

ARTIKEL RISET

Pengukuran Permittivitas Dielektrik Bahan Kain Non Woven Menggunakan Kapasitansi Meter Arduino Uno Dan Prinsip Kerja Kapasitor Plat Sejajar

Andrian Wijayono* and Valentinus Galih Vidia Putra

Received: Apr. 30, 2020 | Accepted: May 15, 2020 | Published: Dec. 21, 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i3.55797

Ringkasan

Pada penelitian ini telah dilakukan penentuan konstanta permitivitas dielektrik bahan kain non woven secara eksperimen dengan menggunakan kapasitansi meter berbasis Arduino Uno dan prinsip kerja kapasitor plat sejajar. Penentuan konstanta permitivitas bahan kain non woven dilakukan dengan cara mengukur nilai kapasitansi yang divariasikan terhadap jarak antara plat yang berisi bahan dielektrik kain non woven. Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan prinsip pengisian dan pengosongan kapasitor menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino Uno. Proses pengisian dan pengosongan dilakukan dengan menggunakan susunan seri rangkaian resistor-kapasitor (RC) dengan tegangan sumber 5 Volt. Pada eksperimen ini telah digunakan sebuah plat sejajar dengan ukuran 29×30 cm sebagai elektroda kapasitor, serta sebuah perangkat resistor dengan ukuran 125 megaOhm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku pengisian dan pengosongan perangkat kapasitor plat-sejajar memiliki nilai $R^2 > 0,9$, yang menunjukkan korelasi cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen pada pengukuran kapasitansi. Terdapat lima bahan dielektrik kain yang ditentukan dengan hasil dari yang terkecil sampai yang terbesar berturut-turut yaitu kain non woven polipropilen 31,44 gsm sebesar 1,0598, kain non woven polipropilen 43,72 gsm sebesar 1,0996, kain non woven polipropilen 52,31 gsm sebesar 1,1288, kain non woven polipropilen 74,12 gsm sebesar 1,1963, kain non woven polipropilen 80,87 gsm sebesar 1,2279. Telah ditemukan hubungan antara parameter gramasi (GSM) kain non woven polipropilen terhadap besaran nilai konstanta dielektrik terukur.

Kata Kunci : dielektrik; kapasitor plat sejajar; kapasitansi meter; Arduino Uno

Abstract

In this research has been determined the dielectric constant of the non woven fabric using Arduino Uno capacitance meter device and a parallel plate capacitor. The Determination of the permittivity constant of non woven fabric is done by measuring the capacitance value that is varied with the distance between the plates containing the dielectric material of non woven fabric. The measurement of capacitance has been done with charging and discharging process, which recorded and measured with an Arduino microcontroller device. The charging and discharging process were carried out using a series of resistor-capacitor with a 5 volt sourced from the voltage of the microcontroller. In this study a parallel-plate device with surface area of 29×30 cm has been used as the capacitor electrode, which arranged in a series with the 125 megaOhm resistor. The results of the charging process and the discharging process obtained $R^2 \geq 0.9$, which indicates that the correlation between the predicted and experimental results has a very good relationship. There are five fabric dielectric materials that are determined with the results from the smallest to the largest in a row namely 30 gsm polypropylene non woven fabric (1,0598), 45 gsm polypropylene non woven fabric (1,0996), 50 gsm polypropylene non woven fabric (1,1288), 75 gsm polypropylene non woven fabric (1,1963), 80 gsm polypropylene non woven fabric (1,2279). It has been found the correlation between the fabric gramase (GSM) and the permittivity of the polypropylene non woven fabric.

Keywords: dielectric; parallel-plate capacitor; capacitance meter; Arduino Uno

PENDAHULUAN

Serat dan bahan tekstil telah menjadi subjek penelitian dalam kaitannya dengan perilaku listrik dan dielektrik sejak lama. Penelitian tentang sifat listrik dan dielektrik bahan tekstil telah dilakukan untuk berbagai tujuan, diantaranya untuk aplikasi karakterisasi hingga penerapan sifat dielektrik bahan tekstil di berbagai bidang yang beragam. Beberapa peneliti telah melaporkan mengenai hasil pengukuran sifat dielektrik, seperti pengukuran konstanta dielektrik bahan selulosa [1, 2, 3, 4, 5], protein [6, 7, 8] dan serat sintesis [9, 10, 11, 12]. Sifat dielektrik pada material tekstil telah diamati sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi fenomena listrik statis dalam industri tekstil (Morton & Hearle, 1993). Pada beberapa penelitian lainnya, sifat dielektrik tekstil digunakan untuk mengukur kadar air pada material tekstil [13, 14], untuk mendeteksi variasi massa pada material benang dan sliver [15, 16, 17], untuk mengobservasi transmisi kelembapan dari material tekstil [16, 17], serta untuk aplikasi kegunaan lainnya. Bahan tekstil seperti kain dan benang pada merupakan material yang tersusun atas serat. Serat umumnya terbuat dari polimer rantai panjang linier dan memiliki rasio panjang terhadap diameter yang besar. Konduktivitas listrik dari sebagian besar polimer ini sangat rendah sehingga umumnya dianggap sebagai isolator [18].

Beberapa peneliti telah melakukan tinjauan khusus mengenai pemanfaatan pengukuran dielektrik untuk menentukan berbagai jenis sifat dari bahan tekstil, baik pada serat, benang maupun kain. Hossain & Samanta (2019) telah melakukan tinjauan mengenai sifat dielektrik sebagai fungsi kapasitansi bahan tekstil benang terhadap sifat ketidakrataan benang, bulu pada benang dan cacat pada benang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi massa atau perubahan massa bahan dielektrik pada sebuah perangkat kapasitor plat sejajar terbukti dapat mengubah nilai ϵ pada perangkat kapasitor tersebut (Hossain & Samanta, 2019). Pada perangkat kapasitor plat parallel ideal memiliki rumusan kapasitansi sesuai dengan persamaan 1 dengan nilai A merupakan luasan dari konduktor plat sejajar, d merupakan jarak antar lempengan konduktor plat sejajar, ϵ_0 merupakan konstanta dielektrik vakum dan ϵ_r merupakan konstanta dielektrik relatif bahan (nilainya 1 untuk vakum). Pada kasus pengukuran ketidakrataan benang, nilai ϵ pada perangkat kapasitor berubah akibat adanya perubahan rasio antara udara-tekstil

yang berada diantara plat sejajar kapasitor, maka nilai kapasitansi pada perangkat kapasitor plat sejajar tersebut akan berubah.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (1)$$

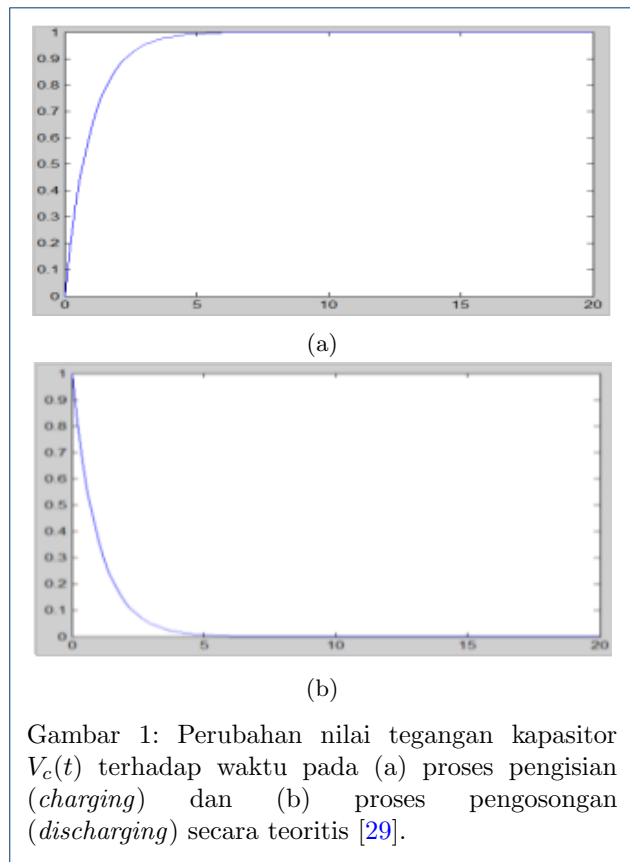
Pada dasarnya sebuah kapasitor plat sejajar terdiri dari atas dua pelat konduktor saling sejajar, namun terpisah oleh bahan atau material dielektrik diantara keduanya [19]. Perangkat kapasitor memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik, yang biasa dinyatakan dalam ukuran kapasitansi [20]. Secara umum perangkat kapasitor dapat ditemukan pada perangkat elektronika, namun sistem kapasitansi telah digunakan juga oleh beberapa peneliti untuk aplikasi pemantauan aktifitas [21], untuk aplikasi sensor pada bidang pemantauan kesehatan [22, 23, 24, 25, 26, 27], serta untuk aplikasi pengukuran sensor kelembapan [28], serta untuk aplikasi lainnya. Perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada proses pengisian (*charging*) dapat dirumuskan sesuai persamaan 2, sedangkan perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada proses pengosongan (*discharging*) dapat dirumuskan sesuai persamaan 2 [29, 30]. Pada dasarnya, tegangan kapasitor $V_c(t)$ merupakan rasio antara nilai muatan Q terhadap nilai kapasitansi C . Pada proses pengisian dan pengosongan, nilai perubahan tegangan kapasitor dipengaruhi oleh besarnya tegangan sumber V_s , besarnya resistansi atau hambatan R , dan besarnya kapasitansi kapasitor C . Perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada proses pengisian (*charging*) dan proses pengosongan (*discharging*) secara teoritis dapat dilihat sesuai Gambar 1 [29].

$$V_c(t) = \frac{Q}{C} = V_s \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (2)$$

$$V_c(t) = V_s e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrik kain non woven polipropilen menggunakan alat pengukur kapasitansi berbasis Arduino Uno. Pengukuran konstanta dielektrik (ϵ_r) kain non woven polipropilen didasarkan pada rumusan kapasitor plat sejajar pada persamaan 4 dengan nilai kapasitansi C hasil pengukuran, konstanta permitivitas vakum ϵ_0 , serta luasan elektroda A dan nilai jarak antar elektroda d yang telah diketahui. Pengukuran dielektrik udara telah dilakukan pada konfigurasi elektroda kapasitor

*Correspondence: andrianwijayono@windowslive.com
 Program Studi Rekayasa Tekstil dan Apparel Politenik STTT Bandung,
 Jalan Jakarta No. 31, 40272, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
 Full list of author information is available at the end of the article
 †Equal contributor



plat-sejajar (*parallel-plate*) berbasis Arduino yang merekam dan menampilkan data hasil pengukuran pada layar serial monitor. Pada penelitian ini telah diamati pengaruh dari jarak elektroda plat sejajar terhadap nilai kapasitansi dari perangkat kapasitor yang dirancang.

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{A\epsilon_0} \tag{4}$$

Berdasarkan rumusan pada persamaan 1, 2 dan 3, maka perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada proses pengisian (*charging*) dapat dituliskan sesuai dengan persamaan 5.

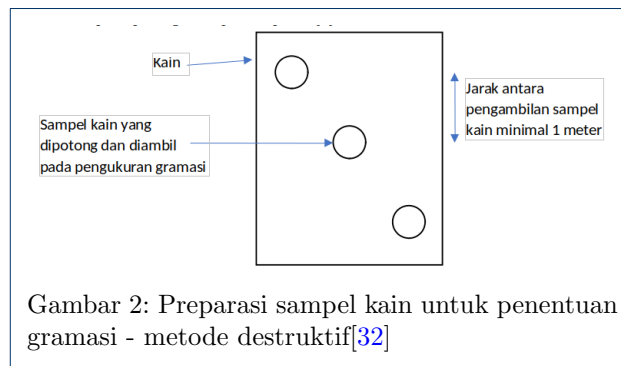
$$V_c(t) = V_s \left(1 - e^{\frac{-td}{R\epsilon_0\epsilon_r A}}\right) = V_s (1 - e^{-tb}) \tag{5}$$

Perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada proses pengosongan (*discharging*) dapat dituliskan sesuai dengan persamaan 6.

$$V_c(t) = V_s \left(e^{\frac{-td}{R\epsilon_0\epsilon_r A}}\right) = V_s (e^{-tb}) \tag{6}$$

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrik beberapa sampel kain non

woven berbahan polipropilen dengan variasi gramasi yang berbeda. Telah dikaji hubungan konstanta dielektrik dan gramasi pada material kain non woven berbahan polipropilen. Penentuan hubungan tersebut yang dapat digunakan untuk aplikasi metode alternatif pada pengukuran gramasi kain non destruktif. Penentuan gramasi dengan cara non destruktif dilakukan dengan cara menerapkan prinsip pengukuran konstanta dielektrik. Pengukuran gramasi kain secara umum dilakukan dengan menggunakan metode destruktif, yaitu dilakukan dengan cara menimbang potongan kain dengan luasan tertentu [31, 32]. Metode konvensional pengukuran gram kain per meter persegi (gramasi) menggunakan timbangan elektronik melibatkan penghancuran fisik kain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 (pengujian destruktif). Hal ini menyebabkan pemborosan kain dan membuat sisa kain tidak dapat digunakan dan berakhir menjadi limbah. Pada penelitian ini telah dihasilkan sebuah metode non destruktif alternatif untuk menentukan besaran gramasi kain non woven polipropilen menggunakan pengukuran permitivitas dielektrik pada perangkat kapasitor plat sejajar.



METODE PENELITIAN

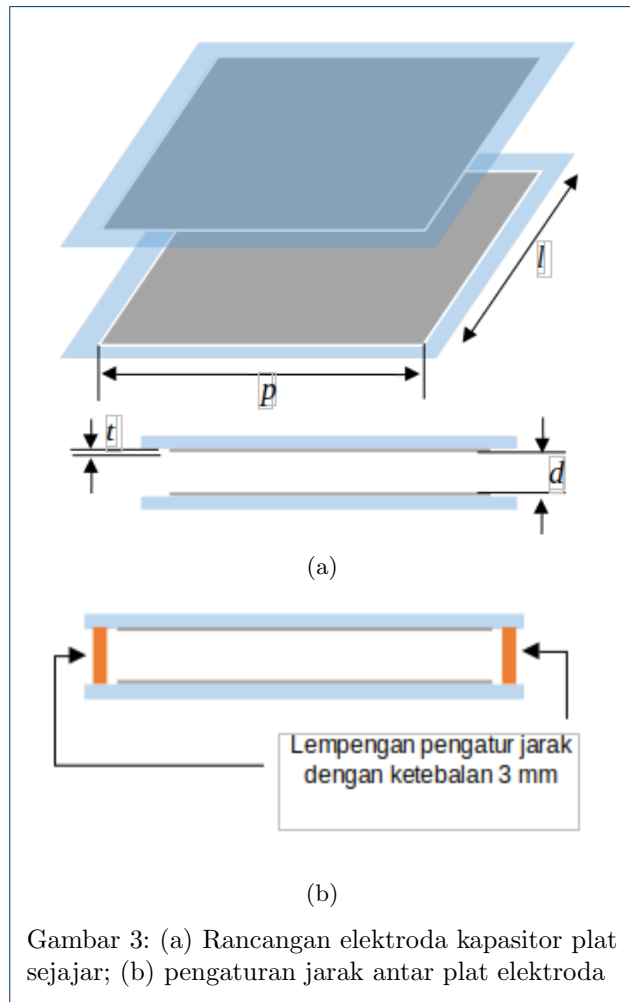
Pada penelitian ini telah digunakan kapasitor plat sejajar sesuai dengan spesifikasi pada Tabel 1. Rancangan elektroda plat sejajar dapat dilihat pada Gambar 2a. Jarak antar plat elektroda diatur menggunakan lempeng isolator dengan ketebalan tertentu sesuai ilustrasi pada Gambar 2b. Plat elektroda yang digunakan terbuat dari bahan lempengan aluminium dengan ketebalan 0,01 mm.

Desain rancangan konfigurasi plat elektroda yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan susunan pada Gambar 3. Gambar 4 menunjukkan hasil rancangan elektroda sesuai dengan susunan pada Gambar 3.

Terdapat lima jenis kain yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Tabel 2. Besaran gramasi

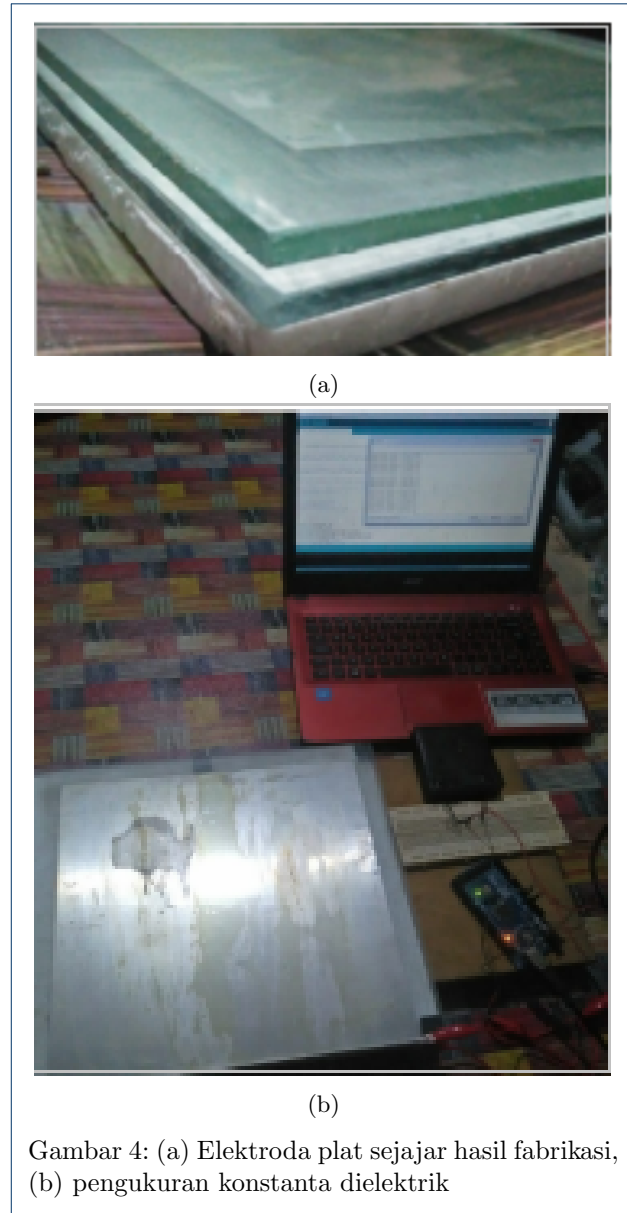
Tabel 1: Desain spesifikasi elektroda kapasitor plat sejajar

Parameter	Ukuran
Panjang elektroda (p)	30 cm
Lebar elektroda (l)	29 cm
Tebal elektroda (t)	0,01 mm
Jarak antar elektroda (d)	3 mm



dari setiap sampel kain diperoleh berdasarkan hasil pengukuran gramasi (G) sesuai standar [32]. Kelima sampel tersebut terbuat dari bahan baku serat yang sama, yaitu serat polipropilen 100%. Perbedaan diantara kain tersebut adalah pada parameter gramasi atau densitas luas kain yang dinyatakan dalam gram per meter persegi. Konstanta dielektrik dari masing-masing sampel kain tersebut akan diukur dengan menggunakan perangkat kapasitor plat sejajar pada Gambar 4.

Pengukuran kapasitansi dilakukan dengan melakukan proses charging dan discharging terhadap perangkat kapasitor plat sejajar. Skema pada proses charging kapasitor dapat dilihat sesuai dengan

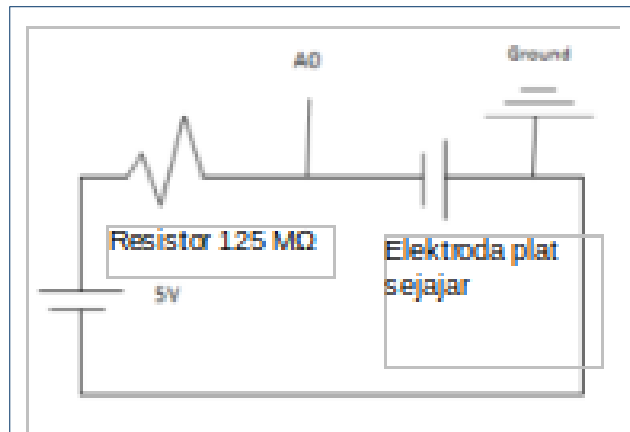


Tabel 2: Sampel kain non woven yang digunakan

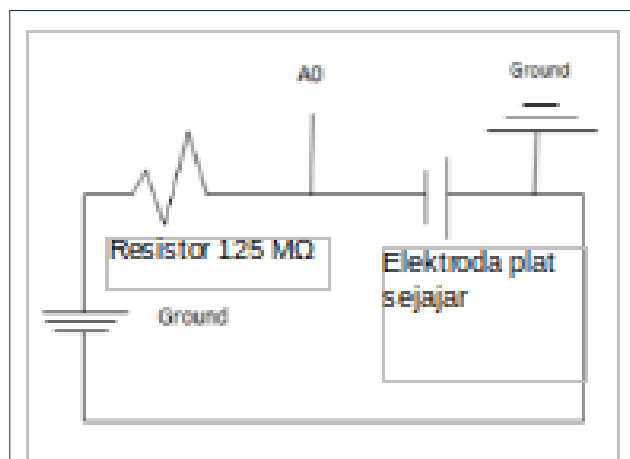
Sampel kain	Spesifikasi kain	Gramasi kain (gram/m ²)
Sampel A	Berbahan serat polipropilen 100%	31,44
Sampel B		43,72
Sampel C		52,31
Sampel D	Non woven - spunbond	74,12
Sampel E		80,87

Gambar 5. Tegangan sumber V_s yang digunakan adalah sebesar 5 Volt. Gambar 5 menunjukkan rangkaian kapasitor dan sensor yang tersusun dalam rangkaian seri, yang terhubung pada Pin A0, Pin 5V dan pin GND. Skema pada proses discharging kapasitor dapat dilihat sesuai dengan Gambar 6.

Pengukuran konstanta dielektrik dilakukan sesuai dengan ilustrasi pada Gambar 7.



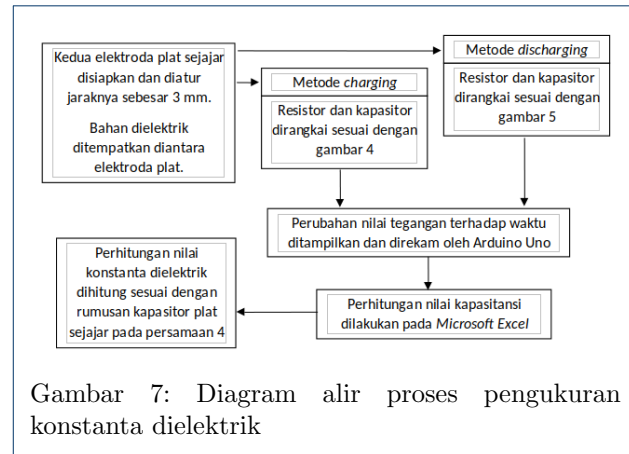
Gambar 5: Rangkaian sistem pengukuran kapasitansi pada proses pengisian kapasitor (*charging*)



Gambar 6: Rangkaian sistem pengukuran kapasitansi pada proses pengosongan kapasitor (*discharging*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

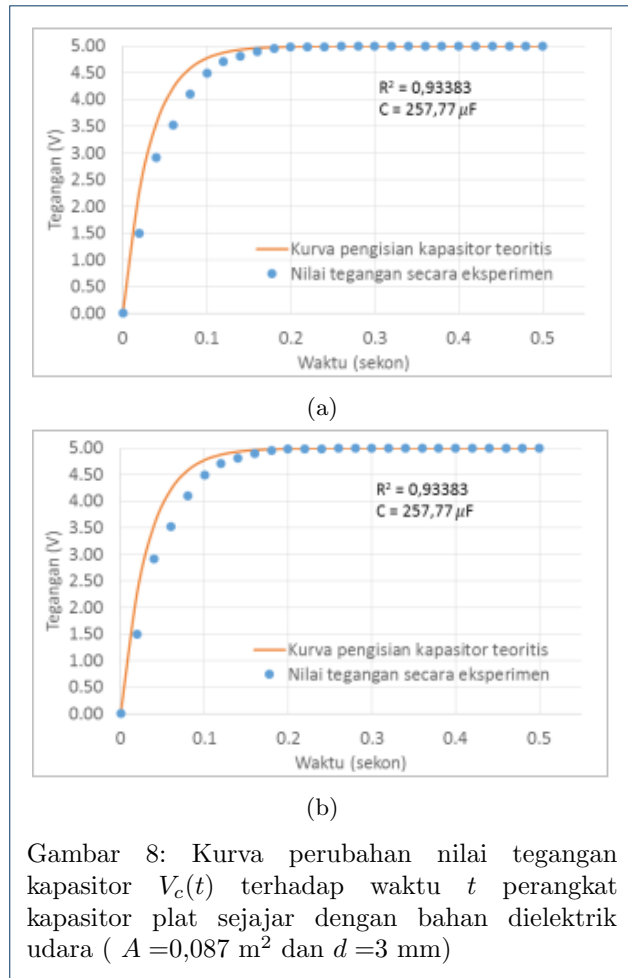
Pada penelitian ini telah diukur nilai kapasitansi dari perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik udara. Nilai kapasitansi dilakukan Hasil *fitting* data menunjukkan bahwa perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik udara dengan nilai $d=3$ mm memiliki nilai kapasitansi sebesar $257,77 \mu\text{F}$ (*charging*) dan $258,01 \mu\text{F}$ (*discharging*), dengan nilai R^2 masing-masing sebesar $0,933$ (*charging*) dan $0,9733$ (*discharging*). Nilai kapasitansi diperoleh berdasarkan kurva perubahan nilai tegangan kapasitor terhadap



Gambar 7: Diagram alir proses pengukuran konstanta dielektrik

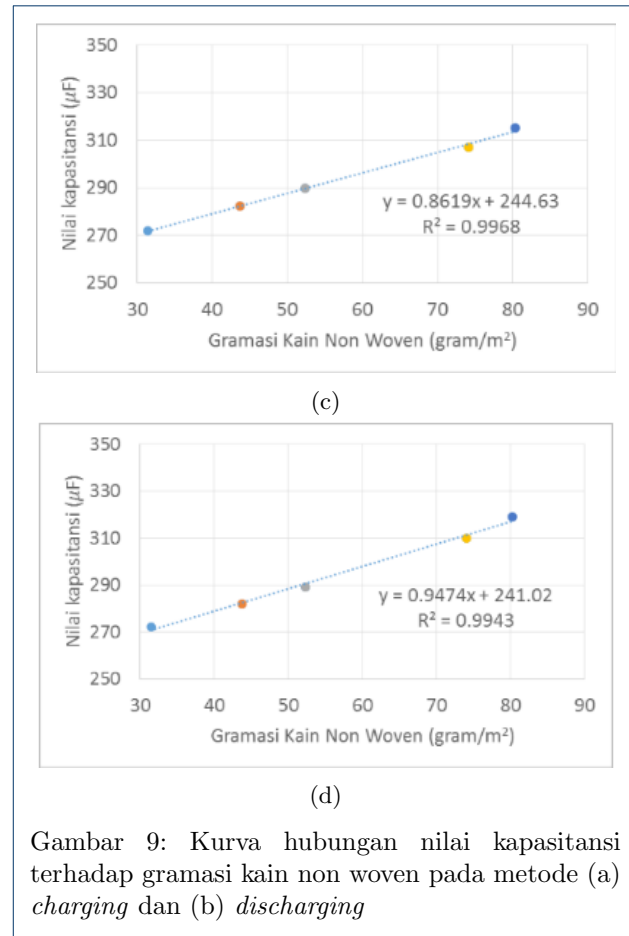
waktu sesuai dengan data pada Gambar 8. Didapatkan nilai R^2 lebih besar dari $0,9$, hal tersebut menunjukkan kesesuaian yang cukup tinggi antara kurva pengisian dan pengosongan secara teoritis dan data secara eksperimen. Hasil nilai pengukuran kapasitansi kapasitor plat sejajar pada metode *charging* dan *discharging* menunjukkan nilai yang mendekati, hal tersebut sesuai dengan rumusan perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada persamaan 5 dan 6 [29, 30]. Dengan luasan elektroda kapasitor (A) sebesar $0,087 \text{ m}^2$ dan $d=3$ mm, serta nilai kapasitansi yang diperoleh dari hasil pengukuran, maka nilai konstanta dielektrik udara dapat diketahui. Telah didapatkan nilai konstanta dielektrik udara (ϵ_r) sebesar $1,005285$ (*charging*) dan $1,004366$ (*discharging*). Menurut [20], besarnya konstanta dielektrik udara pada keadaan standar adalah pada nilai $1,00059$. Berdasarkan hal tersebut, nilai konstanta dielektrik udara yang didapatkan mendekati dengan nilai pada literatur.

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran nilai kapasitansi dari perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain non woven. Tabel 3 menunjukkan kurva perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t dan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar dengan bahan dielektrik kain non woven. Masing-masing sampel kain non woven polipropilen pada Tabel 2 ditempatkan diantara kedua elektroda plat sejajar dengan jarak antar elektroda diatur sejauh 3 mm. Pengukuran kapasitansi dari perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain dilakukan secara metode *charging* dan *discharging*. Telah didapatkan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain pada kisaran $271,99 \text{ F}$ hingga $318,87\text{F}$, sesuai dengan grafik pada Gambar 9. Sesuai dengan data pengamatan pada Tabel 3, didapatkan nilai R^2 lebih besar dari $0,9$, hal tersebut menunjukkan kesesuaian yang cukup tinggi



antara kurva pengisian dan pengosongan secara teoritis dan data secara eksperimen. Hasil nilai pengukuran kapasitansi kapasitor plat sejajar pada metode charging dan discharging menunjukkan nilai yang mendekati, hal tersebut sesuai dengan rumusan perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t pada persamaan 5 dan 6 [29, 30]. Berdasarkan hasil pengamatan pada Tabel 3, telah diperoleh data nilai konstanta dielektrik kain non woven sesuai dengan data pada Tabel 4.

Telah ditemukan hubungan antara gramasi kain non woven terhadap nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar, yaitu $y = 0.8619x + 244.63$ dengan nilai kesesuaian $R^2=0.9968$ pada proses *charging*, sedangkan pada proses *discharging* diperoleh $y = 0.9474x + 241.02$ dengan kesesuaian $R^2=0.9943$. Semakin besar gramasi kain non woven yang digunakan sebagai bahan dielektrik, maka nilai kapasitansi perangkat kapasitor yang terukur akan semakin besar pula. Berdasarkan hasil pengukuran kapasitansi, telah diperoleh nilai konstanta dielektrik kain non woven sesuai dengan data pada Tabel



4. Semakin besar gramasi kain non woven yang digunakan sebagai bahan dielektrik, maka semakin besar pula nilai konstanta dielektrik yang diperoleh. Hasil serupa telah ditunjukkan oleh [33] pada pengukuran konstanta dielektrik material foam. Semakin besar kepadatan foam yang digunakan sebagai bahan dielektrik, maka semakin besar pula nilai kapasitansi yang diperoleh. Hal tersebut berkaitan dengan rasio udara dan material kain tekstil yang berperan sebagai bahan dielektrik pada kapasitor plat sejajar. Semakin besar jumlah serat atau kain yang berada diantara elektroda plat sejajar, maka akan diperoleh peningkatan konstanta dielektrik dari hasil pengukuran.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah ditemukan metode pengukuran kapasitansi dan konstanta dielektrik kain non woven polipropilen dengan prinsip kerja kapasitor plat sejajar berbasis Arduino Uno. Pada penelitian ini telah berhasil ditentukan konstanta dielektrik bahan kain non woven yang dilakukan dengan cara mengukur nilai

Tabel 3: Kurva perubahan nilai tegangan kapasitor $V_c(t)$ terhadap waktu t dan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar dengan bahan dielektrik kain non woven ($A=0,087 \text{ m}^2$ dan $d=3 \text{ mm}$)

Sampel	Metode pengisian (Charging)	Metode pengosongan (discharging)
A	<p>$R^2 = 0,93383$ $C = 257,77 \mu\text{F}$</p>	<p>$R^2 = 0,99361$ $C = 272,13 \mu\text{F}$</p>
B	<p>$R^2 = 0,99429$ $C = 282,22 \mu\text{F}$</p>	<p>$R^2 = 0,99378$ $C = 281,92 \mu\text{F}$</p>
C	<p>$R^2 = 0,99443$ $C = 289,71 \mu\text{F}$</p>	<p>$R^2 = 0,99671$ $C = 289,23 \mu\text{F}$</p>
D	<p>$R^2 = 0,99131$ $C = 307,03 \mu\text{F}$</p>	<p>$R^2 = 0,99509$ $C = 309,99 \mu\text{F}$</p>
E	<p>$R^2 = 0,99204$ $C = 315,14 \mu\text{F}$</p>	<p>$R^2 = 0,99799$ $C = 258,01 \mu\text{F}$</p>

Tabel 4: Nilai konstanta dielektrik kain non woven

Sampel	Gramasi Kain (gram/m ²)	Konstanta dielektrik kain non woven (ϵ_r)	
		Metode charging	Metode discharging
A	31.44	1.059770117	1.060315617
B	43.72	1.099629842	1.098460958
C	52.31	1.128813548	1.126943309
D	74.12	1.196298448	1.207831682
E	80.87	1.227897912	1.242431332

kapasitansi yang divariasikan terhadap jarak antara plat yang berisi bahan dielektrik kain non woven. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perilaku pengisian dan pengosongan perangkat kapasitor plat sejajar memiliki nilai $R^2 > 0,9$, yang menunjukkan korelasi cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen pada pengukuran kapasitansi. Telah ditemukan hubungan antara nilai kapasitansi terhadap gramasi kain yang dapat digunakan untuk aplikasi penentuan berat kain. Hasil yang diperoleh dapat direkomendasikan kepada pelaku industri non woven untuk aplikasi pengukuran gramasi kain non woven dengan metode non destruktif.

PENULIS

1 Andrian Wijayono

Dari :

(1) Program Studi Rekayasa Tekstil dan Apparel Politenik STTT Bandung

2 Valentinus Galih Vidia Putra

Dari :

(1) Laboratorium Fisika-Mekatronika Tekstil Politeknik STTT Bandung

Pustaka

- Guers C, Garef F, Xavier P, Huber P, Depres G, Artillan P, et al. Moisture Effect on the Characteristics of Cellulosic Material Made RF Lines. In: 91st ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG). IEEE; 2018. p. 1–4.
- Raghunathan SP, Narayanan S, Poulouse AC, Joseph R. Flexible regenerated cellulose/polypyrrole composite films with enhanced dielectric properties. *Carbohydrate polymers*. 2017;157:1024–1032.
- Takechi S, Teramoto Y, Nishio Y. Improvement of dielectric properties of cyanoethyl cellulose via esterification and film stretching. *Cellulose*. 2016;23(1):765–777.
- Ivanovska A, Cerovic D, Tadic N, Castvan IJ, Asanovic K, Kostic M. Sorption and dielectric properties of jute woven fabrics: Effect of chemical composition. *Industrial Crops and Products*. 2019;140:111632.
- Lv H, Wang X, Ma C, Ma L. Estimating the Dielectric Constant of Cellulose Acetate Fiber Aggregation with Its Components Volume Fraction. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. 2017;12(3).
- Bayraktar O, Uzer D, Gultekin SS, Top R. Usage of T-Resonator Method at Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials for Wearable Antenna Designs. In: *Materials Today: Proceedings* 18; 2019. p. 1796–1802.
- Eccleston KW, Scott SM, Brooksby PA, Fowler I, Sevier SA. Wool-Air Mix Permittivity Measurement. In: 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). IEEE; 2018. p. 902–904.
- Cholewinska P, Michalak M, Wyrostek A, Czyn K, Luczycka D. Influence of the content of impurities and greasy on the results of heat resistance and hair cover dielectricity on the basis of wool from Huacaya alpaca and Racka sheep. *Animal Science*. 2019;58(1).
- Liu Y, Li W, Zhao X. Influence of the Yarn Fineness and Stitch Length of Polyester Knitted Fabric on the Dielectric Constant. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2019;.
- Yuan D, Xu Y, Huang L, Ma J, Peng Q, Ren Y, et al. Novel prominent nylon-1 with excellent dielectric properties and a high Curie point. *Journal of Materials Chemistry C*. 2019;7(6):1641–1650.
- Matsuda Y, Oishi T, Barique MA, Tasaka S. Crystalline structure and the unusual dielectric behavior of nylon 93. *Polymer Journal*. 2019;51(4):433–438.
- Mirzaee M, Noghianian S. 3D printed antenna using biocompatible dielectric material and graphene. In: *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE; 2017. p. 2543–2544.
- Mukherjee PK. Dielectric properties in textile materials: a theoretical study. *The journal of the Textile Institute*. 2019;110(2):211–214.
- Mukai Y, Dickey EC, Suh M. Low frequency dielectric properties related to structure of cotton fabrics. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 2020;27(1):314–321.
- Gang Y, Entao Y, Shencun H, Ning J. The research on high sensitivity and anti-saturation of capacitance sensors for measuring yarn evenness. In: 2016 10th International Conference on Sensing Technology (ICST). IEEE; 2016. p. 1–6.
- Walker PH. The Electronic Measurement of Sliver, Roving, and Yarn Irregularity, With Special Reference to The Use of The Fielden Bridge Circuit. *Journal of the Textile Institute Proceedings*. 1950;41(7):446–466.
- Feller P. U.S. Patent No. 4,051,722. U.S. Patent and Trademark Office.; 1977.
- David DJ, Mishra A. Relating Material Properties to Structure: Handbook and Software for Polymer Calculations and Materials Properties. CRC Press; 1999.
- Allagui A, Elwakil AS, Fouda ME, Radwan AG. Capacitive behavior and stored energy in supercapacitors at power line frequencies. *Journal of Power Sources*. 2018;390:142–147.
- Halliday D, Resnick R, Walker. *Fundamentals of Physics-Extended*. 5th ed. New York: John Wiley & Sons; 1997.
- Arshad A, Khan S, Alam AHMZ, Tasnim R, Gunawan TS, Ahmad R, et al. An activity monitoring system for senior citizens living independently using capacitive sensing technique. In: *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*; 2016. .
- Mukhopadhyay SC. Wearable Sensors for Human Activity Monitoring: A Review. *IEEE Sensors Journal*. 2015;15(3):1321–1330.
- Min SD, Yun Y, Shin H. Simplified Structural Textile Respiration Sensor Based on Capacitive Pressure Sensing Method. *IEEE Sensors Journal*. 2014;14(9):3245–3251.
- Hoffmann T, Eilebrecht B, Leonhardt S. Respiratory Monitoring System on the Basis of Capacitive Textile Force Sensors. *IEEE Sensors Journal*. 2011;11(5):1112–1119.
- Cheng J, Amft O, Bahle G, Lukowicz P. Designing Sensitive Wearable Capacitive Sensors for Activity Recognition. *IEEE Sensors Journal*. 2013;13(10):3935–3947.
- Lee HJ, Hwang SH, Yoon HN, Lee WK, Park KS. Heart Rate Variability Monitoring during Sleep Based on Capacitively Coupled Textile Electrodes on a Bed. *Sensors*. 2015;15(5):11295–11311.
- Salvo P, Di Francesco F, Costanzo D, Ferrari C, Trivella MG, De Rossi D. A Wearable Sensor for Measuring Sweat Rate. *IEEE Sensors Journal*. 2010;10(10):1557–1558.
- Kondalkar VV, Ryu G, Lee Y, Lee K. Development of highly sensitive and stable humidity sensor for real-time monitoring of dissolved

- moisture in transformer-insulating oil. *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2019;286:377–385.
29. Putra VGV, Purnomosari E. *Pengantar Listrik Magnet Dan Terapannya*. CV. Mulia Jaya; 2016.
 30. Putra VGV, Wijayono A, Purnomosari E, Ngadiono N, Irwan I. Metode Pengukuran Kapasitansi Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*. 2019;3(1):36–45.
 31. Senthilkumar M, Kumar LA. Non destructive fabric weight measurement using capacitance principle. *International Journal of Clothing Science and Technology*. 2016;28(5):690–698.
 32. ASTM. Standard test methods for mass per unit area (weight) of fabric, ASTM D3776/ D3776M - 09a.; 2013. Available from: www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D3776-07.htm.
 33. Knott EF. Dielectric constant of plastic foams. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 1993;41(8):1167–1171.