



## Kajian Teoritis Pengaruh Jenis Material Dielektrik Terhadap Penurunan Tegangan Listrik Kapasitor

Gede Wiratma Jaya<sup>1\*</sup>, Sanny Virginia Aponno<sup>2</sup>, Carolina Sri Athena Barus<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Maluku, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pattimura, Ambon, Maluku, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Pattimura, Ambon, Maluku, Indonesia

\* E-mail: gedewiratmajaya.unpatti@gmail.com

### Abstract

This study examines the influence of the dielectric constant of various types of materials, such as activated carbon, chicken fat, and polyester knitted fabric, on the decrease in capacitor voltage within a series resistor-capacitor (RC) circuit using a theoretical approach. Based on the research results, it is shown that to decrease the voltage value from 12 Volts to near 0 Volts, each dielectric material requires a different time in microsecond ( $\mu s$ ) or  $10^{-6}$  seconds. The time required for the electric voltage of the capacitor to decrease from 12 Volts to 6 Volts (50%) for each dielectric, such as activated carbon, chicken fat, and polyester knitted fabric are 73.56  $\mu s$ , 222.80  $\mu s$ , and 294.93  $\mu s$ , respectively. The decrease in voltage caused by the discharge of electric charge from a capacitor over time depends on the choice of dielectric material used. This is because the compound composition and morphological structure of the material's fibers significantly influence the dielectric constant value, which is directly proportional to the decrease in electrical voltage. Therefore, a capacitor's ability to maintain a certain capacitance over a specific period is in accordance with its utilization needs in an electrical circuit.

**Keywords:** Dielectric Material, Electric Voltage, Capacitor

### Abstrak

Penelitian ini meneliti pengaruh konstanta dielektrik dari berbagai jenis bahan, seperti karbon aktif, lemak ayam, dan kain rajut poliester, terhadap penurunan tegangan kapasitor dalam rangkaian resistor-kapasitor (RC) seri menggunakan pendekatan teoretis. Berdasarkan hasil penelitian, ditunjukkan bahwa untuk menurunkan nilai tegangan dari 12 Volt ke hampir 0 Volt, setiap bahan dielektrik memerlukan waktu yang berbeda dalam mikrodetik ( $\mu s$ ) atau  $10^{-6}$  detik. Waktu yang diperlukan untuk menurunkan tegangan listrik kapasitor dari 12 Volt menjadi 6 Volt (50%) untuk masing-masing dielektrik, seperti karbon aktif, lemak ayam, dan kain rajut poliester, adalah 73,56  $\mu s$ , 222,80  $\mu s$ , dan 294,93  $\mu s$ . Penurunan tegangan yang disebabkan oleh pelepasan muatan listrik dari kapasitor seiring waktu tergantung pada pilihan bahan dielektrik yang digunakan. Hal ini karena komposisi senyawa dan struktur morfologi serat bahan secara signifikan mempengaruhi nilai konstanta dielektrik, yang berbanding lurus dengan penurunan tegangan listrik. Oleh karena itu, kemampuan kapasitor untuk mempertahankan kapasitansi tertentu selama periode waktu tertentu sesuai dengan kebutuhan penggunaannya dalam rangkaian listrik.

**Kata kunci:** Material Dielektrik, Tegangan Listrik, Kapasitor

**How to Cite:** Jaya, G.W., Aponno, S. V., & Barus, C. S. A. (2024). Kajian Teoritis Pengaruh Jenis Material Dielektrik Terhadap Penurunan Tegangan Listrik Kapasitor. *Schrodinger Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pendidikan Fisika*, 5(1), 16-22.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan perangkat elektronik setiap tahunnya mengalami peningkatan sering berkembangnya kemampuan teknologi yang dapat menjawab berbagai tantangan untuk mempermudah pekerjaan manusia (Ilhami et al., 2019). Untuk mendukung kinerja sebuah

perangkat elektronik dibutuhkan sebuah perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Pada komponen perangkat keras terdiri dari berbagai macam jenis komponen elektronika salah satunya kapasitor.

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang memiliki kemampuan dalam menyimpan muatan listrik dan energi listrik (Sidi et al., 2020). Kemampuan penyimpanan yang dimiliki kapasitor dikenal sebagai kapasitansi. Selain itu kapasitor berperan penting dalam sistem konverter daya sebagai penyeimbang daya, menekan riak tegangan, dan menyimpan energi jangka pendek (Dang & Kwak, 2020; Zhao et al., 2021).

Kapasitor secara dimensi terdiri dari dua buah plat konduktor dengan ukuran yang sama dan terdapat sebuah ruang kosong diantara kedua buah plat yang dapat diisi dengan material dielektrik atau isolator (Marín-Genescà et al., 2020). Secara teknologi kapasitor dapat dibuat menggunakan teknologi 3D *printed* dalam bentuk lembaran dan dapat digulung untuk meningkatkan kemampuan penyimpanan muatan listrik dan energi listrik (Blaž et al., 2022). Selain itu peningkatan kapasitansi kapasitor dapat dilakukan dengan cara memodifikasi komposisi dan struktur material dielektrik.

Material dielektrik memiliki peran yang sangat penting untuk memberikan peningkatan kapasitansi kapasitor. Beberapa penelitian telah mengkaji material dan metode sintesis untuk membuat material dielektrik yang dapat digunakan pada superkapasitor. Zaidah (2019) telah melakukan sintesis material barium stronsium titanat ( $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ ) menggunakan metode *solid state reaction* dengan menghasilkan nilai konstanta dielektrik sebesar 277. Subarwanti & Mariana (2021) telah melakukan sintesis ferroelektrik  $BaZr_xTi_{1-x}O_3$  dengan variasi zirkonium dan menghasilkan nilai konstanta dielektrik sebesar 150. Putra (2021) melakukan sintesis material dielektrik  $MnFe_2O_4$  menggunakan metode kopresipitasi dan menghasilkan nilai konstanta dielektrik sebesar  $0,41 \times 10^6$ . Ningsih et al. (2019) mengkaji metode sintesis material dielektrik dengan bahan pasir besi terhadap lama penggerusan sampel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan semakin lama penggerusan menghasilkan ukuran bulir pasir yang lebih kecil dan nilai konstanta dielektrik maksimum sebesar  $1,432 \times 10^5$  (Ningsih et al., 2019).

Penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebagian besar masih dalam tahap pengujian nilai konstanta dielektrik akan tetapi terdapat beberapa penelitian yang telah mengkaji penurunan tegangan listrik kapasitor. Penelitian yang dilakukan oleh V. G. V. Putra et al. (2019) berfokus pada analisis penurunan tegangan kapasitor berdasarkan nilai kapasitansi kapasitor menggunakan mikrokontroler arduino uno. Wijayono & Putra (2020) dan Munandar et al (2020) telah melakukan penelitian penurunan tegangan listrik kapasitor untuk menentukan nilai konstanta dielektrik udara, kain rajut pakan poliester, dan katun. Selain itu Siagian et al (2021) telah mengkaji secara teoritik jenis material dielektrik terhadap nilai muatan listrik dan energi yang disimpan berdasarkan perbedaan susunan kapasitor (seri dan paralel). Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh jenis material dielektrik terhadap penurunan tegangan listrik kapasitor pada rangkaian seri resistor-kapasitor (RC) secara teoritis.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara simulasi (teoritis) dengan memanfaatkan data konstanta dielektrik dari ketiga jenis material dielektrik, yaitu karbon aktif, lemak ayam, dan kain rajut polyester yang dapat dilihat pada tabel 1. Selanjutnya penentuan penyimpanan muatan listrik (kapasitansi) pada kapasitor untuk setiap material dielektrik dapat dihitung sesuai dengan persamaan sebagai berikut:

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

dengan  $C$  adalah nilai kapasitansi kapasitor (Farad),  $k$  adalah nilai konstanta dielektrik material,  $\epsilon_0$  adalah nilai permitivitas ruang hampa sebesar  $8,85 \times 10^{-12}$  F/m,  $A$  adalah luas permukaan plat sejajar ( $m^2$ ), dan  $d$  adalah jarak antar plat kapasitor atau ketebalan material dielektrik (m). Luas permukaan plat sejajar yang digunakan adalah  $120 \text{ cm}^2$  dan ketebalan material dielektrik sebesar 2 mm.

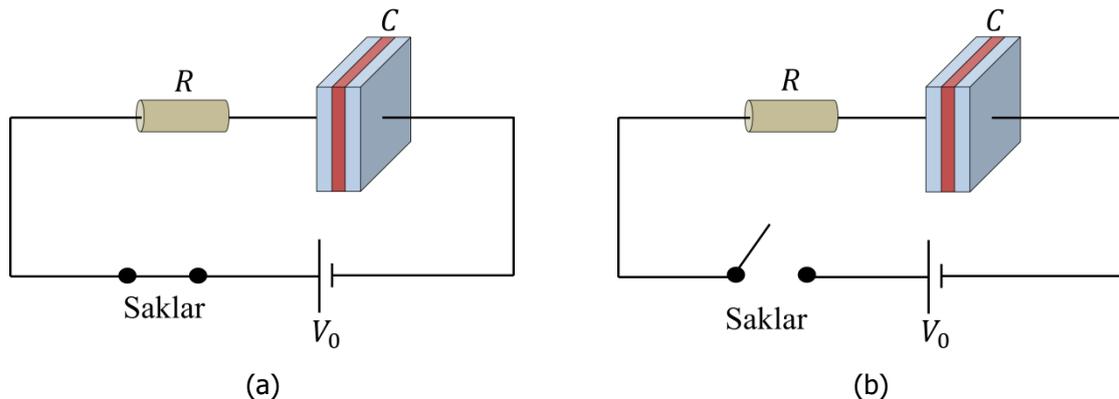
Tabel 1. Nilai konstanta dielektrik untuk setiap material dielektrik

Material Dielektrik	Nilai Konstanta Dielektrik	Referensi
Karbon aktif	2,104	(Parnasari et al., 2022)
Lemak ayam	6,372	(Rimafatin et al., 2019)
Kain rajut poliester	8,435	(Munandar et al., 2020)

Nilai kapasitansi yang sudah diperoleh, selanjutnya dilakukan penentuan penurunan tegangan listrik kapasitor terhadap waktu untuk setiap material dielektrik berdasarkan rangkaian seri resistor-kapasitor (RC) (Gambar 1) dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

$$V(t) = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (2)$$

dengan  $V(t)$  adalah nilai tegangan listrik pada waktu  $t$  (Volt),  $V_0$  adalah tegangan awal atau tegangan baterai (Volt), adalah  $R$  nilai hambatan listrik (Ohm),  $C$  adalah nilai kapasitansi kapasitor (Farad), dan  $t$  adalah waktu penurunan tegangan kapasitor (sekon). Nilai hambatan yang digunakan adalah  $950 \text{ k}\Omega$  dan nilai tegangan awal atau tegangan baterai sebesar 12 Volt.



Gambar 1. Rangkaian resistor-kapasitor (a) pada saat saklar ditutup sebagai proses pengisian muatan listrik pada kapasitor dan (b) pada saat saklar dibuka sebagai proses pelepasan muatan listrik pada kapasitor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai kapasitansi kapasitor untuk setiap material dielektrik secara perhitungan menggunakan persamaan (1) dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat diketahui dari ketiga jenis bahan dielektrik yang memiliki nilai kapasitansi kapasitor terbesar adalah bahan kain rajut poliester sebesar  $4,479 \times 10^{-10}$  Farad. Dari hasil perhitungan menunjukkan nilai kapasitansi kapasitor bergantung dengan nilai konstanta dielektrik material sehingga nilai konstanta dielektrik yang besar menghasilkan nilai kapasitansi kapasitor yang besar (lihat Tabel 1). Hal ini dikarenakan adanya mekanisme polarisasi dalam bidang dielektrik sebagai akibat adanya sumbangan dipol-dipol listrik yang berdampak terhadap permitivitas bahan (Fendi & Maddu, 2018; Jumingin & Setiawati, 2016). Bahan dielektrik tidak memiliki elektron konduksi yang dapat bergerak bebas di

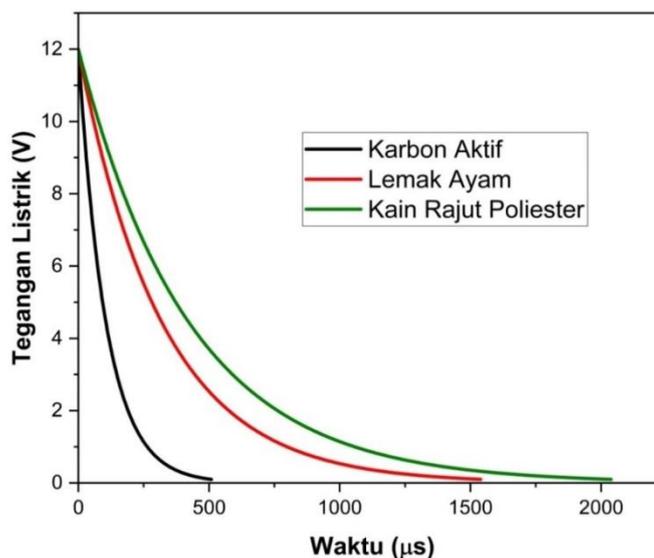
seluruh bahan ketika dipengaruhi medan listrik sehingga tidak akan menghasilkan pergerakan muatan di dalam bahan (Gulita et al., 2015). Namun pengaruh medan listrik pada bahan dielektrik dapat mengarahkan dipol di dalam bahan yang semula acak menjadi berarah sama dengan arah medan listrik (Rajab et al., 2011).

Tabel 2. Nilai kapasitansi kapasitor untuk setiap material dielektrik

Bahan Dielektrik	Nilai Kapasitansi Kapasitor (F)
Karbon aktif	$1,177 \times 10^{-10}$
Lemak ayam	$3,384 \times 10^{-10}$
Kain rajut poliester	$4,479 \times 10^{-10}$

Penurunan nilai tegangan listrik berdasarkan persamaan (2) untuk setiap jenis material dielektrik dapat dilihat pada Gambar 2. Dari data grafik (Gambar 2) menunjukkan terdapat selisih waktu penurunan yang cukup besar dari 12 Volt hingga mendekati 0 Volt antara material dielektrik karbon aktif dengan lemak ayam dan kain rajut poliester. Sedangkan untuk material dielektrik lemak ayam dengan kain rajut poliester memiliki selisih waktu penurunan yang cukup kecil. Hasil ini dapat dianalisis berdasarkan data perhitungan yang menunjukkan kain rajut poliester membutuhkan waktu sebesar  $294,93 \mu s$  untuk menurunkan tegangan listrik dari 12 Volt menjadi 6 Volt (50%). Sedangkan karbon aktif dan lemak ayam membutuhkan waktu sebesar  $73,56 \mu s$  dan  $222,80 \mu s$ .

Waktu penurunan tegangan listrik untuk setiap material dielektrik sangat kecil sekali dalam satuan mikrosekond ( $\mu s$ ) atau  $10^{-6}$  sekon. Sehingga pengukuran secara langsung menggunakan alat voltmeter tidak bisa dilakukan dan hanya bisa diamati secara langsung grafik penurunan tegangan listrik menggunakan alat osiloskop. Akan tetapi waktu pengamatan dapat lebih ditingkatkan lagi apabila menggunakan resistor dengan nilai resistansi yang cukup besar seperti yang dilakukan oleh Wijayono & Putra (2020). Penelitian yang dilakukan menggunakan resistor dengan nilai resistansi sebesar  $125 M\Omega$  sehingga pada saat dilakukan pengamatan secara komputerisasi waktu penurunan dalam satuan milisekon atau  $10^{-3}$  sekon (Wijayono & Putra, 2020). Dengan demikian untuk bisa melakukan pengamatan penurunan nilai tegangan listrik kapasitor dalam satuan sekon harus menggunakan resistor dengan nilai resistansi yang lebih besar.



Gambar 2. Grafik penurunan tegangan listrik terhadap waktu berdasarkan jenis material dielektrik.

Kebutuhan akan kapasitor dengan nilai kapasitansi yang tinggi akan terus berkembang seiring kebutuhan bahan elektronik di dunia. Sementara ketersediaan bahan dielektrik yang berdampak baik pada lingkungan akan terus dikembangkan dengan memanfaatkan material organik maupun non organik yang ada di sekitar kita. Material dielektrik karbon aktif dan lemak ayam berasal dari bahan organik sedangkan material dielektrik kain rajut poliester berasal dari bahan non organik. Ketiga bahan tersebut memiliki komposisi dan struktur material yang berbeda satu sama lain. Sehingga memiliki pengaruh terhadap proses penurunan tegangan listrik yang diakibatkan lepasnya muatan listrik dari kapasitor.

Nilai konstanta dielektrik karbon aktif dipengaruhi oleh luas permukaan dan tingkat porositas dari hasil sintesis menggunakan potasium hidroksida (KOH) sebagai agen aktivasi (Ghiffari et al., 2020). Nilai konstanta dielektrik lemak ayam dipengaruhi oleh komposisi asam lemak tak jenuh (Rimafatin et al., 2019). Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan atau banyaknya jumlah ikatan rangkap asam lemak tak jenuh dalam minyak, maka nilai konstanta dielektrik akan meningkat (Lizhi et al., 2008). Kain rajut poliester terbuat dari serat poliester yang berasal dari polietilen tereftalat (PET) (Militky, 2009). PET dihasilkan dari proses polimerisasi menggunakan bahan etilen glikol (EG) dan asam tereftalat atau dimetil tereftalat (TPA dimetil ester) (Hassan et al., 2022). Berdasarkan komposisi senyawa tersebut maka kain rajut poliester memiliki nilai konstanta dielektrik yang berbeda dibandingkan karbon aktif dan lemak ayam. Selain itu struktur morfologi serat yang dihasilkan memiliki pengaruh terhadap nilai konstanta dielektrik.

## PENUTUP

Kajian pengaruh jenis material dielektrik terhadap penurunan tegangan listrik kapasitor pada rangkaian seri resistor-kapasitor (RC) telah dilakukan dengan variasi material terdiri atas karbon aktif, lemak ayam dan, kain rajut poliester. Diketahui komposisi senyawa dan struktur morfologi serat material berpengaruh terhadap nilai konstanta dielektrik yang berbanding lurus dengan penurunan tegangan listrik. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh untuk menurunkan nilai tegangan listrik dari 12 Volt hingga mendekati 0 Volt, material dengan nilai konstanta dielektrik terbesar membutuhkan waktu yang lebih lama yakni material kain rajut poliester dibandingkan kedua bahan lainnya. Hal ini dapat dilihat dari waktu penurunan nilai tegangan listrik dari 12 Volt menjadi 6 Volt (50%) yang dimana konstanta dielektrik kain rajut poliester membutuhkan waktu sebesar 294,93  $\mu$ s. Sedangkan konstanta dielektrik karbon aktif dan lemak ayam membutuhkan waktu sebesar 73,56  $\mu$ s dan 222,80  $\mu$ s. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan tegangan listrik yang diakibatkan lepasnya muatan listrik dari kapasitor terhadap waktu bergantung pada pemilihan bahan dielektrik yang digunakan. Hal ini berkaitan dengan kemampuan sebuah kapasitor mempertahankan sejumlah kapasitansi dalam kurun waktu tertentu sesuai kebutuhan pemanfaatannya dalam sebuah rangkaian listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Blaž, N. V., Živanov, L. D., Kisić, M. G., & Menićanin, A. B. (2022). Fully 3D printed rolled capacitor based on conductive ABS composite electrodes. *Electrochemistry Communications*, 134, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2021.107178>
- Dang, H. L., & Kwak, S. (2020). Review of health monitoring techniques for capacitors used in power electronics converters. *Sensors*, 20(13), 1–22. <https://doi.org/10.3390/s20133740>
- Fendi, & Maddu, A. (2018). Dielectric properties of carbon from cassava starch synthesized from hydrothermal process. *IOP Conference Series: Journal of Physics*, 1–6.
- Ghiffari, M., Maulina, W., & Nugroho, A. T. (2020). Study of Dielectric and Adsorption Properties of Activated Carbon Prepared from Water Hyacinth using KOH as an Activating Agent. *Computational and Experimental Research in Materials and Renewable Energy (CERiMRE)*, 3(1),

38–46.

- Gulita, N. D., Trihandaru, S., & Shanti, M. R. S. (2015). Identifikasi Sifat Dielektrik Pisang pada Tingkat Kematangan Berbeda dengan Rangkaian RLC. *Radiasi*, 6(2), 1–7.
- Hassan, W. M. I., Heikal, L. A., Abou-Elyazed, A. S., Mohamed, H. F. M., Ibrahim, M. A., & Hamouda, A. S. (2022). Theoretical study of isomerization and polymerization in polyethylene terephthalate. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(7), 353–362. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2021.104208.4813>
- Ilhami, F., Sokibi, P., & Amroni. (2019). Perancangan dan Implementasi Prototype Kontrol Peralatan Elektronik Berbasis Internet of Things Menggunakan Nodemcu. *Jurnal Digit*, 9(2), 143–155. <https://doi.org/10.51920/jd.v9i2.115>
- Jumingin, & Setiawati, S. (2016). Kajian Ketebalan Tanah Liat Sebagai Bahan Dielektrik Kapasitor Plat Sejajar. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 13(1), 22–26.
- Lizhi, H., Toyoda, K., & Ihara, I. (2008). Dielectric properties of edible oils and fatty acids as a function of frequency, temperature, moisture and composition. *Journal of Food Engineering*, 88, 151–158. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.035>
- Marín-Genescà, M., García-Amorós, J., Mujal-Rosas, R., Vidal, L. M., & Fajula, X. C. (2020). Application Properties Analysis as a Dielectric Capacitor of End-of-Life Tire-Reinforced HDPE. *Polymers*, 12(11), 1–20. <https://doi.org/10.3390/polym12112675>
- Militky, J. (2009). The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers. In *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres* (pp. 223–314). <https://doi.org/10.1533/9781845696801.2.223>
- Munandar, T., Wardiningsih, W., & Putra, V. G. V. (2020). Studi Pengukuran Konstanta Dielektrik Kain Rajut Pakan Poliester dan Katun Menggunakan Metode Kapasitansi Perangkat Kapasitor Plat Sejajar. *Jurnal Kumparan Fisika*, 3(3), 223–231.
- Ningsih, F., Fitriyaningsih, & Didik, L. A. (2019). Analisis Pengaruh Lama Penggerusan terhadap Resistivitas dan Konstanta Dielektrik pada Pasir Besi yang disintesis dari Kabupaten Bima. *Indonesian Physical Review*, 2(3), 92–98.
- Parnasari, Nurhanisa, M., & Nugroho, B. S. (2022). Studi Kapasitansi dan Konstanta Dielektrik Pada Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Prisma Fisika*, 10(1), 98–104.
- Putra, R. A. (2021). Kajian Mikrostruktur dan Dielektrik Nanopartikel MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> yang Disintesis dengan Metode Kopresipitasi. *Jurnal Hadron*, 3(02), 30–35.
- Putra, V. G. V., Wijayono, A., Purnomosari, E., Ngadiono, & Irwan. (2019). Metode Pengukuran Kapasitansi dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 3(1), 36–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.30599/jipfri.v3i1.425>
- Rajab, A., Sulaeman, A., Sudirham, S., & Suwarno. (2011). A Comparison of Dielectric Properties of Palm Oil with Mineral and Synthetic Types Insulating Liquid under Temperature Variation. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 43(3), 191–208. <https://doi.org/10.5614/itbj.eng.sci.2011.43.3.3>
- Rimafatin, N., Cahyono, B. E., & Misto. (2019). Analisis Hubungan Suhu dan Frekuensi Terhadap Sifat Listrik Lemak Hewani. *Jurnal Fisika Flux*, 16(2), 78–83.
- Siagian, S. M., Jaya, G. W., & Nurhidayati, I. (2021). Analisis Jumlah Muatan Listrik Serta Energi pada Kapasitor Berdasarkan Konstanta Dielektrik Suatu Material. *ORBITA (Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, Dan Aplikasi Pendidikan Fisika)*, 7, 176–180.
- Sidi, M., Lapanporo, B. P., & Arman, Y. (2020). Perbandingan Kapasitansi dari Beberapa Jenis Bahan Menggunakan Kapasitor Silinder. *Prisma Fisika*, 8(2), 128–134. <https://doi.org/10.26418/pf.v8i2.42528>
- Subarwanti, Y., & Mariana, E. (2021). Sintesis Ferroelektrik BaZrxTi<sub>1-x</sub>O<sub>3</sub> dengan Variasi Zirkonium Terhadap Struktur Kristal dan Konstanta Dielektrik. *JURNAL Teori Dan Aplikasi Fisika*, 09(01), 47–54.
- Wijayono, A., & Putra, V. G. V. (2020). Pengukuran Konstanta Dielektrik Udara pada Perangkat Kapasitor Plat-Sejajar Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 4(1), 13–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.30599/jipfri.v4i1.651>
- Zaidah, A. (2019). Karakterisasi Kekristalan dan Konstanta Dielektrik Barium Stronsium Titanat (BaxSr<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub>) dengan Variasi Komposisi Barium dan Stronsium yang Dibuat Menggunakan Metode Solid State Reaction. *Jurnal Pendidikan Mandala*, 4(4), 302–306.

Zhao, Z., Davari, P., Lu, W., Wang, H., & Blaabjerg, F. (2021). An Overview of Condition Monitoring Techniques for Capacitors in DC-Link Applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(4), 3692–3716. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3023469>