

STUDI PENGUKURAN KONSTANTA DIELEKTRIK KAIN RAJUT PAKAN POLIESTER DAN KATUN MENGGUNAKAN METODE KAPASITANSI PERANGKAT KAPASITOR PLAT SEJAJAR

Taufik Munandar¹, Wiah Wardiningsih¹, Valentinus Galih Vidia Putra^{*2}

¹ Program Studi Rekayasa Tekstil dan Apparel, Politeknik STTT Bandung

² Jurusan Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung

Jalan Jakarta No.31 Bandung

Corresponding author e-mail^{*2}: valentinus@kemenperin.go.id

Diterima 29 September 2020

Direvisi 8 Desember 2020

Disetujui 20 Desember 2020

Dipublikasikan 29 Desember 2020

<https://doi.org/10.33369/jkf.3.3.223-231>

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan penentuan konstanta dielektrik material kain rajut pakan menggunakan metode kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar. Kain rajut pakan telah dibuat dengan menggunakan mesin rajut datar Stoll tipe CMS 530HP. Enam sampel kain rajut poliester dan katun telah dibuat pada mesin rajut terkomputerisasi dengan kerapatan yang berbeda-beda. Terdapat tiga jenis kerapatan kain rajut yang telah dibuat pada penelitian ini. Pengukuran kapasitansi terdiri dari perangkat mikrokontroler Arduino Uno dan susunan seri resistor-kapasitor (RC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kain rajut katun NP10 memiliki konstanta dielektrik yang lebih besar dibandingkan dengan kain poliester pada struktur kain yang sama. Hasil menunjukkan korelasi yang cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen pada pengukuran kapasitansi. Terdapat enam bahan dielektrik yang dihasilkan dari yang terbesar sampai yang terkecil berturut-turut yaitu kain rajut katun NP 10 ($22,8874 \pm 4,6388$), kain rajut katun NP 11 ($21,4717 \pm 3,8064$), kain rajut katun NP 12 ($17,8721 \pm 2,3233$), kain rajut poliester NP 10 ($9,7751 \pm 2,4922$), kain rajut poliester NP 11 ($8,8282 \pm 0,9360$) dan kain rajut poliester NP 12 ($8,4358 \pm 1,1849$). Telah ditemukan melalui data ini yang memberikan hubungan antara parameter kerapatan kain rajut pakan terhadap nilai konstanta dielektrik terukur. Kata kunci—katun, kerapatan kain, konstanta dielektrik, kapasitor plat-sejajar, poliester.

ABSTRACT

This paper describes the dielectric measurement of weft knitted fabric using parallel-plate capacitance method. The weft knitted fabric were fabricated using weft knit machine Stoll CMS 530HP. Six different samples of polyester and cotton knitted fabric were fabricated by computerized flat knitting machine. There are consist of three types of density which made on this study. The capacitance measurement were consist of Arduino Uno microcontroller and a series of resistor-capacitor (RC). The result of this research indicates that NP10 cotton knitted fabric has higher dielectric constant than the polyester knitted fabric, with similar structure respectively. There are six fabric dielectric materials that are determined with the results from the largest to the smallest in a row namely NP 10 cotton knitted fabric ($22,8874 \pm 4,6388$), NP 11 cotton knitted fabric ($21,4717 \pm 3,8064$), NP 12 cotton knitted fabric ($17,8721 \pm 2,3233$), NP 10 polyester knitted fabric ($9,7751 \pm 2,4922$), NP 11 polyester knitted fabric ($8,8282 \pm 0,9360$) and NP 12 polyester knitted fabric ($8,4358 \pm 1,1849$). It has been found the correlation between the fabric density and the permittivity of the weft knitted fabric.

Keywords—cotton, fabric density, dielectric constant, parallel-plate capacitor, polyester.

I. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya kepedulian lingkungan terhadap radiasi gelombang mikro dan teknologi siluman untuk platform militer, bahan penyerap gelombang mikro telah menarik banyak perhatian (1–3). Kain serap gelombang mikro secara luas dipelajari tidak hanya di bidang militer untuk teknologi siluman, tetapi juga dalam aspek sipil untuk menghindari polusi emisi radiasi gelombang elektromagnetik yang berasal dari berbagai peralatan elektronik (4). Pada tahun-tahun terakhir, sifat-sifat kain yang dilapisi dengan bahan penyerap gelombang radiasi elektromagnetik telah

diselidiki (5,6). Sifat penyerap gelombang elektromagnetik dari sebuah kain dapat dievaluasi oleh sifat konstanta dielektrik atau permitivitas dielektrik material kain (7).

Pengamatan mengenai sifat dielektrik telah dilakukan oleh berbagai peneliti untuk berbagai aplikasi, seperti pada pengukuran konstanta dielektrik material kain selulosa (8–13), material kain protein (14–16) dan serat sintetis (17–20). Sifat dielektrik pada material kain telah diamati dalam kaitannya dari upaya untuk mengurangi fenomena listrik statis pada bahan material tekstil (21)

Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran konstanta dielektrik kain rajut pakan dengan jenis bahan baku dan jenis kerapatan jeratan rajutan yang berbeda. Jenis bahan baku kain yang telah digunakan pada penelitian ini merupakan bahan katun dan poliester. Kain rajut dibuat dengan menggunakan mesin STOLL tipe CMS 530HP dengan gauge 14G. Tujuan penelitian ini adalah menentukan konstanta dielektrik dari bahan kain rajut jenis bahan baku dan kerapatan jeratan yang berbeda, serta menentukan hubungan dari masing-masing variabel terhadap konstanta dielektrik bahan.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Material dan Instrumen

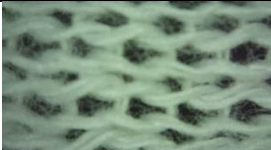
Pada penelitian ini telah digunakan dua jenis bahan baku benang untuk membuat kain rajut, yaitu benang gintir katun 100% dan benang gintir poliester 100%. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi benang rajut yang digunakan untuk membuat kain rajut pakan. Proses perajutan dilakukan dengan menggunakan mesin rajut datar terkomputerisasi Stoll tipe CMS 530HP dengan gauge 14G. Spesifikasi sampel kain rajut pakan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi benang bahan baku kain rajut

Jenis Benang	Nomor Benang/ Kehalusan Benang
Benang gintir kapas 100%	$(58 \pm 1,21)$ gram/1000 m
Benang gintir poliester 100%	$(58 \pm 1,78)$ gram/1000 m

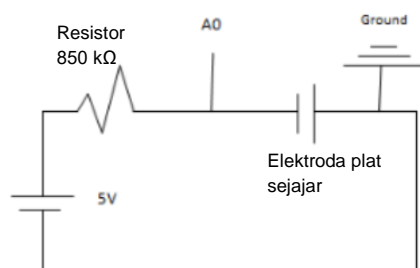
Tabel 2. Spesifikasi sampel kain rajut pakan

Sampel Kain	Bahan baku	Pengaturan kerapatan kain (NP)	Course per inci (jeratan/inci)	Wale per inci (jeratan/inci)	Gramasi (gram/m ²)
K10	Benang gintir kapas 100%	10	$(28 \pm 0,5)$	$(17,5 \pm 0,5)$	$(141,467 \pm 4,212)$
K11		11	$(21 \pm 0,5)$	$(17,5 \pm 0,5)$	$(112,521 \pm 3,188)$
K12		12	$(14,5 \pm 0,5)$	$(17,8 \pm 0,5)$	$(87,992 \pm 4,212)$
P10	Benang gintir poliester 100%	10	$(29,5 \pm 0,5)$	$(17,5 \pm 0,5)$	$(147,221 \pm 5,981)$
P11		11	$(21,5 \pm 0,5)$	$(17,3 \pm 0,5)$	$(109,652 \pm 5,322)$

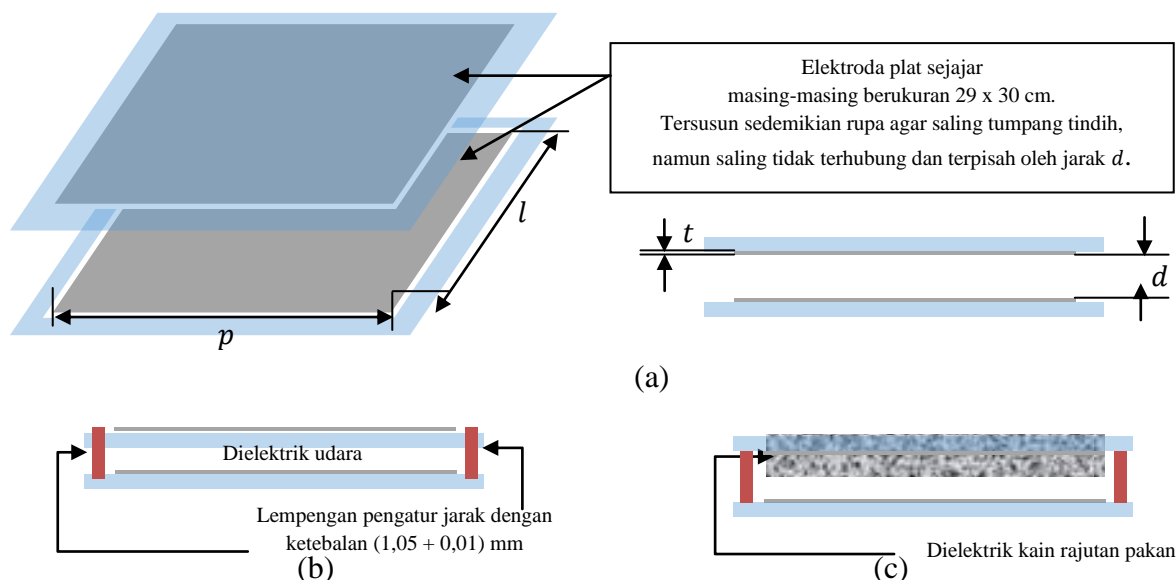
Sampel Kain	Bahan baku	Pengaturan kerapatan kain (NP)	Course per inci (jeratan/inci)	Wale per inci (jeratan/inci)	Gramasi (gram/m ²)
P12		12	(15 ± 0,5)	(17,5 ± 0,5)	(83,498 ± 5,029)

2.2 Pengukuran Konstanta Dielektrik

Pengukuran konstanta dielektrik kain telah dilakukan dengan menggunakan metode kapasitansi perangkat elektroda plat sejajar berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Pengukuran kapasitansi telah dilakukan dengan prinsip pengisian kapasitor (*charging*) menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino Uno. Proses pengisian (*charging*) telah dilakukan dengan susunan seri rangkaian resistor-kapasitor (RC) dan tegangan sumber 5 Volt yang berasal dari perangkat mikrokontroler. Pada eksperimen ini telah digunakan sebuah plat sejajar dengan ukuran 29 × 30 cm sebagai elektroda kapasitor, serta sebuah perangkat resistor dengan ukuran 850 kΩ. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi rangkaian resistor-kapasitor yang telah digunakan pada metode kapasitansi untuk mengukur konstanta dielektrik kain rajut pakan. Ilustrasi konfigurasi elektroda plat sejajar pada pengukuran konstanta dielektrik ditunjukkan pada Gambar 2. Tabel 3 menunjukkan spesifikasi elektroda plat sejajar yang digunakan.



Gambar 1. Rangkaian sistem pengukuran kapasitansi pada proses pengisian kapasitor (*charging*)



Gambar 2. (a) Elektroda plat sejajar; (b) ilustrasi pengukuran konstanta dielektrik udara; (c) ilustrasi pengukuran konstanta dielektrik kain rajut pakan

Tabel 3. Desain spesifikasi elektroda plat sejajar

Parameter	Ukuran
Panjang elektroda (p)	(30 ± 0,05) cm
Lebar elektroda (l)	(29 ± 0,05) cm
Tebal elektroda (t)	(0,51 ± 0,01) mm

Parameter	Ukuran
Jarak antar elektroda (d)	$(1,05 \pm 0,01)$ mm

Penentuan konstanta dielektrik (ϵ_r) kain rajut pakan pada perangkat kapasitor plat sejajar dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan (1) dengan C merupakan kapasitansi hasil pengukuran, ϵ_0 merupakan konstanta permitivitas vakum, A merupakan luasan area plat konduktor, serta d merupakan jarak antar plat konduktor. Penentuan konstanta dielektrik material telah dilakukan menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino yang merekam data perubahan tegangan kapasitor tiap satuan waktu dan menampilkan perubahan tegangan melalui *serial monitor*.

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

Besar perubahan nilai tegangan perangkat kapasitor plat sejajar terhadap satuan waktu t pada proses *charging* dapat dituliskan sesuai dengan persamaan (2) [9].

$$V_c(t) = V_s \left(1 - e^{-\frac{t d}{R \epsilon_0 \epsilon_r A}} \right) = V_s (1 - e^{-tb}) \quad (2)$$

Berdasarkan data perubahan nilai tegangan kapasitor yang telah direkam oleh perangkat mikrokontroler, maka dapat dicari nilai b dengan menggunakan *fitting* data. Nilai b merupakan nilai yang mewakili rumusan pada persamaan (3).

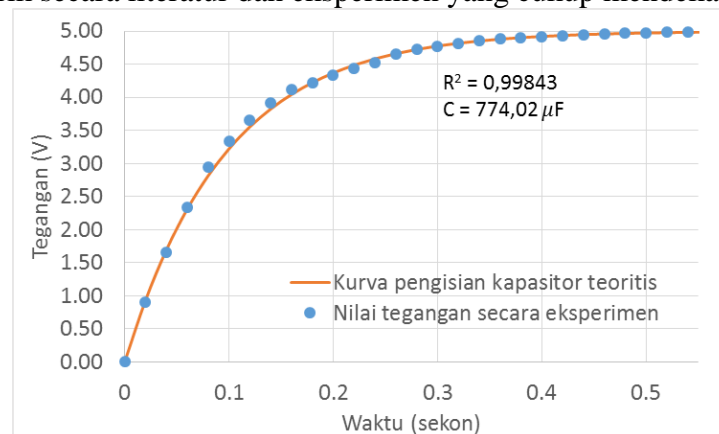
$$b = \frac{d}{R \epsilon_0 \epsilon_r A} \quad (3)$$

Dengan mengetahui nilai variabel A (luasan area), R (besar resistor yang digunakan), d (jarak antar plat konduktor) dan ϵ_0 (konstanta permitivitas relatif), maka besarnya nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) bahan dapat diketahui sesuai dengan persamaan (4).

$$\epsilon_r = \frac{d}{R \epsilon_0 b A} \quad (4)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar berdielektrik udara telah diamati pada studi ini. Nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar berdielektrik udara telah diperoleh dari hasil fitting data sebesar $774,02 \mu\text{F}$ (*charging*) dengan nilai $d = (1,05 \pm 0,01)$. Hasil ini menunjukkan kesesuaian (R^2) antara prediksi dan hasil eksperimen untuk nilai kapasitansi pada proses *charging* sebesar 0,99843, yang menunjukkan kesesuaian yang cukup baik antara prediksi dan eksperimen. Perilaku perubahan nilai $V_c(t)$ sebagai fungsi t dapat dilihat pada data Gambar 3. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik udara (ϵ_r) yang terukur pada proses *charging* adalah sebesar 1,0053. Konstanta dielektrik udara (ϵ_r) pada keadaan standar secara literatur berada pada nilai 1,00059 [10], sehingga nilai konstanta dielektrik secara literatur dan eksperimen yang cukup mendekati.

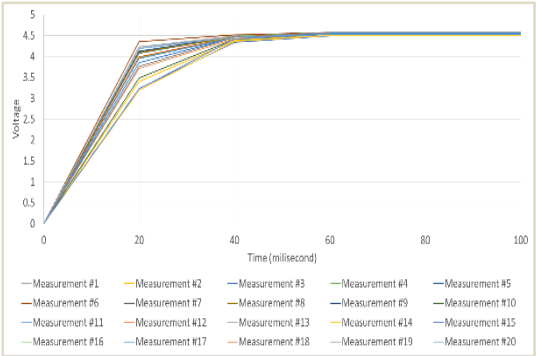
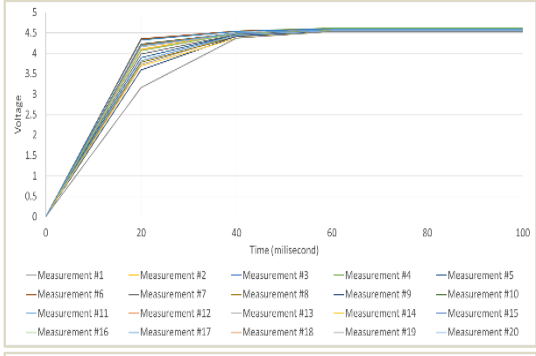
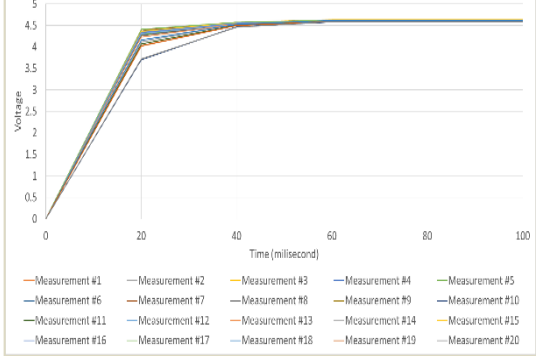
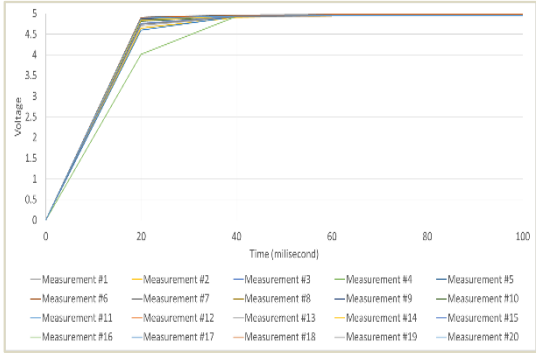


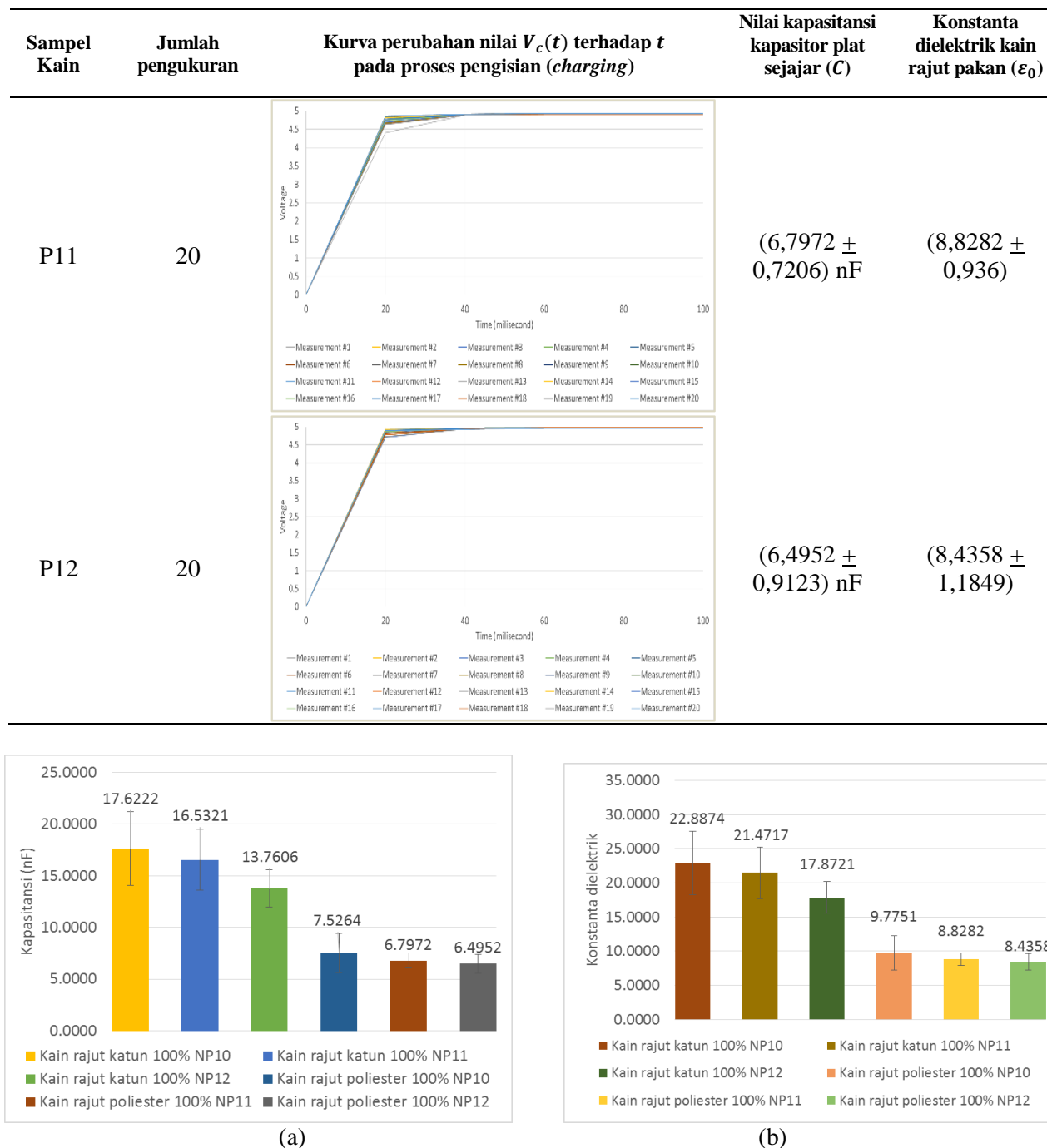
Gambar 3. Kurva perubahan nilai $V_c(t)$ terhadap t dengan bahan dielektrik udara ($A = 0,087 \text{ m}^2$ dan $d = 1 \text{ mm}$)

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran konstanta dielektrik dan nilai kapasitansi setiap sampel

kain rajut pakan. Pada penelitian ini telah didapatkan nilai kapasitansi kapasitor dengan dielektrik kain rajut pada kisaran 17,6222 nF hingga 6,4952 nF, sesuai dengan grafik pada Gambar 4. Pada penelitian ini berdasarkan data pengamatan pada Gambar 4, telah didapatkan nilai R^2 lebih besar dari 0,9 untuk setiap pengukuran. Berdasarkan hasil pengamatan pada Gambar 4 (a), telah diperoleh data nilai konstanta dielektrik kain rajut pakan pada kisaran 22,8874 hingga 8,4358 sesuai dengan data pada Gambar 4 (b).

Tabel 4. Hasil pengukuran konstanta dielektrik dan nilai kapasitansi setiap sampel kain rajut pakan

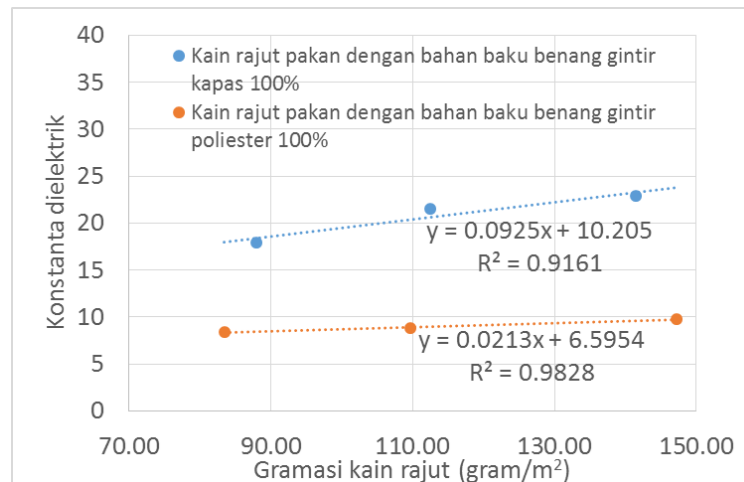
Sampel Kain	Jumlah pengukuran	Kurva perubahan nilai $V_c(t)$ terhadap t pada proses pengisian (<i>charging</i>)	Nilai kapasitansi kapasitor plat sejajar (C)	Konstanta dielektrik kain rajut pakan (ϵ_0)
K10	20		$(17,6222 \pm 3,5716) \text{ nF}$	$(22,8874 \pm 4,6388)$
K11	20		$(16,5321 \pm 2,9302) \text{ nF}$	$(21,4717 \pm 3,8064)$
K12	20		$(13,7606 \pm 1,7888) \text{ nF}$	$(17,8721 \pm 2,3233)$
P10	20		$(7,5264 \pm 1,9188) \text{ nF}$	$(9,7751 \pm 2,4922)$



Gambar 4. (a) Perbandingan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar dan (b) nilai konstanta dielektrik ϵ_r sampel kain rajut pakan berbahan katun dan poliester dengan variasi kerapatan

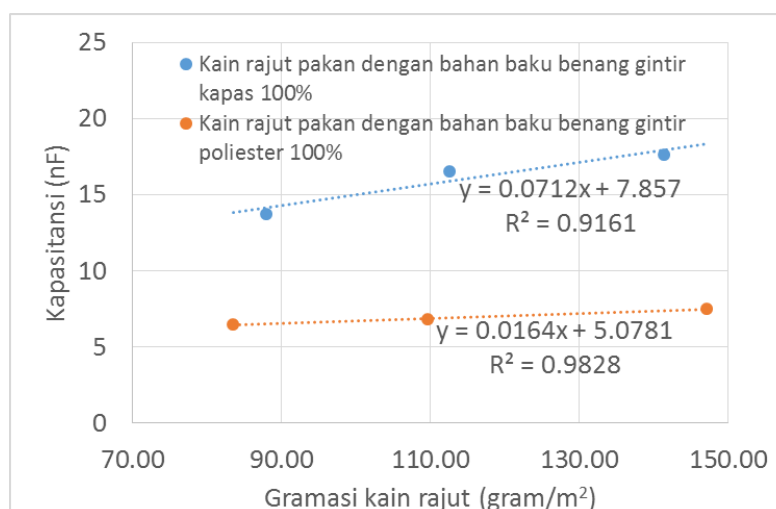
Gambar 5 merupakan data hasil pengukuran konstanta dielektrik setiap sampel kain rajut pakan yang dihubungkan dengan parameter gramasi kain rajut pakan. Pada penelitian ini telah ditemukan hubungan antara gramasi kain rajut pakan terhadap nilai konstanta dielektrik bahan, yaitu $y = 0,0925x + 10,205$ untuk kain rajut pakan dengan bahan baku benang gintir kapas 100% dengan nilai kesesuaian $R^2 = 0.9161$ dan $y = 0,0213x + 6,5954$ untuk kain rajut pakan dengan bahan baku benang gintir poliester 100% dengan nilai kesesuaian $R^2 = 0.9828$. Telah ditemukan bahwa semakin besar gramasi kain rajut pakan untuk bahan yang sama, maka nilai konstanta dielektrik bahan yang terukur akan semakin besar. Pada penelitian ini juga telah diperoleh nilai kapasitansi perangkat plat sejajar berdielektrik kain rajut sesuai dengan data pada Tabel 4 dan Gambar 6. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar gramasi kain rajut pakan yang digunakan sebagai bahan dielektrik pada perangkat kapasitor plat sejajar, maka semakin besar pula nilai kapasitansi yang diperoleh. Merujuk pada hasil peneliti, semakin besar kepadatan material yang berperan sebagai

bahan dielektrik, maka akan semakin besar pula nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik yang diperoleh [10]. Knott [10] menyatakan bahwa semakin besar densitas material *foam* yang digunakan sebagai bahan dielektrik, maka semakin besar pula nilai kapasitansi dan konstanta dielektrik yang diperoleh. Hasil serupa telah diperoleh pada penelitian ini, bahwa semakin besar kepadatan kain akan menghasilkan konstanta dielektrik yang lebih besar. Telah didapatkan hasil bahwa kain rajut pakan berbahan katun akan memiliki konstanta dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kain rajut pakan berbahan poliester, sesuai dengan hasil pada grafik Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan nilai konstanta dielektrik ϵ_r terhadap gramasi kain rajut pakan berbahan katun dan poliester

Gambar 6 menunjukkan data hasil pengukuran nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik sampel kain rajut pakan yang dihubungkan dengan parameter gramasi kain rajut pakan. Pada penelitian ini telah ditemukan hubungan antara gramasi kain kain rajut pakan terhadap nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar, yaitu $y = 0,0712x + 7.857$ untuk kain rajut pakan dengan bahan baku benang gintir kapas 100% dengan nilai kesesuaian $R^2 = 0.9161$ dan $y = 0,0164x + 5,0781$ untuk kain rajut pakan dengan bahan baku benang gintir poliester 100% dengan nilai kesesuaian $R^2 = 0.9828$. Kain rajut pakan berbahan baku katun memiliki nilai kapasitansi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kain rajut pakan berbahan baku poliester. Hal tersebut disebabkan karena kain rajut pakan berbahan baku katun memiliki nilai konstanta dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kain rajut pakan berbahan baku poliester.



Gambar 6. Hubungan nilai kapasitansi perangkat kapasitor plat sejajar berdielektrik kain rajut pakan terhadap gramasi kain (dengan bahan baku katun dan poliester)

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan pengukuran konstanta dielektrik kain rajut pakan dengan metode kapasitansi dan perangkat kapasitor plat sejajar. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perilaku *charging* perangkat kapasitor plat sejajar dengan nilai R square lebih besar dari 0,9, yang menunjukkan korelasi cukup baik antara hasil prediksi dan eksperimen. Pengukuran konstanta dielektrik udara sebagai pembanding telah berhasil ditentukan dengan nilai yang mendekati hasil pada literatur, yaitu sebesar 1,0053. Nilai kapasitansi, kurva perubahan tegangan untuk tiap satuan waktu pada perangkat kapasitor, serta konstanta dielektrik bahan telah berhasil didapatkan pada studi ini. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin besar kerapatan kain rajut pakan akan memiliki nilai kapasitansi dan nilai konstanta dielektrik yang lebih besar. Hasil menunjukkan bahwa kain rajut pakan berbahan katun memiliki konstanta dielektrik yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kain rajut pakan berbahan poliester. Konstanta dielektrik bahan terbesar diraih oleh kain rajut pakan berbahan katun berkonstruksi kerapatan $28 \pm 0,5$ jeratan per inci dengan nilai 22,8874, sedangkan konstanta dielektrik terkecil dimiliki oleh kain rajut pakan berbahan poliester berkonstruksi kerapatan $15 \pm 0,5$ jeratan per inci dengan nilai 8,4358. Hasil rumusan hubungan konstruksi dan bahan kain rajut pakan terhadap konstanta dielektrik bahan dapat digunakan lebih lanjut untuk menentukan dan mendesain kain rajut pakan sebagai material dielektrik.

4.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan tinjauan lebih lanjut mengenai pengaruh kehalusan benang (nomor benang) terhadap parameter konstanta dielektrik kain yang diperoleh. Diperlukan tinjauan lebih lanjut mengenai pengaruh kerapatan kain pada rentang nilai lainnya terhadap konstanta dielektrik bahan, sehingga dapat dirumuskan hubungan antar parameter yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Laboratorium Fisika-Mekatronika dan Laboratorium Perajutan Politeknik STTT Bandung serta rekan-rekan dosen dan mahasiswa, seperti Andrian Wijayono, S.Tr.T., M.T. yang telah memberikan dukungan dan bantuan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Kim SS, Han DH, Cho SB. Microwave absorbing properties of sintered Ni-Zn ferrite. IEEE Trans Magn. 1994;30(6):4554–6.
2. Yang Y, Gupta MC, Dudley KL, Lawrence RW. Novel carbon nanotube– polystyrene foam composites for electromagnetic interference shielding. Nano Lett. 2005;5(11):2131–4.
3. Zhang XZ, Sun W. Microwave absorbing properties of double- layer cementitious composites containing Mn-Zn ferrite. Cem Concr Compos. 2010;32:726–30.
4. Hashisho Z, Rood MJ, Barot S, Bernhard J. Role of functional groups on the microwave attenuation and electric resistivity of activated carbon fiber cloth. Carbon N Y. 2009;47(7):1814–23.
5. Folgueras LDC, Nohara EL, Faez R, Rezende MC. Dielectric microwave absorbing material processed by impregnation of carbon fiber fabric with polyaniline. Mater Res. 2007;10(1):95–9.
6. Park KY, Lee SE, Kim CG, Han JH. Application of MWNT-added glass fabric/epoxy composites to electromagnetic wave shielding enclosures. Compos Struct. 2007;81(3):401–6.
7. Liu YJ, Zhao XM. The Research on the Dielectric Constant of Polyester Knitted Fabrics.

Adv Mater Res. 2015;1089:42–5.

8. Guers C, Garet F, Xavier P, Huber P, Depres G, Artillan P, et al. Moisture Effect on the Characteristics of Cellulosic Material Made RF Lines. In: ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG). 2018. p. 1–4.
9. Kombolias M, Obrzut J, Postek MT, Poster DL, Obeng YS. Contactless Resonant Cavity Dielectric Spectroscopic Studies of Cellulosic Paper Aging. *Anal Lett*. 2020;53(3):424–35.
10. Raghunathan SP, Narayanan S, Poulose AC, Joseph R. Flexible regenerated cellulose/polypyrrole composite films with enhanced dielectric properties. *Carbohydr Polym*. 2017;157:1024–32.
11. Takechi S, Teramoto Y, Nishio Y. Improvement of dielectric properties of cyanoethyl cellulose via esterification and film stretching. *Cellulose*. 2016;23(1):765–77.
12. Ivanovska A, Cerovic D, Tadic N, Castvan IJ, Asanovic K, Kostic M. Sorption and dielectric properties of jute woven fabrics: Effect of chemical composition. *Ind Crops Prod*. 2019;140:111632.
13. Lv H, Wang X, Ma C, Ma L. Estimating the Dielectric Constant of Cellulose Acetate Fiber Aggregation with Its Components Volume Fraction. *J Eng Fiber Fabr*. 2017;12(3).
14. Bayraktar Ö, Uzer D, Gültekin SS, Top R. Usage of T-Resonator Method at Determination of Dielectric Constant of Fabric Materials for Wearable Antenna Designs. In: *Materials Today: Proceedings*. 2019. p. 1796–802.
15. Eccleston KW, Scott SM, Brooksby PA, Fowler I, Sevier SA. Wool-Air Mix Permittivity Measurement. In: *Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*. 2018. p. 902–4.
16. Cholewińska P, Michalak M, Wyrostek A, Czyż K, Łuczycka 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. *Anim Sci*. 2019;58(1):58.
17. Liu Y, Li W, Zhao X. Influence of the Yarn Fineness and Stitch Length of Polyester Knitted Fabric on the Dielectric Constant. *Fibres Text East Eur*. 2019;138(6):63–6.
18. Yuan D, Xu Y, Huang L, Ma, J., Peng Q, Ren Y, Cai X. Novel prominent nylon-1 with excellent dielectric properties and a high Curie point,. *J Mater Chem*. 2019;7(6):1641–50.
19. Matsuda Y, Oishi T, Barique MA, Tasaka S. Crystalline structure and the unusual dielectric behavior of nylon 93. *Polym J*. 2019;51(4):433–8.
20. Mirzaee M, Noghanian S. printed antenna using biocompatible dielectric material and graphene. *Science Meeting*, hal. In: *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio*. 2017. p. 2543–4.
21. Hearle JW, Morton WE. *Physical properties of textile fibres*. Elsevier.