



# Pengaruh konstruksi kerapatan benang kain tenun kapas 100% (kain kanvas) terhadap konstanta dielektrik dan profil tegangan pengisian & pengosongan pada perangkat kapasitor plat sejajar

Andrian Wijayono <sup>a,1</sup>, Valentinus Galih Vidia Putra <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Magister Rekayasa Tekstil dan Apparel, Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No.31, Bandung, 40272, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Jalan Jakarta No.31, Bandung, 40272, Indonesia

<sup>1</sup>E-mail: [andrianwijayono@windowslive.com](mailto:andrianwijayono@windowslive.com)

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 25 Mei 2020

Direvisi pada 10 Juli 2020

Disetujui pada 10 Oktober 2020

Tersedia daring pada 15 November 2020

### Kata kunci:

Kerapatan benang, kain tenun kapas, konstanta dielektrik, profil tegangan, pengisian, pengosongan, kapasitor plat sejajar.

### Keywords:

Yarn density, cotton woven fabric, dielectric constant, voltage profile, charging, discharging, parallel-plate capacitor.

## ABSTRAK

Pada dasarnya kain tenun terdiri atas struktur anyaman benang-benang yang terbuat dari bahan serat tekstil melalui suatu proses pertenunan. Salah satu jenis serat yang telah lama dikenal sebagai bahan baku pembuatan kain tenun adalah serat kapas. Terdapat tujuh jenis konstruksi kerapatan benang kain tenun kapas 100% yang telah digunakan sebagai material dielektrik pada penelitian ini. Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan mengenai pengaruh konstruksi kerapatan benang kain tenun kapas 100% (kain kanvas) terhadap konstanta dielektrik dan profil tegangan pengisian & pengosongan pada perangkat kapasitor plat sejajar. Pengamatan konstanta dielektrik dan perilaku tegangan perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun kapas 100% saat proses pengisian & pengosongan telah dilakukan dengan menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino Uno. Proses pengisian & pengosongan kapasitor telah dilakukan dengan menggunakan skema rangkaian seri resistor-kapasitor (RC). Hasil pengamatan menunjukkan kesesuaian cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen pada perilaku profil tegangan kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun kapas 100% saat proses pengisian & pengosongan dengan nilai  $R^2 > 0,9$ . Telah ditemukan hubungan antara parameter kerapatan benang kain tenun kapas 100% terhadap konstanta dielektrik dan profil tegangan pengisian & pengosongan perangkat kapasitor plat sejajar. Hasil menunjukkan bahwa semakin besar nilai kerapatan benang kain tenun kapas 100%, maka semakin besar nilai konstanta dielektrik kain tersebut.

## ABSTRACT

Woven fabric consists of interlacing threads made from fiber material by weaving process. One type of fibers which is known as raw material for making woven fabric is cotton fiber. In this research, there are seven types of yarn-fabric density of 100% cotton fabric that has been used as dielectric materials. In this study, the influence of woven dielectric yarn density on the dielectric properties and the voltage charging & discharging profiles of the parallel plate capacitor devices has been carried out. The observation of the dielectric properties and the voltage in the parallel plate capacitor devices during the charging and discharging process are carried out using an Arduino Uno microcontroller device. The charging and discharging profiles are measured by using a series of resistor-capacitor (RC) circuit. The results of the charging process and the discharging process obtained  $R^2 > 0.9$ , which indicates that the correlation between the predicted and experimental results has a very good relationship. It has been found that the correlation between the woven dielectric yarn density on the dielectric constant and the charge-discharge profiles of the parallel plate capacitor. It also has been found that the higher density of the 100% cotton fabric, the higher the dielectric constant value of the fabric.

Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.36055/tjst.v16i2.8198>



## 1. Pendahuluan

Studi mengenai penerapan bahan tekstil sebagai material dielektrik telah diamati oleh berbagai peneliti. Berbagai tujuan telah dilakukan untuk mengamati tentang sifat dielektrik bahan tekstil, diantaranya untuk aplikasi pengukuran nilai konstanta dielektrik bahan selulosa [1, 2], bahan sintetis [3, 4] dan protein [5]. Dalam beberapa tahun terakhir, studi mengenai implementasi bahan tekstil dalam sistem elektronik (*textronics*) telah berkembang pesat [6, 7]. Substrat dari *textronics* tersebut dibuat dari berbagai jenis tekstil, diantaranya kain tenun, kain rajutan ataupun kain *non-woven* [6-10]. Permittivitas dielektrik kompleks substrat ini adalah salah satu parameter penting yang mempengaruhi kinerja *textronics* [1, 8-10]. Kebutuhan mengenai pemeriksaan sifat dielektrik tekstil timbul seiring dengan pengaplikasian kain tenun untuk aplikasi elektrik dan elektronik (misalnya papan sirkuit cetak, jalur transmisi elektrik, antenna berbasis tekstil). Penerapan material tekstil sebagai bahan *electromagnetic interference* (EMI) *shielding* juga telah merujuk pada kebutuhan adanya analisis lebih lanjut pada sifat dielektrik material tekstil. Sifat penyerap gelombang elektromagnetik dari sebuah kain dapat dievaluasi oleh sifat konstanta dielektrik material kain [11].

Studi mengenai pengukuran sifat dielektrik struktur tekstil pada frekuensi rendah dan tinggi telah ditinjau oleh beberapa peneliti [12, 13]. Secara teoritis, untuk setiap kain tenun dengan fraksi volume serat yang rendah, sebaran nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan untuk setiap komposisi campuran serat yang berbeda terletak antara 2,028 dan 2,400 pada frekuensi 1 kHz [14]. Hubungan antara fraksi volume serat pada bahan tekstil dan permittivitas efektif campuran memiliki grafik perubahan yang cukup linear [14]. Terdapat hubungan linier antara permittivitas dielektrik dan kerapatan serat pada frekuensi mulai dari 100 kHz hingga 20 MHz [2]. Selain itu, konstanta dielektrik bahan tekstil yang terbuat dari bahan monofilament nilon-6 memiliki hubungan kurva kuadrat dengan fraksi volume material [3]. Sebaliknya, Liu dan Zhao (2016) menemukan bahwa tidak ada efek signifikan dari spesifikasi khas kain tenun poliester pada perilaku dielektrik pada frekuensi dari 100 kHz hingga 10 MHz [4].

Selain pengamatan mengenai hubungan fraksi volume serat terhadap konstanta dielektrik bahan tekstil. Beberapa peneliti juga telah melakukan pengamatan mengenai hubungan susunan benang pada kain tenun terhadap konstanta dielektrik material kain [1, 5, 13]. Mustata dan Mustata (2014) menemukan bahwa konstanta dielektrik dari kain tenun berbahan dasar flax, rami, jute kapas, poliester dan campurannya bergantung pada derajat mengeret benang, kerapatan benang lusi dan pakan, serta gramasi kain tenun [1]. Pada rentang frekuensi 80 kHz hingga 5 MHz. Cerovic *et al.* (2009 dan 2013) telah menemukan bahwa kain berbahan serat alam memiliki nilai rugi dielektrik yang lebih tinggi daripada kain polyester [5, 13]. Hal tersebut berhubungan dengan keberadaan gugus polar pada material serat alam, sehingga kain dari bahan serat alam relatif memiliki konstanta dielektrik yang lebih besar dibandingkan dengan kain yang terbuat dari bahan serat sintetis [5, 13].

Perilaku dielektrik berubah sesuai dengan higroskopisitas serat pencampur dan kelembaban sekitar [5, 13]. Secara umum, sifat dielektrik menunjukkan adanya peningkatan seiring dengan peningkatan kelembaban relatif material. Pada tingkat kelembaban relatif yang sama, kain tenun dengan kadar air tertinggi memiliki nilai dielektrik tertinggi pada frekuensi 1 MHz [13] dan 3,5 MHz [5]. Untuk kain tenunan dari jute, rami, flax, kapas, campuran kapas-poliester, dan wol pada frekuensi uji 1 MHz dan 3,5 MHz, nilai rugi dielektrik awalnya meningkat dengan suhu hingga  $-10^{\circ}\text{C}$ , sedangkan konstanta dielektrik terus meningkat pada kondisi mulai dari suhu  $-50^{\circ}\text{C}$  hingga  $50^{\circ}\text{C}$  [5].

Nilai permittivitas kain tenun bervariasi sesuai dengan fitur struktur kain. Meskipun kain tenun memiliki fitur tertentu seperti pengulangan struktur unit dalam dua dimensi dan geometri spesifik struktur unit, pengukuran dan pemahaman tentang parameter dielektrik material umumnya bersifat kompleks. Pada material kain tenun, terdapat beberapa hal yang mempengaruhi sifat dielektrik material, diantaranya (1) ukuran penampang benang yang seragam tidak dapat dicapai dan tidak praktis, (2) kain tenun dapat menyerap atau menyerap kelembaban di atmosfer dan (3) strukturnya tidak seragam dan bergantung pada parameter pemrosesan. Berdasarkan berbagai hasil penelitian, sifat dielektrik bervariasi dengan bahan baku dan parameter konstruksi kain tenun.

Untuk memberikan pengetahuan mengenai hubungan antara konstanta dielektrik dan konstruksi kerapatan benang pada kain tenun berbahan kapas 100%, pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrik dan profil tegangan pengisian & pengosongan pada perangkat kapasitor plat sejajar berbahan dielektrik kain tenun (dengan kerapatan benang yang berbeda). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh struktur kerapatan benang pada kain tenun pada arah lusi dan pakan terhadap konstanta dielektrik dan profil tegangan pengisian & pengosongan kapasitor plat sejajar.

## 2. Kajian Teori

Perangkat kapasitor plat sejajar memiliki konfigurasi dua plat konduktor yang saling sejajar, serta dipisahkan oleh dielektrik [15]. Kemampuan sebuah perangkat kapasitor dalam menyimpan muatan listrik dinyatakan dalam ukuran kapasitansi  $C$  [16]. Pada perangkat kapasitor plat sejajar, besar nilai kapasitansi  $C$  bergantung pada konstanta dielektrik vakum  $\epsilon_0$ , konstanta dielektrik relatif bahan  $\epsilon_r$ , luasan dari konduktor plat sejajar  $A$  dan jarak antar lempengan konduktor plat sejajar  $d$ . Ketika kedua elektroda konduktif tersebut diberikan beda potensial sebesar  $\Delta\phi$ , maka besar kapasitansi  $C$  dapat dihitung dapat ditentukan pada persamaan (1).

$$C = \frac{Q}{\Delta\phi} \quad (1)$$

Besar medan  $\vec{E}$  pada kapasitor berbahan dielektrik dengan permittivitas relatif  $\epsilon_r$  dapat dihitung sesuai dengan persamaan (2).

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_r \epsilon_0} \hat{z} \quad (2)$$

Besar perbedaan potensial diantara kedua elektroda dapat dihitung sesuai dengan persamaan (3).

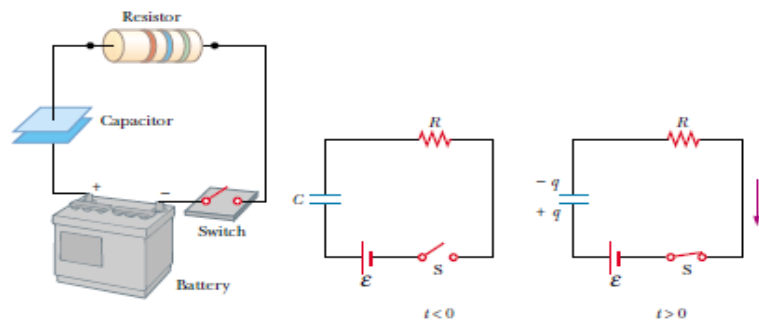
$$\Delta\phi = \phi_+ - \phi_- = \int_+^- E \cdot ds = \frac{Q}{C} \quad (3)$$

$$\Delta\varphi = \int_1^2 \frac{\sigma}{\epsilon_\gamma \epsilon_o} dr = \frac{Q}{A} \frac{d}{\epsilon_\gamma \epsilon_o} \tag{4}$$

Berdasarkan persamaan (4) dan (1), besar nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar dapat dihitung dengan persamaan (5).

$$C = \epsilon_\gamma \epsilon_o \frac{A}{d} \tag{5}$$

Kapasitor merupakan perangkat listrik yang dapat menyimpan muatan [17]. Proses pengisian muatan pada perangkat kapasitor disebut dengan proses pengisian (*charging*) [18]. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi skema proses pengisian muatan perangkat kapasitor yang tersusun atas rangkaian seri kapasitor-resistor (RC), serta terhubung dengan sebuah tegangan sumber  $V_s$ . Pada proses pemuatan (*charging*) perangkat kapasitor dengan susunan rangkaian Gambar 1, penjumlahan tegangan yang ada pada rangkaian bernilai nol, sesuai dengan persamaan (6). Jumlah tegangan pada rangkaian tersebut terdiri dari tegangan yang berada pada medium hambatan ( $V_{hambatan}$ ), tegangan pada material kapasitor ( $V_{kapasitor}$ ), serta tegangan sumber ( $V_{sumber}$ ), sesuai dengan persamaan (7).



Gambar 1. Skema pengisian muatan pada kapasitor dengan rangkaian RC [19].

$$\sum V = 0 \tag{6}$$

$$V_{hambatan} + V_{kapasitor} - V_{sumber} = 0 \tag{7}$$

Berdasarkan persamaan (7), besar perubahan muatan tiap satuan waktu  $Q(t)$  pada perangkat kapasitor dapat dihitung sesuai dengan persamaan (16).

$$IR + \frac{Q}{C} - V_{sumber} = 0 \tag{8}$$

$$IR + \frac{Q}{C} = V_{sumber} \tag{9}$$

$$\frac{dQ}{dt} R + \frac{Q}{C} = V_{sumber} \tag{10}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{V_{sumber}}{R} - \frac{Q}{RC} \tag{11}$$

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{CV_{sumber}}{RC} - \frac{Q}{RC} \tag{12}$$

$$\frac{dQ}{CV_{sumber} - Q} = - \frac{dQ}{Q - CV_{sumber}} = \frac{1}{RC} dt \tag{13}$$

$$\ln \frac{Q - CV_{sumber}}{-CV_{sumber}} = -Kt \tag{14}$$

$$Q - CV_{sumber} = -CV_{sumber} e^{-Kt} \tag{15}$$

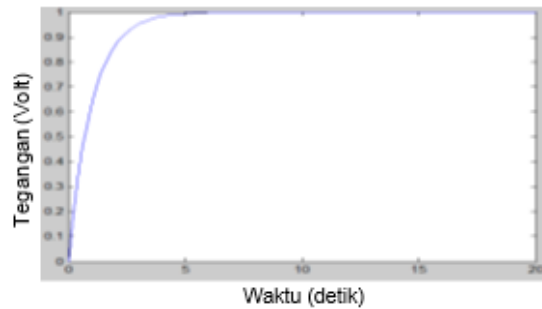
$$Q(t) = CV_{sumber} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \tag{16}$$

Berdasarkan persamaan perubahan muatan tiap satuan waktu  $Q(t)$  perangkat kapasitor pada persamaan (16), besar perubahan tegangan kapasitor tiap satuan waktu  $V_{kapasitor}(t)$  saat proses pengisian muatan dapat dihitung sesuai dengan persamaan (18).

$$\frac{Q}{C} = V_{sumber} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (17)$$

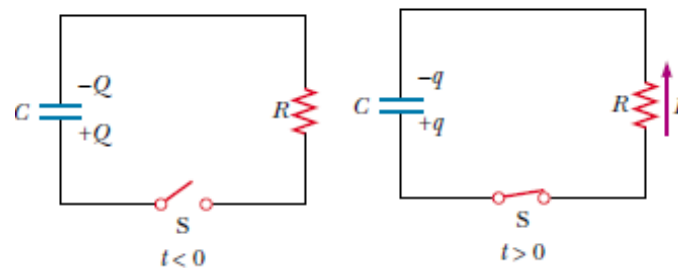
$$V_{kapasitor}(t) = V_{sumber} \left( 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (18)$$

Berdasarkan persamaan (18), hubungan teoritis profil tegangan kapasitor tiap satuan waktu secara teoritis saat proses pengisian (*charging*) dapat dilihat pada Gambar 2. Pada proses pengisian, tegangan kapasitor meningkat secara eksponensial seiring proses pengisian berlangsung.



Gambar 2. Profil tegangan kapasitor terhadap waktu  $V_{kapasitor}(t)$  saat proses pemuatan (*charging*) [19].

Selain proses pengisian (*charging*), perangkat kapasitor juga dapat mengalami proses pengosongan muatan atau *discharging* [18]. Gambar 3 menunjukkan ilustrasi skema proses pengosongan muatan perangkat kapasitor yang tersusun atas rangkaian seri kapasitor-resistor (RC), namun tidak terhubung dengan sebuah tegangan sumber  $V_s$ . Pada proses pengosongan (*discharging*) perangkat kapasitor dengan susunan rangkaian Gambar 3, penjumlahan tegangan yang ada pada rangkaian bernilai nol, sesuai dengan persamaan (6). Jumlah tegangan pada rangkaian tersebut terdiri dari tegangan yang berada pada medium hambatan ( $V_{hambatan}$ ) dan tegangan pada material kapasitor ( $V_{kapasitor}$ ), serta dapat dituliskan sesuai dengan persamaan (19).



Gambar 3. Skema pengosongan muatan pada kapasitor dengan rangkaian RC [19].

$$V_{hambatan} + V_{kapasitor} = 0 \quad (19)$$

Berdasarkan persamaan (19), besar perubahan muatan tiap satuan waktu  $Q(t)$  pada perangkat kapasitor dapat dihitung sesuai dengan persamaan (24).

$$IR + \frac{Q}{C} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{dQ}{dt} R + \frac{Q}{C} = 0 \quad (21)$$

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q}{RC} \quad (22)$$

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{RC} \quad (23)$$

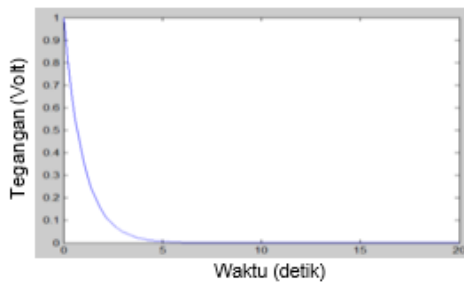
$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \tag{24}$$

Berdasarkan persamaan perubahan muatan tiap satuan waktu  $Q(t)$  perangkat kapasitor pada persamaan (24), besar perubahan tegangan kapasitor tiap satuan waktu  $V_{\text{kapasitor}}(t)$  saat proses pengosongan muatan dapat dihitung sesuai dengan persamaan (26).

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q_0}{C} e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \tag{25}$$

$$V_{\text{kapasitor}}(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \tag{26}$$

Berdasarkan persamaan (18), hubungan teoritis profil tegangan kapasitor tiap satuan waktu secara teoritis saat proses pengisian (*charging*) dapat dilihat pada Gambar 2. Pada proses pengisian, nilai tegangan kapasitor akan meningkat secara eksponensial seiring proses pengisian berlangsung.



Gambar 4. Profil tegangan kapasitor terhadap waktu  $V_{\text{kapasitor}}(t)$  saat proses pengosongan (*discharging*) [19].


### 3. Metode dan Eksperimen







Pada penelitian ini telah digunakan tujuh sampel kain tenun dengan variasi kerapatan benang lusi dan pakan. Kain tenun yang telah digunakan pada penelitian ini merupakan kain berbahan 100% kapas. Kain sampel telah ditenun dengan menggunakan mesin tenun Rapier Loom Picanol GT-Max di PT. Ateja Multi Industri. Tujuh sampel kain tenun yang digunakan memiliki anyaman polos dengan spesifikasi benang sesuai dengan Tabel 1. Spesifikasi sampel kain tenun yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2. Tujuh sampel merupakan kain tenun *grey* yang belum mendapatkan perlakuan kimia.

Tabel 1. Spesifikasi benang lusi dan pakan.

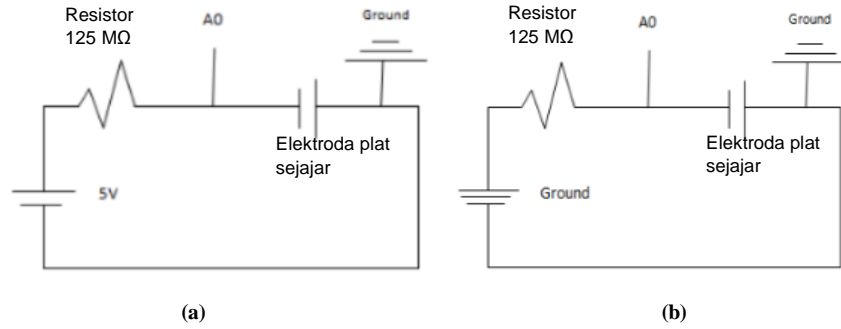
Jenis benang	Bahan baku	Nomor benang/Densitas linear benang	Antihan benang/Puntiran benang
Benang lusi	Cotton carded 100%	(22,41 + 2,52) gram/1000 m	(331 + 5,99)/m
Benang pakan	Cotton carded 100%	(61,55 + 1,71) gram/1000 m	(231.5 + 5,24)/m

Tabel 2. Spesifikasi sampel kain tenun.

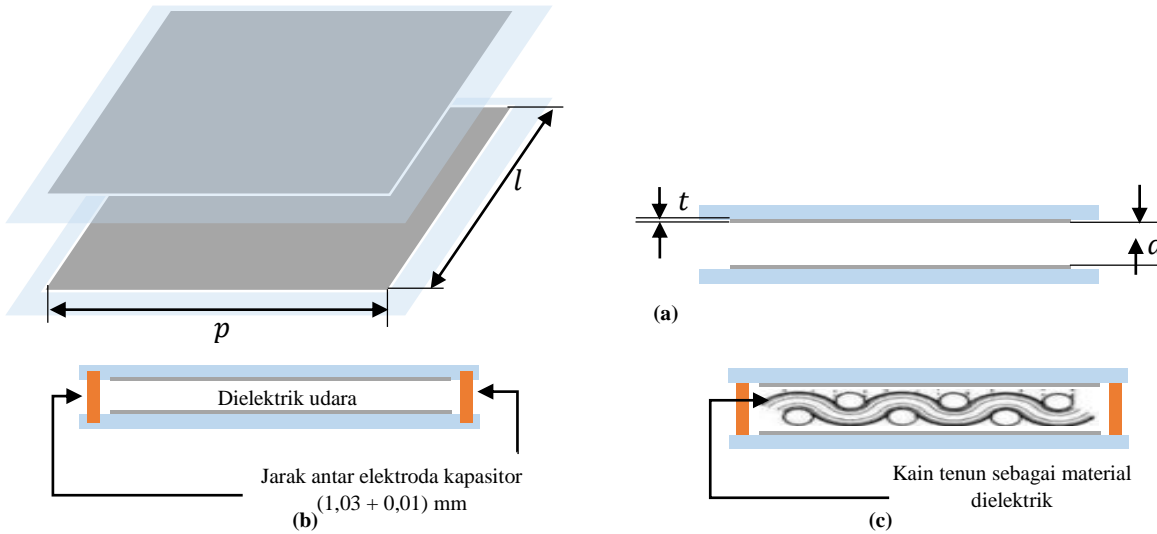
Sampel kain	Kerapatan benang lusi (helai/inci)	Kerapatan benang pakan (helai/inci)	Gramasi kain tenun (gram/m <sup>2</sup> )
S1 	(40,6 + 1,34)	(41 + 0,7)	(261,47 + 3,31)

Sampel kain	Kerapatan benang lusi (helai/inci)	Kerapatan benang pakan (helai/inci)	Gramasi kain tenun (gram/m <sup>2</sup> )
S2 	(20,2 + 1,22)	(40,6 + 0,89)	(223,81 + 3,04)
S3 	(41 + 0,7)	(16,2 + 1,34)	(165,62 + 2,71)
S4 	(20,2 + 1,22)	(20,6 + 0,89)	(129,77 + 3,9)
S5 	(8,4 + 0,89)	(40,4 + )	(135,72 + 2,99)
S6 	(40,2 + 0,6)	(25,8 + 1,2)	(218,93 + 4,12)
S7 	(26,4 + 0,6)	(27 + 0,7)	(87,17 + 4,47)

Pengukuran nilai kapasitansi kapasitor berdielektrik kain tenun telah dilakukan dengan menggunakan perangkat elektroda plat sejajar berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Penentuan nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas telah dilakukan dengan menggunakan metode kapasitansi. Proses pengisian kapasitor dan pengosongan kapasitor dilakukan menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino Uno. Tahapan *charging* dilakukan dengan tegangan sumber 5 Volt yang berasal dari perangkat mikrokontroler dan susunan seri rangkaian kapasitor dan resistor. Pada penelitian ini, sebuah plat sejajar dengan ukuran  $29 \times 30$  cm telah digunakan sebagai lempengan konduktor kapasitor, serta menggunakan perangkat resistor berukuran 125 M $\Omega$ . Gambar 5(a) menunjukkan ilustrasi rangkaian resistor-kapasitor yang telah digunakan pada metode kapasitansi untuk mengukur konstanta dielektrik kain tenun saat proses pengisian, sedangkan Gambar 5(b) menunjukkan rangkaian saat proses pengosongan. Gambar 6 menunjukkan skema konfigurasi plat sejajar pada pengukuran konstanta dielektrik kain tenun kapas 100%, sedangkan spesifikasi elektroda konduktif plat sejajar ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 5. Skema rangkaian pengukuran kapasitansi pada proses – (a) Pengisian kapasitor (*charging*) dan (b) Pengosongan kapasitor (*discharging*).



Gambar 6. - (a) Skema kapasitor plat sejajar; (b) Skema pengukuran konstanta dielektrik udara; (c) Skema pengukuran konstanta dielektrik kain tenun kapas 100%.

Tabel 3. Spesifikasi elektroda kapasitor plat sejajar.

Parameter	Ukuran
Lebar elektroda kapasitor (l)	(29 + 0,05) cm
Panjang elektroda kapasitor (p)	(30 + 0,05) cm
Tebal elektroda kapasitor (t)	(0,51 + 0,01) mm
Jarak antar elektroda kapasitor (d)	(1,03 + 0,01) mm

Penentuan nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) kain tenun kapas 100% telah dilakukan menggunakan rumusan nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar pada persamaan (27). Pada penelitian ini perangkat Arduino Uno telah digunakan untuk menentukan konstanta dielektrik material kain tenun serta merekam profil perubahan tegangan pada saat *charging-discharging*. Perangkat mikrokontroler Arduino telah digunakan untuk merekam data perubahan tegangan kapasitor serta menampilkannya pada *serial monitor*. Hubungan besar perubahan tegangan kapasitor  $V_{kapasitor}(t)$  akibat variabel konstanta dielektrik bahan dapat dilihat pada persamaan (28) [18]. Nilai  $b$  merupakan sebuah konstanta yang mewakili variabel-variabel pada persamaan (29) [18].

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{A \epsilon_0} \tag{27}$$

$$V_{kapasitor}(t) = V_s \left( 1 - e^{-\frac{td}{R \epsilon_0 \epsilon_r A}} \right) = V_s (1 - e^{-tb}) \tag{28}$$

$$b = \frac{d}{R \epsilon_0 \epsilon_r A} \tag{29}$$

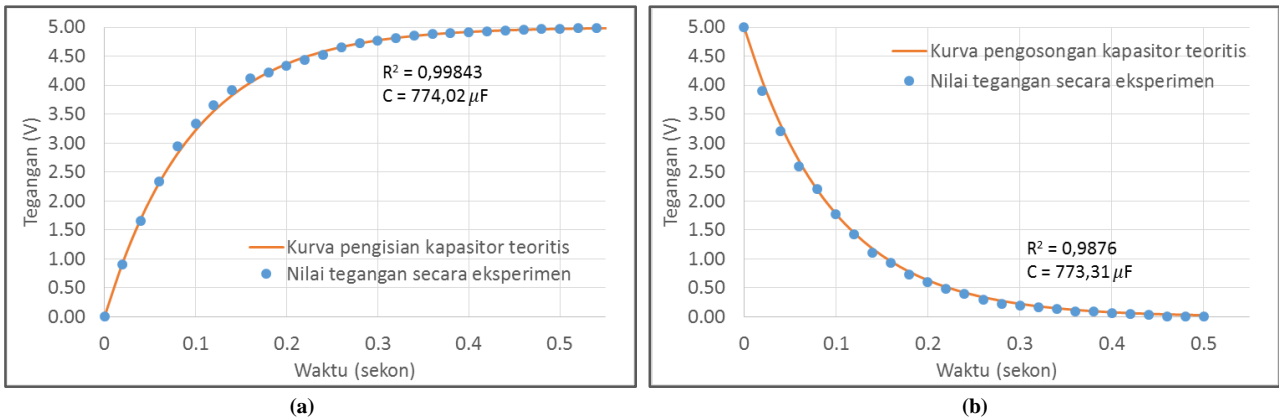
Apabila telah diketahui nilai resistansi dari resistor yang digunakan ( $R$ ), luasan area konduktor kapasitor ( $A$ ), besar jarak antar elektroda ( $d$ ), maka nilai konstanta dielektrik ( $\epsilon_r$ ) kain tenun kapas dapat dihitung menggunakan persamaan (30).

$$\epsilon_r = \frac{d}{R \epsilon_0 b A} \tag{30}$$

4. Hasil dan Pembahasan

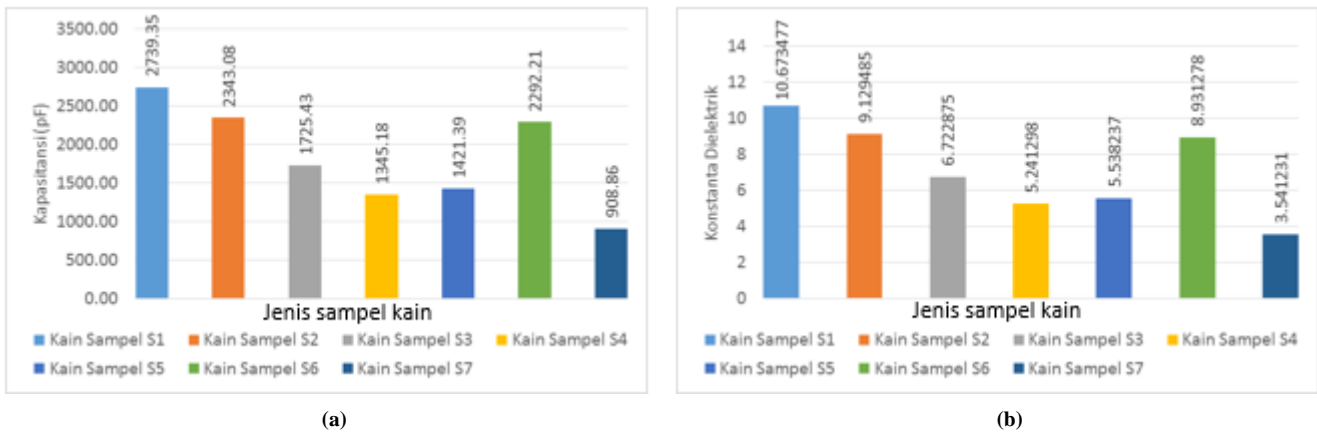
4.1. Hasil

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran nilai kapasitansi dari perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik udara. Hasil pengamatan menunjukkan nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar berdielektrik udara sebesar 774,02  $\mu\text{F}$  (*charging*) dengan nilai  $d = (1,03 \pm 0,01)$  dengan kesesuaian  $R^2 = 0,998$ . Telah didapatkan nilai kesesuaian cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen pada profil perubahan tegangan perangkat kapasitor plat sejajar. Gambar 7(a) menunjukkan data hasil pengamatan pada perubahan nilai  $V_{\text{kapasitor}}(t)$  saat proses pengisian secara prediksi dan eksperimen, sedangkan Gambar 7(b) menunjukkan perubahan nilai  $V_{\text{kapasitor}}(t)$  saat proses pengosongan. Telah didapatkan nilai kapasitansi hampir sama antara metode *charging* dan *discharging* pada perangkat kapasitor berdielektrik udara sesuai dengan hasil pengamatan pada Gambar 7. Pada studi ini telah didapatkan nilai konstanta dielektrik udara sebesar 1,0053 untuk metode pengisian dan 1,0043 untuk metode pengosongan, sedangkan nilai konstanta dielektrik udara secara literatur berada pada nilai 1,00059 [16]. Pada penelitian ini, perangkat instrumen pengukur telah berhasil mendapatkan nilai konstanta dielektrik udara yang cukup mendekati dengan literatur.



Gambar 7.  $V_{\text{kapasitor}}(t)$  dengan bahan dielektrik udara – (a) Saat proses *charging*; (b) Saat proses *discharging* ( $A = 0,087 \text{ m}^2$ ;  $R = 125 \text{ M}\Omega$  dan  $d = 1,03 \text{ mm}$ ).

Hasil pengamatan nilai konstanta dielektrik, nilai kapasitansi dan profil tegangan kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun 100% saat proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) dapat dilihat pada Tabel 4. Gambar 8(a) menunjukkan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun kapas 100% (metode *charging*) pada kisaran 908,86 pF hingga 2739,35 pF, dengan nilai kesesuaian  $R^2$  lebih besar dari 0,9 untuk setiap pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran kapasitansi dengan metode *charging* pada Gambar 8(a), telah didapatkan nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas 100% pada kisaran 3,541231 hingga 10,673477 sesuai Gambar 8(b). Gambar 9(a) menunjukkan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun kapas 100% (metode *discharging*) pada kisaran 913,2 pF hingga 2727,71 pF, dengan nilai kesesuaian  $R^2$  lebih besar dari 0,9 untuk setiap pengukuran. Berdasarkan hasil pengukuran kapasitansi dengan metode *discharging* pada Gambar 9(a), telah didapatkan nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas 100% pada kisaran 3,558172 hingga 10,628134 sesuai Gambar 9(b).

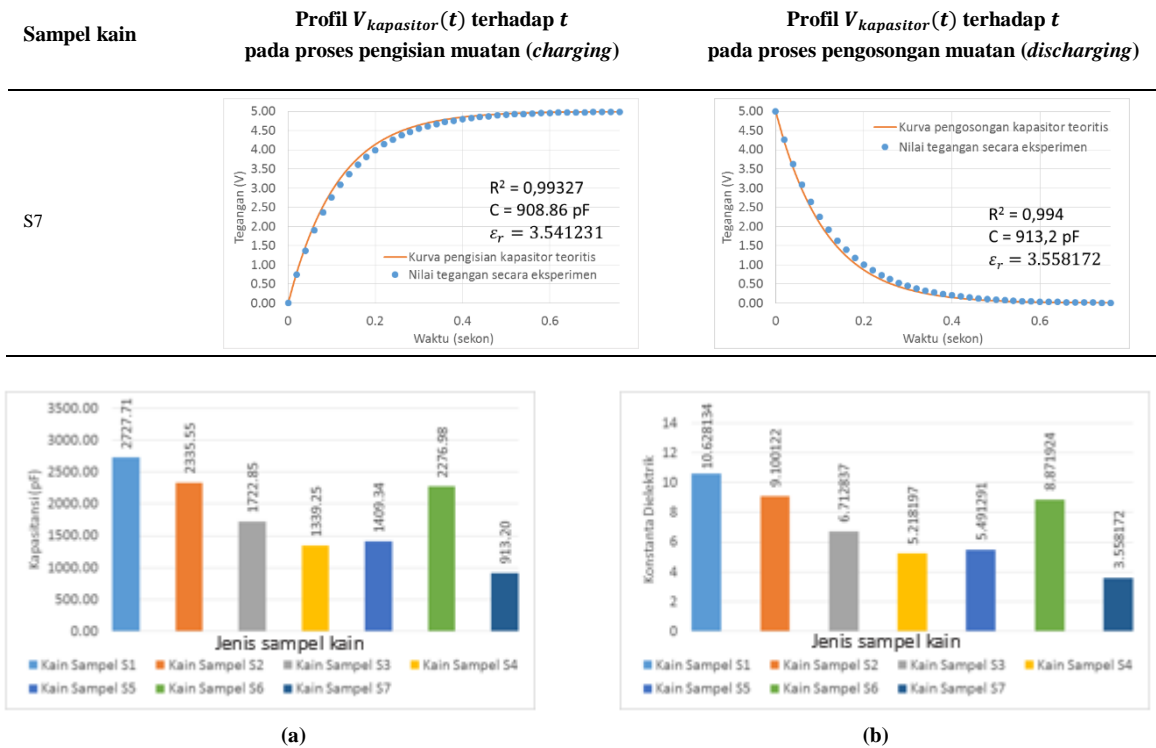


Gambar 8. – (a) Nilai kapasitansi perangkat kapasitor berdielektrik kain tenun kapas 100% (metode *charging*); (b) Konstanta dielektrik kain tenun kapas 100% (metode *charging*).



**Tabel 4.** Hasil pengamatan nilai konstanta dielektrik, nilai kapasitansi dan profil tegangan kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun 100% saat proses pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*).

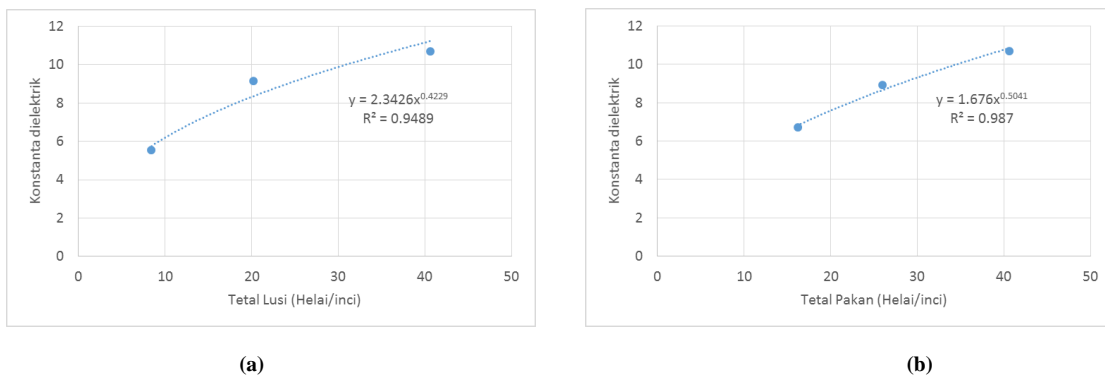
Sampel kain	Profil $V_{\text{kapasitor}}(t)$ terhadap $t$ pada proses pengisian muatan ( <i>charging</i> )	Profil $V_{\text{kapasitor}}(t)$ terhadap $t$ pada proses pengosongan muatan ( <i>discharging</i> )
S1	<p><math>R^2 = 0,99888</math>  <math>C = 2739,35 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 10,673477</math></p>	<p><math>R^2 = 0,99834</math>  <math>C = 2727,71 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 10,628134</math></p>
S2	<p><math>R^2 = 0,98889</math>  <math>C = 2343,08 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 9,129485</math></p>	<p><math>R^2 = 0,99609</math>  <math>C = 2335,55 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 9,100122</math></p>
S3	<p><math>R^2 = 0,99781</math>  <math>C = 1725,43 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 6,722875</math></p>	<p><math>R^2 = 0,99894</math>  <math>C = 1722,85 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 6,712837</math></p>
S4	<p><math>R^2 = 0,98487</math>  <math>C = 1345,18 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 5,241298</math></p>	<p><math>R^2 = 0,99071</math>  <math>C = 1339,25 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 5,218197</math></p>
S5	<p><math>R^2 = 0,98628</math>  <math>C = 1421,39 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 5,538237</math></p>	<p><math>R^2 = 0,98468</math>  <math>C = 1409,34 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 5,491291</math></p>
S6	<p><math>R^2 = 0,98922</math>  <math>C = 2292,21 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 8,931278</math></p>	<p><math>R^2 = 0,99923</math>  <math>C = 2276,98 \text{ pF}</math>  <math>\epsilon_r = 8,871924</math></p>



Gambar 9. – (a) Nilai kapasitansi perangkat kapasitor berdielektrik kain tenun kapas 100% (metode *discharging*); (b) Konstanta dielektrik kain tenun kapas 100% (metode *discharging*).

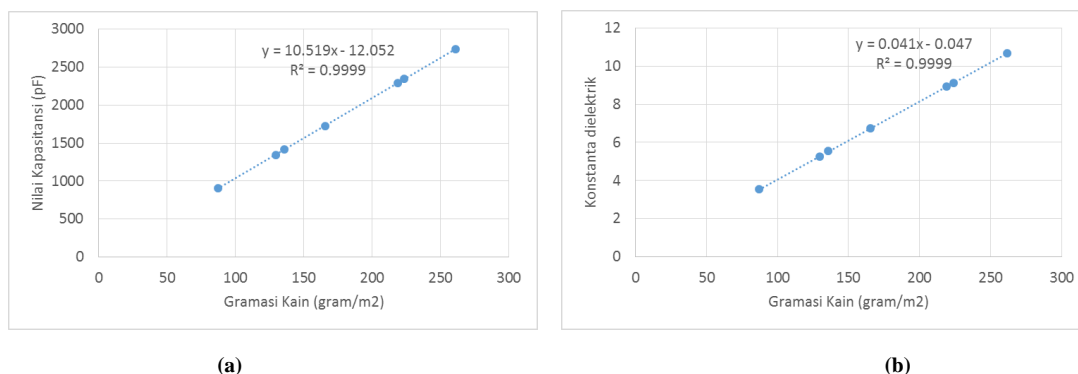
4.2. Pembahasan

Pada penelitian ini telah diamati pengaruh total benang lusi dan pakan pada material kain tenun terhadap nilai konstanta dielektrik hasil pengukuran. Berdasarkan data hasil pengamatan pada Gambar 8, telah ditemukan hubungan total benang lusi pada material kain tenun terhadap nilai konstanta dielektrik kain tenun sesuai dengan Gambar 10(a), sedangkan hubungan total benang pakan pada material kain tenun terhadap nilai konstanta dielektrik kain tenun ditunjukkan pada Gambar 10(b). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa semakin besar kerapatan benang lusi dan pakan pada kain tenun kapas 100%, maka akan semakin besar nilai konstanta dielektrik yang diperoleh. Nilai konstanta dielektrik yang didapatkan dari hasil pengukuran berkaitan dengan jumlah massa per satuan luas yang berada diantara kedua elektroda. Semakin besar kerapatan benang pada sebuah kain tenun, maka akan semakin besar pula gramasi (massa per satuan luas) kain tersebut. Hal tersebut berhubungan dengan rasio perbandingan jumlah volume udara dan volume material tekstil pada ruang antar plat konduktor kapasitor. Semakin besar gramasi kain tenun yang digunakan sebagai material dielektrik pada perangkat kapasitor plat sejajar, maka akan semakin besar pula material tekstil yang menempati ruang antar plat konduktor. Pada studi ini, telah diperoleh hubungan konstanta dielektrik kain tenun terhadap kerapatan benang lusi dengan persamaan  $y = 2,3426x^{0,4229}$  dengan kesesuaian sebesar  $R^2 = 0,9489$ , sedangkan hubungan konstanta dielektrik kain tenun terhadap kerapatan benang pakan dengan persamaan  $y = 1,676x^{0,5041}$  dengan kesesuaian sebesar  $R^2 = 0,987$ .



Gambar 10. – (a) Hubungan variasi total benang lusi terhadap nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas (dengan total pakan 40 helai/inci); (b) Hubungan variasi total benang pakan terhadap nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas (dengan total lusi 40 helai/inci).

Selain hubungan konstanta dielektrik terhadap kerapatan benang, pada penelitian ini telah diamati pula hubungan konstanta dielektrik terhadap gramasi (massa per satuan luas) kain tenun kapas 100%. Gambar 11(b) menunjukkan hubungan konstanta dielektrik terhadap variasi gramasi kain tenun kapas 100%. Telah didapatkan hasil bahwa semakin besar gramasi bahan dielektrik kain tenun kapas 100%, maka semakin besar pula kapasitansi yang terukur sesuai dengan Gambar 11(a). Pada penelitian ini, telah ditemukan hubungan gramasi kain terhadap nilai konstanta dielektrik dengan persamaan  $y = 0,041x - 0,047$  dengan kesesuaian sebesar  $R^2 = 0,99$ . Selain itu, telah ditemukan hubungan gramasi kain terhadap nilai konstanta dielektrik dengan persamaan  $y = 10,591x - 12,052$  dengan kesesuaian sebesar  $R^2 = 0,99$ .



**Gambar 11.** – (a) Hubungan gramasi kain terhadap nilai kapasitansi plat sejajar; (b) Hubungan gramasi kain terhadap nilai konstanta dielektrik kain tenun kapas.

Profil perubahan tegangan pengisian dan pengosongan pada perangkat kapasitor plat sejajar dengan variasi konstruksi kain tenun sebagai material dielektrik telah diamati pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengamatan profil perubahan tegangan kapasitor pada Tabel 4, waktu pengisian dan pengosongan muatan berhubungan dengan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar. Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 4, waktu pengisian dan pengosongan muatan perangkat kapasitor cenderung lebih singkat pada perangkat kapasitor dengan kapasitansi yang lebih kecil. Pada perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun dengan kapasitansi 1339,25 – 1345,18 pF ( $\epsilon_r = 5.241298$ ) memiliki waktu pengisian dan pengosongan 0,7 detik hingga mencapai kondisi *steady state*, namun perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain tenun dengan kapasitansi 908,86 – 913,2 pF ( $\epsilon_r = 3.541231$ ) memiliki waktu pengisian dan pengosongan 0,5 detik hingga mencapai kondisi *steady state*. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  dari setiap sampel kain tenun mempengaruhi profil perubahan tegangan kapasitor  $V_{kapasitor}(t)$ . Semakin besar konstanta dielektrik material kain tenun kapas 100%, maka semakin besar lama durasi pengisian & pengosongan yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan *steady state*. Hasil serupa telah ditunjukkan oleh [20] pada pengukuran konstanta dielektrik material foam. Semakin besar kepadatan foam dielektrik, maka semakin besar nilai kapasitansi yang diperoleh. Hal tersebut berkaitan dengan rasio udara dan material kain tekstil yang berperan sebagai bahan dielektrik pada kapasitor plat sejajar. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui hubungan  $V_{kapasitor}(t)$  terhadap  $\epsilon_r$  pada proses pengisian sesuai persamaan (31), serta pada proses pengosongan sesuai persamaan (32).

$$V_{kapasitor}(t) = V_s \left( 1 - e^{-\frac{td}{R\epsilon_0\epsilon_r A}} \right) \quad (31)$$

$$V_{kapasitor}(t) = V_0 e^{-\frac{td}{R\epsilon_0\epsilon_r A}} \quad (32)$$

## 5. Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dilakukan pengamatan konstanta dielektrik kain tenun kapas 100% dan profil perubahan tegangan kapasitor plat sejajar saat proses pengisian dan pengosongan. Pada studi ini telah berhasil ditemukan hubungan variasi konstruksi kerapatan benang kain tenun terhadap konstanta dielektrik kain. Semakin besar kerapatan benang pada material kain tenun, maka semakin besar pula nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar dan konstanta dielektrik material. Hasil pengamatan pada profil perubahan tegangan kapasitor plat sejajar memiliki kesesuaian dengan model pengisian dan pengosongan yang cukup baik, serta memiliki nilai kesesuaian sebesar  $R^2 > 0,9$ . Hasil penelitian menunjukkan bahwa profil perubahan tegangan pengisian dan pengosongan pada perangkat kapasitor menunjukkan nilai kapasitansi yang tidak berbeda secara signifikan. Pada penelitian ini, telah ditemukan hubungan gramasi (massa per satuan luas) kain tenun terhadap nilai konstanta dielektrik material dan besarnya kapasitansi. Semakin besar gramasi kain tenun kapas 100%, maka semakin besar nilai konstanta dielektrik dan kapasitansi yang diperoleh. Hasil pengukuran pada penelitian ini menunjukkan bahwa konstanta dielektrik kain tenun katun 100% pada rentang nilai 3,558172 - 10,627134 dengan gramasi kain terdapat pada kisaran 87,17 - 261,47 gram/m<sup>2</sup>.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada rekan-rekan dosen dan mahasiswa Politeknik STTT Bandung, serta Laboratorium Fisika-Mekatronika Politeknik STTT Bandung yang telah memberikan dukungan pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mustata, F. S. C., & Mustata, A. (2014). Dielectric behaviour of some woven fabrics on the basis of natural cellulosic fibers. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2014. doi: 10.1155/2014/216548.
- [2] Lv, H. M., & Ma, C. Q. (2013). Experimental study on the dielectric spectrum of cotton fiber aggregation. *Advanced Materials Research*, vol. 821, pp. 1475-1478. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.821-822.1475.
- [3] Bal, K., & Kothari, V. K. (2014). Dielectric behaviour of polyamide monofilament fibers containing moisture as measured in woven form. *Fibers and Polymers*, vol. 15, no. 8, pp. 1745-1751. doi: 10.1007/s12221-014-1745-z.

- [4] Liu, Y., & Zhao, X. (2016). Experimental studies on the dielectric behaviour of polyester woven fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 24, no. 3(117), pp. 67-71. doi: 10.5604/12303666.1196614.
- [5] Cerovic, D. D., Asanovic, K. A., Maletic, S. B., & Dojcilovic, J. R. (2013). Comparative study of the electrical and structural properties of woven fabrics. *Composites Part B: Engineering*, vol. 49, pp. 65-70. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.01.002.
- [6] Gniotek, K., & Krucinska, I. (2004). The basic problems of textronics. *Fibres and Textiles in Eastern Europe.*, vol. 12, no. 1, pp. 13-16.
- [7] Salvado, R., Loss, C., Gonçalves, R., & Pinho, P. (2012). Textile materials for the design of wearable antennas: A survey. *Sensors*, vol. 12, no. 11, 15841-15857. doi: 10.3390/s121115841.
- [8] Jean-Charles, Y. T., Ungvichian, V., & Barbosa, J. A. (2009). Effects of substrate permittivity on planar inverted-f antenna performances. *J. Comput*, vol. 4, no. 7, pp. 610-614. doi: 10.4304/jcp.4.7.610-614.
- [9] Lesnikowski, J. (2012). Dielectric permittivity measurement methods of textile substrate of textile transmission lines. *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 88, no. 3A, pp. 148-151.
- [10] Sankaralingam, S., & Gupta, B. (2010). Determination of dielectric constant of fabric materials and their use as substrates for design and development of antennas for wearable applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 59, no. 12, pp. 3122-3130. doi: 10.1109/TIM.2010.2063090.
- [11] Liu, Y. J., & Zhao, X. M. (2015). The research on the dielectric constant of polyester knitted fabrics. *Advanced Materials Research*, vol.1089, pp. 42-45. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1089.42.
- [12] Bal, K., & Kothari, V. K. (2009). Measurement of dielectric properties of textile materials and their applications. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, vol. 34, no. 2, pp. 191-199.
- [13] Cerovic, D. D., Dojcilovic, J. R., Asanovic, K. A., & Mihajlidi, T. A. (2009). Dielectric investigation of some woven fabrics. *Journal of Applied Physics*, vol. 106, no. 8. doi: 10.1063/1.3236511.
- [14] Bal, K., & Kothari, V. K. (2010). Permittivity of woven fabrics: A comparison of dielectric formulas for air-fiber mixture. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 17, no. 3, pp. 881-889. doi: 10.1109/TDEI.2010.5492262.
- [15] Allagui, A., Elwakil, A. S., Fouda, M. E., & Radwan, A. G. (2018). Capacitive behavior and stored energy in supercapacitors at power line frequencies. *Journal of Power Sources*, vol. 390, no. 142–147. doi: 10.1016/j.jpowsour.2018.04.035.
- [16] Halliday, D., Resnick, R., Walker. (1997). *Fundamentals of Physics-Extended, 5th*. New York: John Wiley & Sons.
- [17] Du, W. Y. (2014). *Resistive, Capacitive, Inductive, and Magnetic Sensor Technologies*. Boca Raton: CRC Press.
- [18] Putra, V. G. V., Wijayono, A., Purnomosari, E., Ngadiono, N., & Irwan, I. (2019). Metode pengukuran kapasitansi dengan menggunakan mikrokontroler arduino uno. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, vol. 3, no. (1), pp. 36-45. doi: 10.30599/jipfri.v3i1.425.
- [19] Putra, V. G. V., & Purnomosari, E. (2016). *Pengantar Listrik Magnet dan Terapannya*. ISBN 978-6020-72713-2-6. Yogyakarta: CV. Mulia Jaya.
- [20] Knott, E. F. (1993). Dielectric constant of plastic foams. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 41, no. 8, pp. 1167-1171. doi: 10.1109/8.244664.