V_y = V_I \sin(\omega t + \varphi) \dots\dots\dots (2)$$

dimana φ 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 dapat diperoleh dari Gambar 1 dan 2 dengan persamaan

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

dimana ϵ' adalah permitivitas dielektrik dan ϵ'' adalah rugi (*loss*) dielektrik.



Gambar 1. Skema peralatan untuk mengukur tetapan dielektrik

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

$$\begin{aligned} V_x &= V_T \sin(\pi - \varphi) \\ &= V_T \sin \varphi \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

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

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

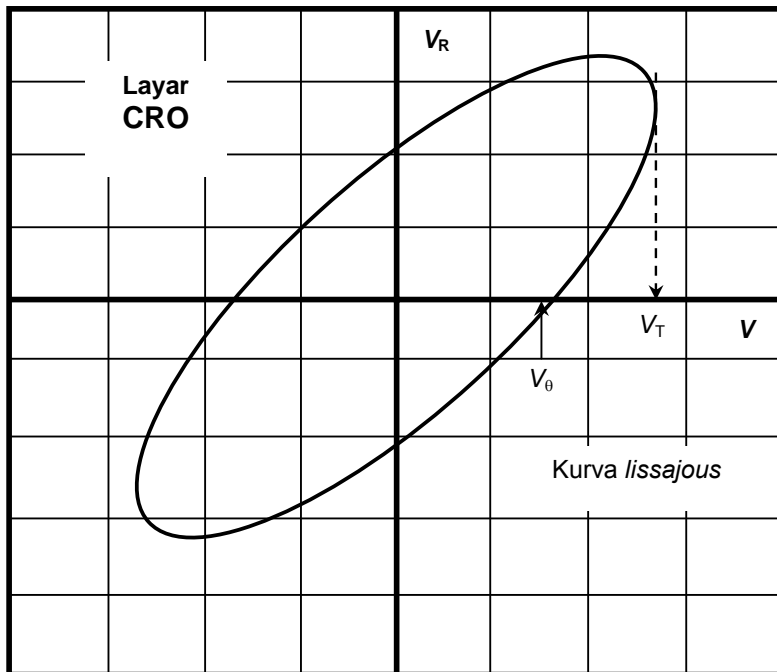
Sehingga rugi (*loss*) tangennya dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \cot \varphi \\ &= \frac{(V_T^2 - V_\theta^2)^{1/2}}{V_\theta} = \frac{\epsilon'}{\epsilon''} \dots\dots (6) \end{aligned}$$

Menurut Giancolli (1991) dan Mwanje (1980), hubungan ϵ' terhadap besaran-besaran fisis yang lain dalam keping sejajar dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\begin{aligned} \epsilon' &= \frac{I_R d}{\omega A \epsilon_0 V_T} \\ &= \frac{V_\theta d}{(2\pi f) R (\pi r^2) \epsilon_0 V_T} \dots (7) \end{aligned}$$

dimana ϵ_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.



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

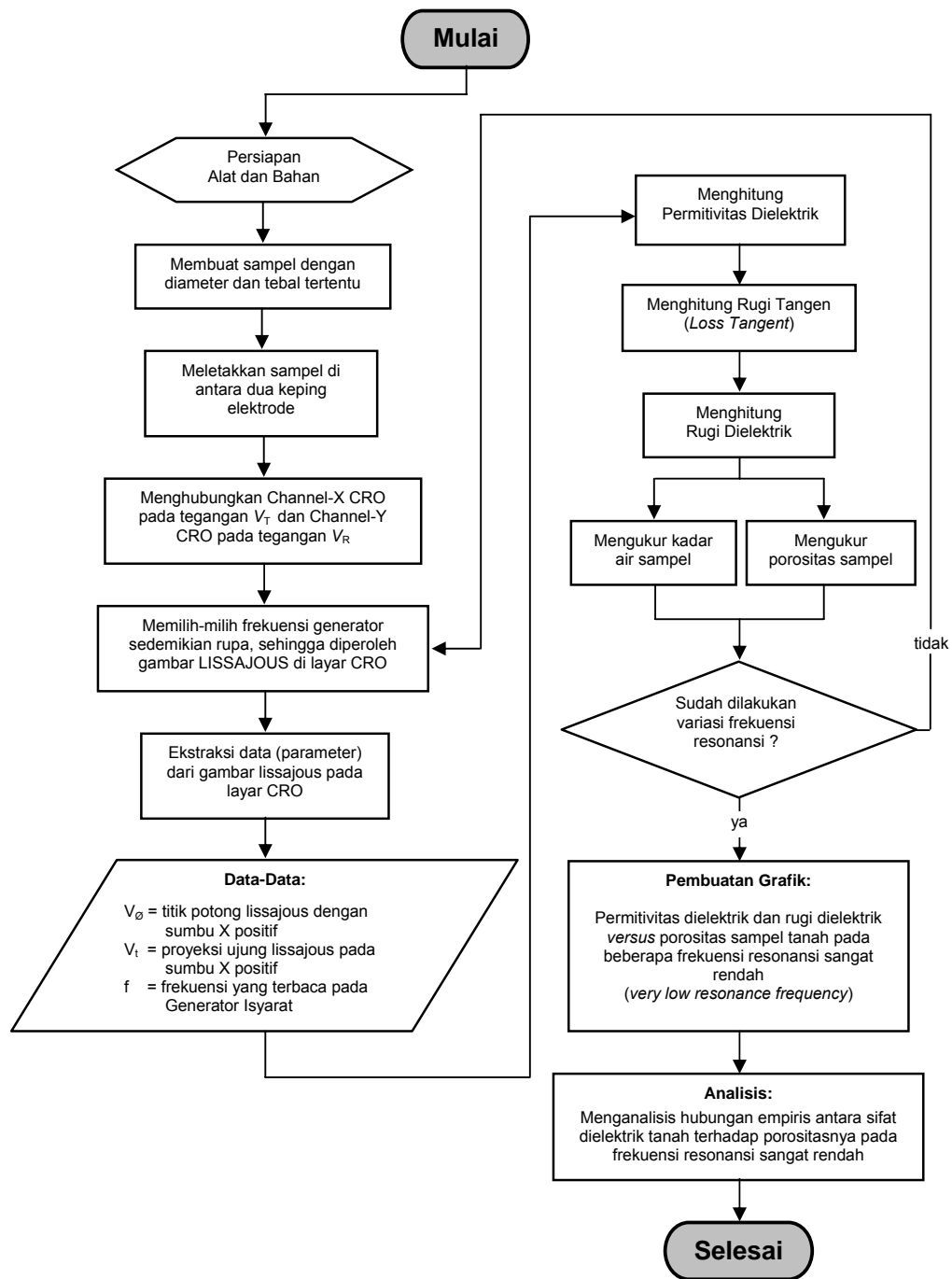
Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah merancang peralatan pengujian tetapan dielektrik batuan atau material lain dengan metode *lissajous* pada interval *very low* MHz *frequency*. Peralatan yang telah dirancang digunakan untuk menguji tetapan dielektrik berbagai sampel batuan dengan variasi porositas pada interval frekuensi resonansi sangat rendah. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat dimanfaatkan untuk menganalisis maupun mengevaluasi hubungan empiris antara tetapan dielektrik tanah atau batuan terhadap porositasnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan perpaduan antara survei dan eksperimen. Pengambilan sampel tanah di wilayah Kota Purwokerto dan sekitarnya, sedangkan pengujian tetapan dielektrik di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jenderal Soedirman. Variabel yang diteliti dalam penelitian ini adalah tetapan dielektrik tanah, yaitu permitivitas dielektrik (ϵ') dan rugi (*loss*) dielektrik (ϵ'') terhadap variasi porositas pada beberapa nilai frekuensi resonansi.

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sampel tanah maupun batuan telah dihaluskan. Sedangkan peralatan yang diperlukan meliputi generator isyarat, Cathoda Ray Oscilloscope (CRO), sumber tegangan bolak-balik, resistor 1000 Ω , keping tembaga sejajar dengan diameter 40,76 mm, tempat sampel sebagai bahan dielektrik, kabel, colokan, penjepit, neraca digital serta oven untuk mengeringkan sampel. Skema rangkaian peralatan pengukuran tetapan dielektrik dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan penelitian meliputi persiapan, pelaksanaan dan analisis. Pada tahap persiapan, yaitu studi pustaka yang terkait dengan penggunaan osiloskop (CRO) dan generator isyarat serta sifat dielektrik batuan. Pada tahap pelaksanaan yaitu perancangan peralatan untuk mengukur tetapan dielektrik sampel, serta pengambilan sampel di lokasi dan dilanjutkan pengukuran tetapan dielektrik sampel tanah dengan variasi porositas. Sedangkan tahap analisis yaitu pengolahan data dan analisis hasil yang diperoleh. Urutan pengujian sifat dielektrik sampel tanah dengan metode *lissajous* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir urutan pengujian sifat dielektrik sampel tanah dengan metode *lissajous*

Data yang diperoleh secara langsung dari pengujian sifat dielektrik tanah dengan metode *lissajous* adalah V_T dan V_θ , seperti dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan nilai V_T dan V_θ serta beberapa parameter lain, maka dapat dihitung nilai permitivitas dielektrik (ϵ') dan rugi dielektrik (ϵ'') dengan persamaan sebagai berikut (Mwanje, 1980):

$$\epsilon' = \frac{V_\theta d}{(2\pi f) R (\pi r^2) \epsilon_0 V_T} \dots\dots (8)$$

dan

$$\epsilon'' = \frac{V_\theta \epsilon'}{(V_T^2 - V_\theta^2)^{1/2}} \dots\dots\dots (9)$$

dengan d adalah ketebalan sampel, f adalah frekuensi generator isyarat, ϵ_0 adalah permitivitas dielektrik ruang hampa, r adalah jari-jari sampel pelet batuan dan R adalah hambatan resistor yang terpasang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah permitivitas dielektrik (ϵ') dan rugi (loss) dielektrik (ϵ'') untuk masing-masing sampel tanah yang diambil dari berbagai lokasi di wilayah Kota Purwokerto dan daerah sekitarnya terhadap variasi porositas pada beberapa nilai frekuensi resonansi. Pengujian

dilakukan pada frekuensi resonansi pada generator isyarat 600 kHz dan 2,75 MHz. Jumlah sampel tanah yang diuji tetapan dielektriknya adalah tiga jenis, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis sampel tanah yang diuji sifat dielektriknya dalam penelitian ini.

No.	Jenis Sampel	Kadar Air (%)
1	Tanah kedalaman 0,5 meter	11,02
2	Pasir halus	11,73
3	Batuan sedimen (dihaluskan)	12,50

Sedangkan parameter pengujian tetapan dielektrik sampel tanah adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter pengujian sampel tanah

No.	Parameter Pengujian	Nilai
1	Massa total sampel	0,03 kg
2	Diameter sampel	0,04125 m
3	Hambatan resistor pada rangkaian	1000 Ω
4	Variasi frekuensi generator	600 kHz dan 2,75 MHz

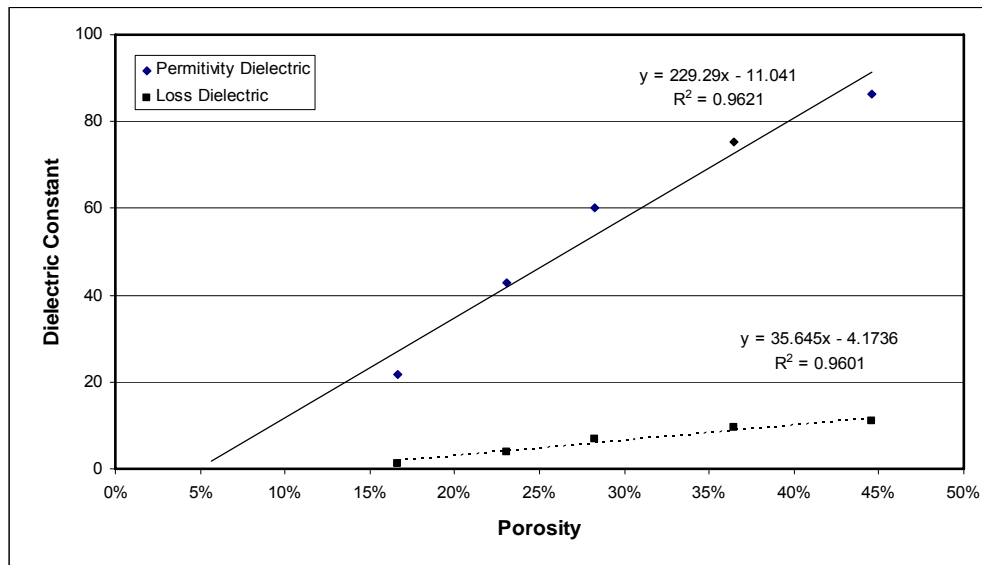
Adapun kurva profile hasil pengujian tetapan dielektrik sampel tanah terhadap variasi porositas pada frekuensi resonansi 600 kHz dan 2,75 MHz dapat dilihat pada Gambar 4 hingga Gambar 9.

Berdasarkan gambar-gambar tersebut, terlihat bahwa semakin

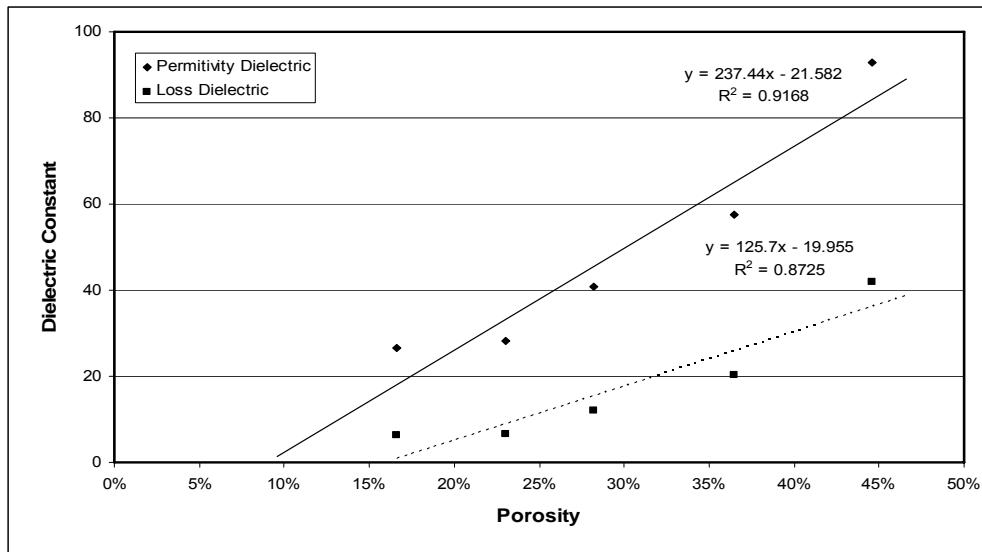
besar nilai porositas sampel, maka tetapan dielektriknya (ϵ' dan ϵ'') semakin meningkat. Hal ini dapat dipahami, karena semakin besar porositas sampel tanah, maka jarak antara partikel-partikel dalam sampel semakin besar. Akibatnya muatan listrik yang disuplai dari generator isyarat yang terkumpul dalam bahan dielektrik, relatif lebih sulit untuk mengalir melintasi keping sejajar dan partikel-partikel sampel sebagai bahan dielektrik. Apalagi

jika pori-pori sampel terisi oleh udara (tetapan dielektrik besar), sehingga tetapan dielektriknya menjadi semakin besar (Giancolli, 1991 dan Aziz dkk, 2005). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Arulanandan (dalam Kaya, 2001) dan Kaya (2001), yang memperoleh hubungan linier porositas terhadap permitivitas dielektrik. Hasil-hasil pengukuran tetapan dielektrik sampel tanah pada frekuensi 600 kHz dan 2,75 MHz sebagai berikut:

A. Tanah Kedalaman 0,5 meter (Kadar Air 11,02%)

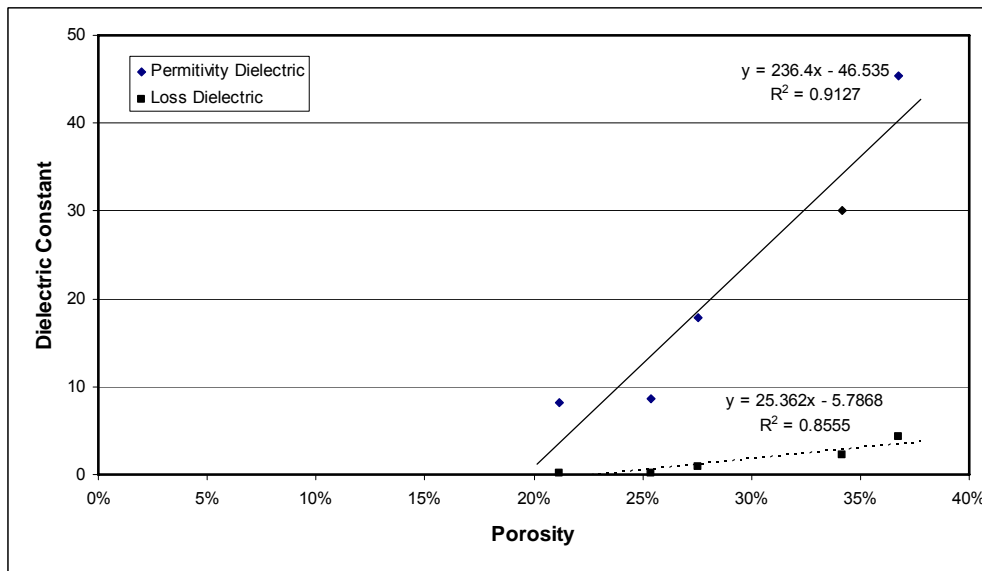


Gambar 4. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel tanah dengan kadar air 11,02% pada frekuensi 600 kHz.

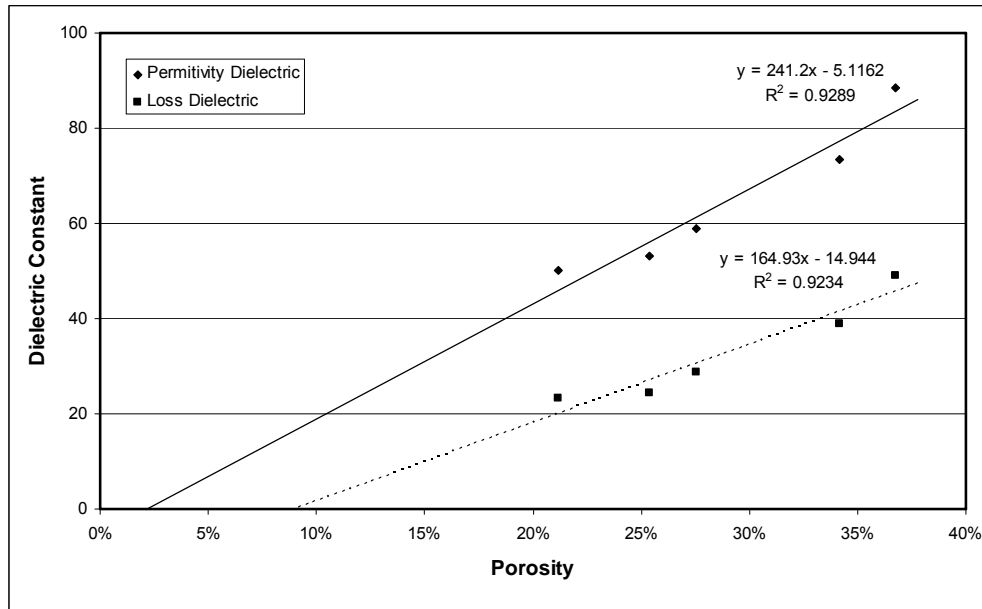


Gambar 5. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel tanah dengan kadar air 11,02% pada frekuensi 2,75 MHz.

B. Pasir Halus (Kadar Air 11,73%)

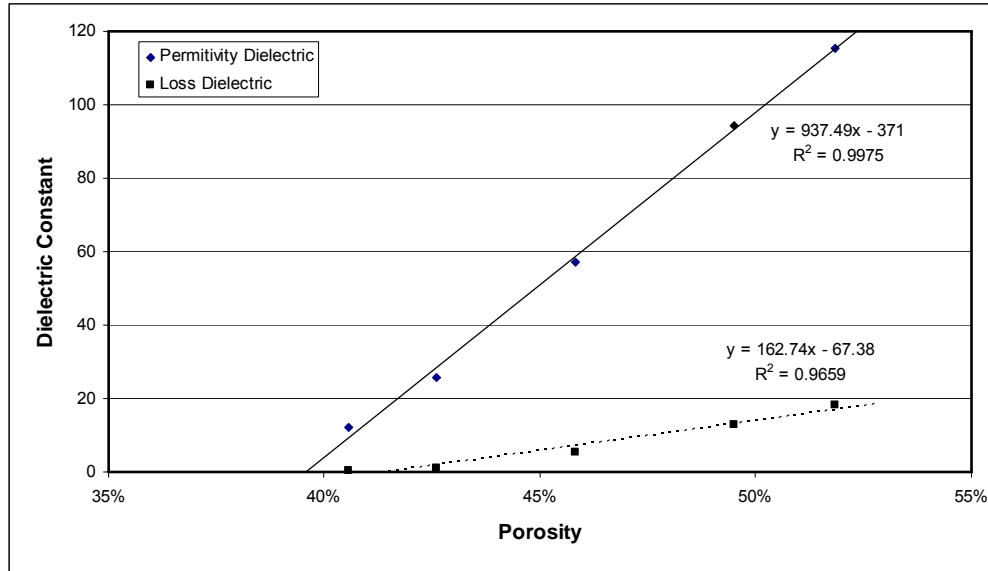


Gambar 6. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel pasir halus dengan kadar air 11,73% pada frekuensi 600 kHz.

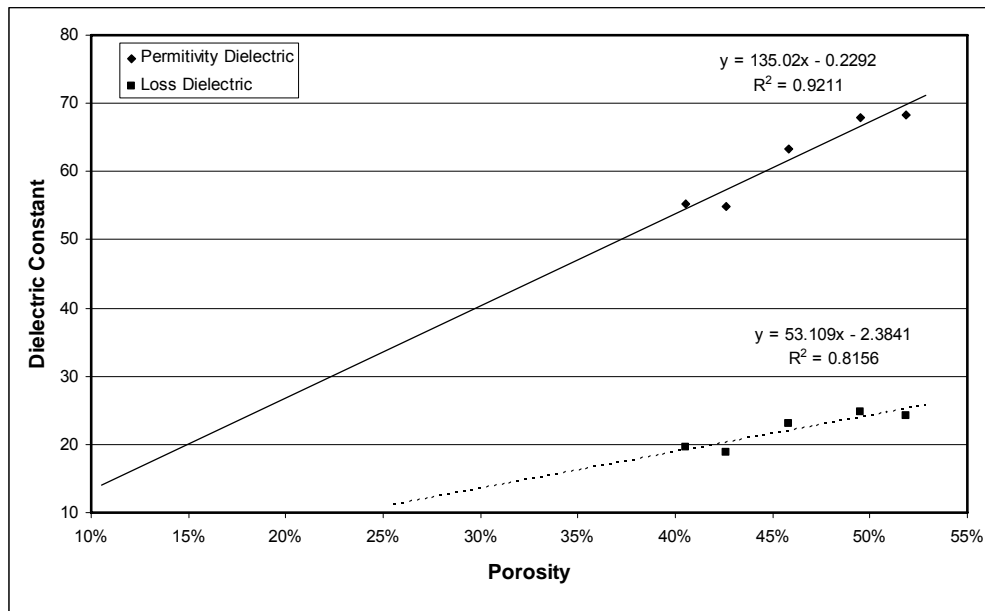


Gambar 7. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel pasir halus dengan kadar air 11,73% pada frekuensi 2,75 MHz.

C. Batuan Sedimen (Kadar Air 12,50%)



Gambar 8. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel pelet batuan sedimen dengan kadar air 12,50% pada frekuensi 600 kHz.



Gambar 9. Hubungan tetapan dielektrik terhadap porositasnya untuk sampel pelet batuan sedimen dengan kadar air 12,50% pada frekuensi 2,75 MHz.

Pada frekuensi 600 kHz, jumlah muatan permukaan induksi yang muncul dalam bahan dielektrik di sekitar keping sejajar masih sedikit dan medan listrik induksi yang dihasilkan juga kecil. Karena medan listrik induksi memiliki arah berlawanan terhadap medan listrik semula (*original field*), maka keberadaan medan listrik induksi cenderung memperlemah medan listrik semula (yang disuplai dari generator isyarat) ke dalam bahan dielektrik. Namun demikian, karena jumlah muatan induksi di permukaan keping sedikit, maka medan listrik permukaan induksi yang muncul juga kecil, sehingga keberadaan

medan listrik ini tidak akan memperlemah medan listrik semula secara total. Dengan demikian, terdapat arus listrik yang mengalir melewati bahan dielektrik, sehingga sampel masih memiliki sifat konduksi. Akibatnya nilai tetapan dielektrik sampel cenderung menjadi lebih kecil atau relatif lebih kecil (Halliday and Resnick, 1996).

Sedangkan pada frekuensi 2,75 MHz, jumlah muatan permukaan induksi yang muncul dalam bahan dielektrik di sekitar keping sejajar relatif lebih banyak (medan listrik induksinya relatif besar). Namun karena medan listrik semula yang disuplai dari generator

isyarat lebih besar (akibat frekuensinya lebih tinggi), maka keberadaan medan listrik induksi yang memiliki arah berlawanan terhadap medan listrik semula, cenderung sedikit memperlemah medan listrik semula. Dengan demikian, terdapat arus listrik yang mengalir melewati bahan dielektrik, sehingga sampel seolah-olah menjadi konduktor dan nilai tetapan dielektriknya menjadi jauh lebih kecil (Halliday and Resnick, 1996).

Secara umum hubungan empiris yang diperoleh berlainan antara satu sampel dengan sampel lainnya. Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian Kaya (2001), yang menghasilkan hubungan empiris yang bersifat linier antara tetapan dielektrik terhadap porositas untuk sembarang jenis tanah dan batuan. Hubungan empiris yang diperoleh Kaya (2001) tidak tergantung dari jenis sampel tanah dan frekuensi generator. Oleh karena itu hubungan empiris ini dapat digunakan untuk mengevaluasi porositas sembarang jenis tanah maupun batuan berdasarkan sifat dielektriknya. Interval frekuensi resonansi yang digunakan untuk menghasilkan hubungan empiris yang unik ini berkisar antara 13 – 50 MHz.

Adapun frekuensi resonansi peralatan yang digunakan pada penelitian ini berada di bawah interval frekuensi tersebut akibat keterbatasan peralatan. Namun demikian, berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh karakteristik sifat dielektrik sampel tanah dengan variasi porositas pada frekuensi resonansi rendah (*low resonance frequency*). Karakteristik sifat dielektrik sampel tanah sebagai fungsi porositas dipengaruhi oleh beberapa hal, seperti sifat-sifat fisik sampel, frekuensi generator isyarat dan kadar air (meskipun kadar air untuk ketiga sampel dibuat hampir sama). Yang jelas bahwa peralatan yang telah dirancang dapat digunakan untuk menguji tetapan dielektrik sampel material dengan metode lissajous pada berbagai interval frekuensi resonansi rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Peralatan untuk menguji tetapan dielektrik material dengan metode lissajous dapat dirancang menggunakan alat-alat laboratorium seperti generator isyarat, osiloskop sinar

katoda (CRO), keping sejajar dan resistor. Hasil peralatan yang telah dirancang, dapat digunakan untuk menguji tetapan dielektrik pada interval frekuensi resonansi rendah (*low resonance frequency*).

2. Diperoleh karakteristik sifat dielektrik sampel tanah dengan variasi porositas pada frekuensi resonansi rendah (*low resonance frequency*), Karakteristik sifat dielektrik sampel tanah ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti sifat-sifat fisik sampel, frekuensi generator isyarat dan kadar air.

SARAN-SARAN

Untuk mengevaluasi dan memperkirakan nilai porositas tanah dan batuan berdasarkan tetapan dielektriknya dengan metode lissajous, maka perlu dirancang sistem peralatan yang lebih lengkap, terutama generator isyarat yang digunakan harus memiliki jangkauan frekuensi yang relatif tinggi. Selain itu, peralatan perlu dirancang secara portable sehingga dapat digunakan untuk mengukur tetapan dielektrik tanah dan batuan secara langsung (*in situ*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dirjen DIKTI melalui DP2M yang telah mendanai penelitian Dosen Muda ini, serta Ketua Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Fakultas Sains dan Teknik, UNSOED Purwokerto atas fasilitas dan sarana peralatan yang disediakan. Terima kasih juga disampaikan kepada Sutoro, alumnus Program Studi Fisika UNSOED Angkatan tahun 2003, atas dedikasinya membantu penulis selama akuisisi data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A.N., Sehah, Sugito, 2005, Studi Analisis Variasi Frekuensi Gelombang Elektromagnetik terhadap Sifat Dielektrik Biji Kopi dengan Metode Lissajous, Laporan Penelitian Pemula, Dinas DIKBUD Propinsi Jawa Tengah.
- Giancolli, Douglas, S., 1991, Physics: Principle with Applications, 3th, Prentice-Hall International Ed., USA.
- Halliday, D., and Resnick, R., 1996, Fisika Jilid 2, Penerjemah: Pantur Silaban dan Erwin Sucipto, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kaya, A., 2001, Evaluation of Soil Porosity Using a Low MHz Range Dielectric Constant, Turkish Journal Engineering Science, 26 (2002), 301 – 307.

Mwanje, J., 1980, Dielectric Loss Measurement on Raw Material, the American Journal of Physics, 48 (10), 837 - 839.

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.

Warmada I Wayan, 1999, Porositas Batupasir dan Parameter Empiris yang Berpengaruh, Lab. Bahan Galian, Jurusan Teknik Geologi, UGM.