

# Pengukuran Konstanta Dielektrikum Kertas

A. Susi Murwaningsih<sup>1</sup>, Ign. Edi Santosa<sup>2</sup>

Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Sanata Dharma

Paingan, Maguwohardjo Depok Sleman, Yogyakarta

<sup>1</sup> [anastasiasm2001@gmail.com](mailto:anastasiasm2001@gmail.com), <sup>2</sup> [edi@dosen.usd.ac.id](mailto:edi@dosen.usd.ac.id)

**Abstrak** – Telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrikum kertas melalui proses pengisian kapasitor keping. Kapasitor yang digunakan terdiri dari keping PCB yang direkatkan pada kaca. Proses pengisian dan pengosongan kapasitor dilakukan pada rangkaian tahanan dan kapasitor yang dihubungkan dengan audio frekuensi generator (AFG). Nilai kapasitansi ditentukan dari konstanta waktu yang diperoleh menggunakan fitting pada persamaan proses pengisian kapasitor dengan data tegangan pada tahanan terhadap waktu. Selanjutnya nilai konstanta dielektrikum diperoleh dari nilai kapasitansi hasil pengukuran tersebut. Bahan dielektrikum yang digunakan adalah kertas Litho dengan kandungan air 6%. Dari pengukuran ini diperoleh nilai konstanta dielektrikum kertas yang digunakan adalah  $k = 1,56 \pm 0,15$ .

**Kata kunci:** kapasitor, PCB, kapasitansi, konstanta waktu, konstanta dielektrikum.

**Abstract** – The dielectric constant of a paper has been measured by utilizing the process of charging the capacitor. a plate of PCB glued on a glass was used as a capacitor. The capacitor charging and discharging process were investigated in an RC circuit with an audio frequency generator as a power supply. The capacitance is determined from the time constant from a charging process data fitting. Using the obtained capacitance, the dielectric constant was then can be determined. The dielectric material used was a Litho paper with water content 6 %. The dielectric constant of the examined paper in this experiment was determined as  $k = 1.56 \pm 0.15$ .

**Keywords:** capacitor, PCB, capacitance, time constant, dielectric constant.

## I. PENDAHULUAN

Pengukuran konstanta dielektrikum merupakan salah satu topik yang terkait dengan pembelajaran di bidang besaran kelistrikan. Berbagai metoda telah dikembangkan. Lippi menggunakan *capacitance meter* untuk mengukur kapasitansi dari kapasitor keping sejajar [1]. Pengukuran dilakukan dengan sederhana, mudah dan cepat. Hasilnya dibatasi oleh ketelitian dari *capacitance meter* yang digunakan. Grove juga menggunakan kapasitor keping dan multimeter untuk mengukur konstanta dielektrikum Teflon. Kapasitor keping dibuat dari lembaran aluminium foil dan teflon. Penggunaan susunan semacam ini menimbulkan masalah, karena lembaran aluminiumnya sulit dibuat rata [2]. Pada eksperimen diperlukan penggantian dan perlakuan yang rumit. Hasil eksperimennya menunjukkan bahwa kapasitansi kapasitor berbanding terbalik dengan tebal bahan dielektrikumnya. Metoda lain dilakukan oleh Perkalkis yang menggunakan jembatan Wheatstone untuk mengukur kapasitansi keping sejajar dan selanjutnya menentukan nilai konstanta dielektrikum es [3].

Jogad memanfaatkan pengisian kapasitor untuk menentukan konstanta dielektrikum [4]. Kapasitor dibuat dengan dua lembaran aluminium foil yang diantara keduanya diberi bahan dielektrikum. Teknis pelaksanaan pengukuran dilakukan dengan mengisi dan mengosongkan kapasitor secara bergantian melalui tahanan. Tegangan pada kapasitor diukur saat pengisian, selanjutnya dapat ditentukan waktu yang diperlukan untuk mencapai setengah nilai tegangan maksimum. Dari nilai waktu ini dan nilai tahanan, dapat ditentukan nilai kapasitansi. Selanjutnya nilai konstanta dielektrikum dapat ditentukan dari nilai kapasitansinya.

Kapasitansi kapasitor keping sejajar dapat diukur menggunakan proses resonansi pada untai LC [5]. Nilai kapasitansi dihitung dari pengukuran frekuensi resonansinya. Kemudian nilai konstanta dielektrikumnya diukur dan nilai kapasitansi yang telah dihasilkan.

Metoda lain yang banyak digunakan adalah memanfaatkan proses pengisian dan pengosongan kapasitor. Dengan rangkaian yang secara bergantian dapat mengisi dan mengosongkan kapasitor dapat diperoleh hubungan antara arus yang mengalir dan tegangan yang digunakan. Dari hubungan ini dapat diperoleh nilai konstanta dielektrikum bahan pengisi kapasitor [6].

Dari berbagai pengukuran di depan nilai konstanta dielektrikum ditentukan dari nilai kapasitansi kapasitor keping. Agar dapat diperoleh kapasitor keping yang tetap, penggunaan aluminium foil seperti yang dilakukan Grove dan Jogad perlu dimodifikasi. Pengukuran kapasitansi dapat dilakukan secara langsung maupun melalui proses pengisian dan pengosongan kapasitor dan gejala resonansi. Berbeda dengan yang dilakukan oleh Joged, penelitian ini mengukur konstanta waktu pengisian kapasitor. Untuk mendapatkan nilai tersebut data tegangan setiap saat difit dengan menggunakan persamaan yang sesuai.

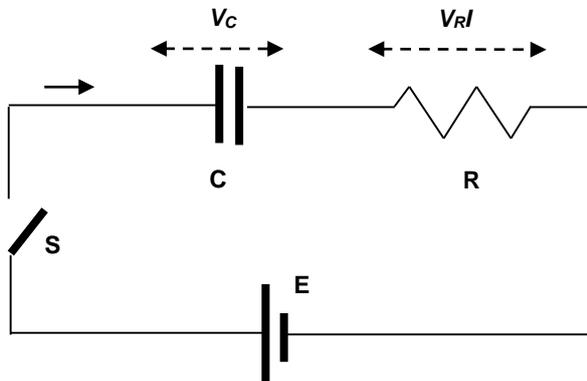
## II. LANDASAN TEORI

Kapasitor keping yang terdiri dari dua keping dengan luas keping  $A$ , jarak antar keping  $d$ , dan diberi medium dengan konstanta dielektrikum  $k$ , memiliki kapasitansi  $C$  sebesar

$$C = \frac{k \epsilon_0 A}{d} \tag{1}$$

dengan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas ruang hampa.

Kapasitor C dirangkai dengan tahanan R dan catu daya E seperti pada Gambar 1. Ketika saklar S ditutup pada saat  $t=0$ , arus mengalir melalui tahanan R dan terjadi proses pengisian kapasitor



**Gambar 1.** Rangkaian RC. Kapasitor C dirangkai dengan tahanan R dan catu daya E. Saklar S digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian.

Pada saat awal arus yang mengalir akan besar. Akibatnya kapasitor mulai terisi dan memberikan beda potensial. Pada rangkaian RC seperti pada gambar 1, berlaku hubungan antara tegangan pada kapasitor  $V_C$ , tegangan pada tahanan  $V_R$  dan tegangan catu daya  $E$  mengikuti

$$E = V_C + V_R \tag{2}$$

Nilai tegangan pada kapasitor dan tahanan mengikuti persamaan (3) dan (4)

$$V_C = \frac{Q}{C} \tag{3}$$

$$V_R = R \frac{dQ}{dt} \tag{4}$$

dengan Q muatan yang tersimpan di kapasitor dan  $dQ/dt$  menyatakan arus yang mengalir melalui tahanan. Dengan menggunakan persamaan (2), (3) dan (4) dapat diperoleh nilai arus yang mengalir setiap saat adalah

$$I = \frac{E}{R} \exp(-t/\tau) \tag{5}$$

dengan konstanta waktu  $\tau$  sebesar

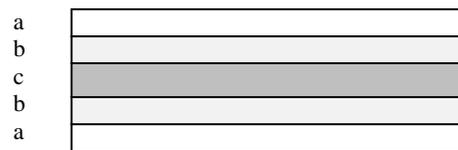
$$\tau = RC \tag{6}$$

Dari persamaan (5) dapat diperoleh tegangan pada tahanan R menjadi

$$V_R = E \exp(-t/\tau) \tag{7}$$

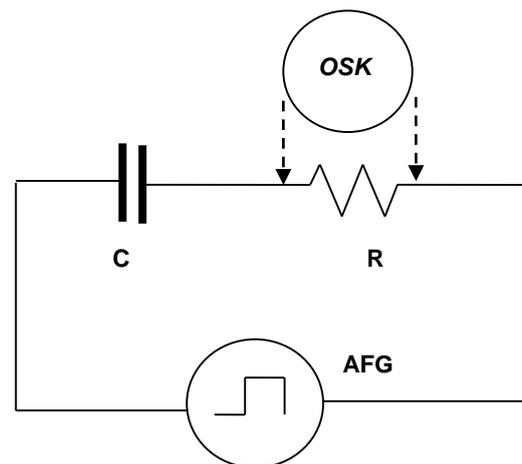
### III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Kapasitor yang digunakan terdiri dari dua keping PCB yang biasa digunakan untuk rangkaian elektronika. Masing masing keping berukuran panjang 40 cm dan lebar 40 cm. Agar permukaan PCB tersebut terjamin rata, setiap keping direkatkan pada kaca. Bahan dielektrikum berupa kertas Litho dengan kandungan air 6%, ditempatkan diantara kedua keping seperti pada Gambar 2. Tebal bahan dielektrikum dapat divariasikan dengan menambah lembaran kertas yang digunakan. Luas keping yang digunakan sebagai kapasitor dapat diubah dengan mengatur/menggeser posisi kepingnya.



**Gambar 2.** Susunan kapasitor yang digunakan dalam eksperimen: a. kaca; b.keping PCB; c. bahan dielektrikum.

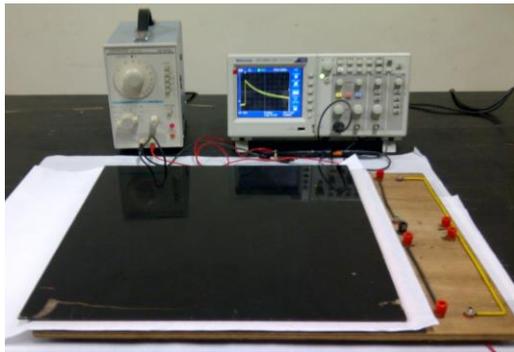
Pengukuran tebal kertas dilakukan dengan menggunakan mikrometer untuk beberapa lembar kertas. Tebal satu lembar kertas didapatkan dari gradien grafik hubungan tebal total terhadap jumlah lembaran kertas. Selanjutnya kapasitor keping ini dirangkai dengan tahanan  $R= 10 \text{ M}\Omega$ , seperti pada Gambar 3 dan 4.



**Gambar 3.** Susunan peralatan yang digunakan dalam eksperimen. Kapasitor keping C dirangkai dengan tahanan R ( $10 \text{ M}\Omega$ ) dan AFG. Oskiloskop OSK digunakan untuk mengukur tegangan pada tahanan.

Sinyal kotak dari audio frekuensi generator (AFG) digunakan sebagai catu daya. Penggunaan sinyal kotak frekuensi rendah dimaksudkan agar dapat mengamati proses pengisian dan pengosongan kapasitor secara terus

menerus. Tegangan pada tahanan diukur dengan menggunakan oskiloskop Textronix TDS1002C-EDU.



**Gambar 4.** Susunan peralatan yang digunakan dalam eksperimen.

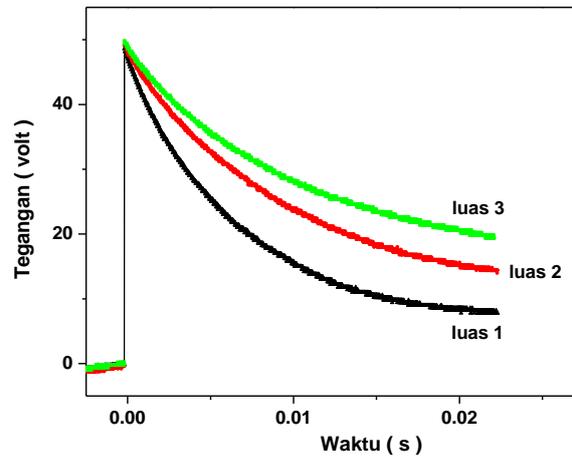
Untuk satu kapasitor dengan luas dan tebal bahan dielektrikum tertentu, dilakukan pengukuran pada saat terjadi proses pengisian kapasitor. Tegangan pada tahanan yang tampil di oskiloskop direkam dengan menggunakan fasilitas yang tersedia pada oskiloskop. Selanjutnya hasil pengukuran ini ditransfer dan dianalisa dengan software LoggerPro. Konstanta waktu pengisian kapasitor dapat diperoleh dengan melakukan fitting data dengan menggunakan persamaan (7). Selanjutnya nilai kapasitansi dapat dihitung dengan persamaan (6). Hasil perhitungan nilai kapasitansi ini kemudian digunakan untuk menghitung konstanta dielektrikum dengan menggunakan persamaan (1).

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasar persamaan (7) dan gambar 3, pengukuran tegangan dilakukan pada tahanan selama proses pengisian kapasitor. Nilai tahanan yang dipakai adalah  $10\text{ M}\Omega$ . Kapasitor menggunakan satu lembar kertas dengan tebal  $(0,13 \pm 0,01)\text{ mm}$  sebagai bahan dielektrikunya. Hasil pengukuran untuk tiga kapasitor yang berbeda luas kepingnya ditunjukkan pada gambar 5. Luas keping yang digunakan pada gambar tersebut secara berturut-turut adalah  $705\text{ cm}^2$ ,  $1112\text{ cm}^2$  dan  $1455\text{ cm}^2$ .

Gambar ini menunjukkan bahwa tegangan pada tahanan menurun selama terjadi pengisian kapasitor. Sesuai dengan persamaan (5) arus yang mengalir dalam rangkaian akan menurun. Hal ini karena pengisian kapasitor menyebabkan kenaikan tegangan pada kapasitor tersebut. Dengan demikian tegangan pada tahanan juga turun sesuai dengan persamaan (7).

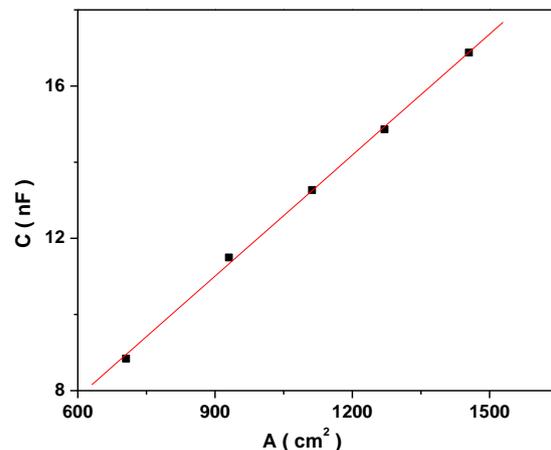
Dari Gambar 5 tampak bahwa luas keping mempengaruhi kecepatan pengisian kapasitor. Semakin besar luas kepingnya, semakin lama waktu pengisiannya. Untuk mendapatkan konstanta waktu  $\tau$ , dari setiap data eksperimen dilakukan fitting dengan menggunakan persamaan (7). Selanjutnya dari nilai konstanta waktu ini dapat diperoleh nilai kapasitansinya dengan menggunakan persamaan (6). Hasil pengukuran untuk berbagai luas keping disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 6.



**Gambar 5.** Hubungan tegangan pada tahanan ( $R=10\text{M}\Omega$ ) terhadap waktu pada proses pengisian kapasitor dengan berbagai luas keping dan tebal bahan dielektrikum yang sama ( $d=0,13\text{ mm}$ ).

**Tabel 1.** Nilai konstanta waktu dan kapasitansi untuk setiap luas keping kapasitor. Bahan dielektrikum berupa kertas setebal  $d=0,13\text{ mm}$ . Tahanan yang dipakai  $R=10\text{ M}\Omega$ .

No	A ( $\text{cm}^2$ )	$\tau$ (ms)	C (nF)
1	705	8,1	8,8
2	930	10,5	11,5
3	1112	12,1	13,3
4	1270	13,5	14,9
5	1455	15,4	16,6



**Gambar 6.** Hubungan kapasitansi ( $C$ ) terhadap luas keping kapasitor ( $A$ ). Tebal bahan dielektrikum  $d = 0,13\text{ mm}$

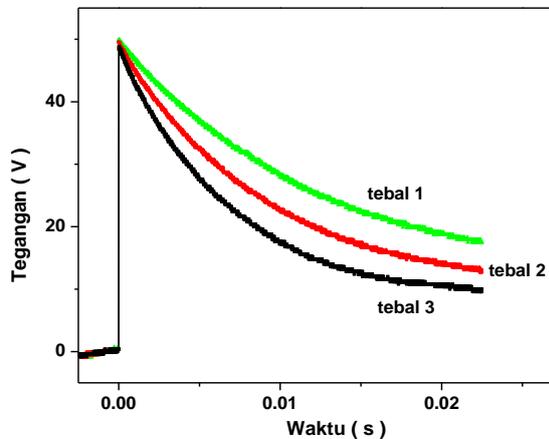
Nilai gradien grafik pada gambar 6 di atas adalah sebesar  $(106 \pm 2) \cdot 10^{-4}\text{ nF/cm}^2$ . Dari nilai ini dan dengan menggunakan persamaan (1) dapat diperoleh nilai konstanta dielektrikum kertas yang digunakan sebesar

$$k = 1,56 \pm 0,15$$

Nilai ini tidak jauh berbeda dari hasil pengamatan sebelumnya yaitu nilai konstanta dielektrikum kertas sekitar 2 [4]. Perbedaan nilai terjadi karena perbedaan jenis kertas yang digunakan. Hasil pengukuran ini ditentukan dari pengukuran tebal kertas, luas keping dan

konstanta waktu. Ketidakpastian pengukuran terbesar berasal dari pengukuran tebal kertas. Hal ini disebabkan karena ketebalan kertas yang diukur menggunakan mikrometer sekrup mengakibatkan kertas yang diukur terjepit.

Untuk selanjutnya juga dilakukan variasi ketebalan bahan dielektrikum dengan luas keping kapasitor yang sama. Perubahan ketebalan dilakukan dengan menumpuk sejumlah lembaran kertas. Hasil pengamatan ini untuk tiga ketebalan kertas yang berbeda disajikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Hubungan tegangan pada tahanan ( $R=10M\Omega$ ) terhadap waktu pada proses pengisian kapasitor dengan berbagai tebal bahan dielektrikum dan luas keping  $A=1500\text{ cm}^2$ . Tebal 1= 0,13 mm, tebal 2= 0,39 mm tebal 3=0,65 mm.

Dari gambar 7 tampak bahwa ketebalan bahan dielektrikum mempengaruhi kecepatan pengisian kapasitor. Semakin tebal bahan dielektrikum, semakin cepat waktu pengisiannya. Dari setiap data eksperimen dilakukan fitting dengan menggunakan persamaan (7) untuk mendapatkan konstanta waktu  $\tau$ . Selanjutnya dari nilai konstanta waktu ini dapat diperoleh nilai kapasitansinya dengan menggunakan persamaan (6). Hasilnya disajikan pada tabel 2 dan gambar 8.

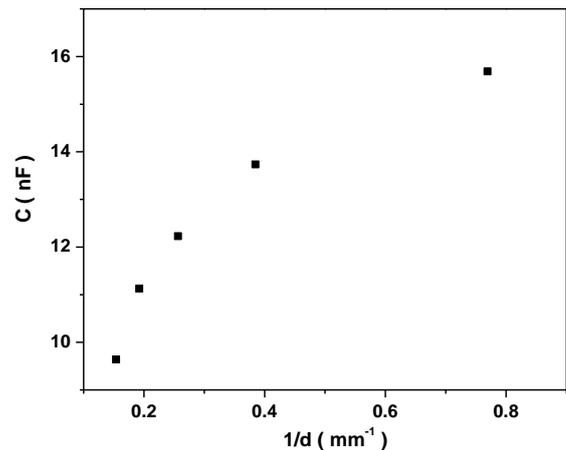
**Tabel 2.** Nilai konstanta waktu untuk setiap ketebalan bahan dielektrikum. Luas keping  $A=1500\text{ cm}^2$ . Tahanan yang dipakai  $R=10\text{ M}\Omega$ .

No	d (mm)	$\tau$ (ms)	C (nF)
1	1,3	14,3	15,7
2	2,6	12,5	13,7
3	3,9	11,1	12,2
4	5,2	10,1	11,1
5	6,5	8,8	9,6

Persamaan (1) menunjukkan bahwa kapasitansi berbanding terbalik dengan jarak antar keping. Namun dari Gambar 8 tampak bahwa hubungan antara kapasitansi dan invers jaraknya tidak linear.

Hal ini disebabkan karena perubahan jarak antar keping dilakukan dengan menambah lembaran kertas. Cara ini kurang menjamin bahwa jarak antar kepingnya menjadi seragam. Meskipun di bagian atas keping sudah diberi beban, pada tempat tertentu masih ada

kemungkinan rongga/lapisan udaranya. Hal ini akan menyebabkan pengurangan kapasitansi. Penyimpangan yang besar akan terjadi bila lapisan kertasnya semakin banyak atau invers tebalnya semakin kecil, seperti pada Gambar 8. Karena grafik yang didapat tidak linear, maka konstanta dielektrikumnya tidak bisa ditentukan.



**Gambar 8.** Hubungan kapasitansi (C) terhadap  $d^{-1}$  ( $d^{-1}$ ) bahan dielektrikum. Luas keping kapasitor  $A=1500\text{ cm}^2$ .

Penentuan konstanta dielektrikum semacam ini selanjutnya dapat dijadikan sebagai bahan pembelajaran. Eksperimen ini dapat untuk membahas pengertian permitivitas medium dan proses pengisian / pengosongan kapasitor.

## V. KESIMPULAN

Pengukuran kapasitansi dapat dilakukan melalui pengamatan tegangan saat pengisian kapasitor. Selanjutnya nilai tersebut digunakan untuk menentukan nilai konstanta dielektrikum bahan yang berada di antara kedua keping kapasitor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Bp P. Ngadiono yang telah membantu selama menyiapkan dan melaksanakan eksperimen.

## PUSTAKA

- [1] G. L. Lippi, A simple experiment highlighting data treatment techniques: the determination of the relative dielectric constant of a material, *Eur. J. Phys.* vol 34, 2013, pp 45-57
- [2] T. T. Grove, M. F. Masters, and R. E. Miers, Determining dielectric constants using a parallel plate capacitor, *Am. J. Phys.* vol 73 no 1, 2005, pp 52-56
- [3] B. S. Perkalskis and J. R. Freeman, Showing dispersion for the dielectric permittivity of ice *Am. J. Phys.* 66 no 10, 1998, pp. 931-932
- [4] M. S. Jogad and A. Yagnamurthy, Finding the dielectric constant, *PHYSICS EDUCATION*, 2002, pp69-70
- [5] Y. Kraftmakher, Measurement of dielectric constant of gases. *Am. J. Phys.* 64 no 9, 1996, pp. 1209-1210
- [6] E. Armitage *Practical Physics in SI*. London: John Murray, 1982

**TANYA JAWAB****Y. Wahyudi Utomo (SMA Kolese Iloyola)**

- ? Jenis kertas seperti apakah yang dipakai dalam penelitian ?
- ? Jika dibandingkan dengan kertas lain bagaimana ?

**A. Susi Murwaningsih (USD, Yogyakarta)**

- @ Jenis kertas : kertas Litho (termasuk kelompok M6 Kraft Paper)
- @ Penelitian ini hanya mengukur 1 jenis kertas

**Timotiw Golo (USD, Yogyakarta)**

- @ Apakah pengukuran ketebalan kertas dengan menggunakan mikrometer sekrup tidak mempengaruhi ketepatan hasil pengukuran ?

**A. Susi Murwaningsih (USD, Yogyakarta)**

- @ Pengukuran menggunakan mikrometer sekrup dilakukan 8 kali, memang hasil pengukuran masih ada ralat meskipun sudah menggunakan cara menggunakan gradien dari hubungan tebal kertas terhadap jumlah kertas. Namun untuk keperluan ini sudah cukup untuk menggunakan mikrometer sekrup.

**Sugiman (UAD, Yogyakarta)**

- ? Berhubungan dengan teori kesalahan berapa aklikan pelaksanaan percobaan ? Hal ini berhubungan dengan nilai rata-rata dan ralat

**A. Susi Murwaningsih (USD, Yogyakarta)**

- @ Pengukuran konstanta dielektrikum diperoleh dari pengukuran luas keping yang diukur 2 kali dengan mideline, pengukuran tebal kertas 8 kali dengan mikrometer sekrup, dan nilai ralat terbesar diperoleh dari pengukuran tebal kertas.