

ANALISIS KONSTANTA DIELEKTRIK MENGGUNAKAN SENSOR KAPASITIF UNTUK PEMURNIAN BIODIESEL

Rahmawati^{1*}, Arief Mardiyanto², Siti Amra³, Hanafi⁴, Gunawan⁵, Al Mawardi⁶

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁶Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: ariefmardiyanto@pnl.ac.id², sitiamra26@yahoo.co.id³, hnfbatubara@yahoo.com⁴, Gunawan.samin@gmail.com⁵, almawardi@pnl.ac.id⁶

Email Korespondensi: rahmawati.gunawan@gmail.com¹

Abstrak – Biodiesel pengganti solar diproduksi melalui reaksi transesterifikasi atau alkoholisis antara trigliserida (minyak nabati) dengan metanol (reaktan) untuk menghasilkan fatty acid methyl ester (FAME) yang dikenal dengan nama biodiesel dan gliserol. Biodiesel dan gliserol dipisahkan menghasilkan biodiesel yang disebut dengan biodiesel kotor. Pemurnian biodiesel untuk menghilangkan pengotor yang tidak diinginkan sangat penting dan merupakan teknologi kritis yang sangat dibutuhkan. Proses pemurnian dilakukan dengan proses pencucian dan evaporasi. Proses pencucian biodiesel bertujuan untuk menghilangkan sisa kotoran yang tertinggal atau pengotor lainnya yang tidak ikut bereaksi selama reaksi transesterifikasi. Permasalahan yang diteliti adalah bagaimana sensor dielektrik dapat digunakan untuk monitoring proses pencucian biodiesel secara *real time*. Untuk itu terlebih dahulu dilakukan pengukuran konstanta dielektrik menggunakan sensor dielektrik berupa sensor kapasitif. Biodiesel hasil transesterifikasi masih mengandung pengotor antara lain sisa air, gliserol dan metanol. Sifat dielektrik memiliki korelasi kuat dengan sifat umum dan kimia biodiesel. Untuk mengukur kualitas selama proses pemurnian dapat menggunakan sensor dielektrik, karena sifat dielektrik memiliki korelasi terhadap sifat fisik dan kimia biodiesel. Pelaksanaan penelitian meliputi pengukuran konstanta dielektrik masing-masing komponen biodiesel, air, gliserol dan methanol serta biodiesel pada berbagai persentase kandungan air. Tujuan utama penelitian adalah menghasilkan pengukuran konstanta dielektrik biodiesel dan sisa pengotor pada proses pencucian biodiesel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menyajikan hasil pengamatan konstanta dielektrik dalam bentuk tabel dan grafik kemudian dibahas secara deskriptif. Pengukuran konstanta dielektrik biodiesel, air, gliserol dan methanol menggunakan LCR meter. Hasil pengukuran konstanta dielektrik biodiesel, metanol, gliserol dan air adalah 4.53, 32.02, 42.28 dan 77.03 berturut-turut pada frekuensi pengukuran 100 kHz. Konstanta dielektrik biodiesel meningkat dengan meningkatnya kandungan pengotor pada biodiesel. Ditentukan persamaan regresi linier di mana variabel x sebagai kandungan pengotor dan variabel y sebagai nilai dielektrik. Nilai dielektrik biodiesel untuk kandungan pengotor adalah $y=0,01x^2+0,021x+4,1$ (metanol), $y=-002x^2+0,3x+4,3$ (gliserol), $y=0,005x^2+0,05x+4,5$ (air). Konstanta dielektrik biodiesel meningkat dengan meningkatnya kandungan pengotor dalam biodiesel.

Kata-kata kunci: *biodiesel, sensor kapasitif, konstanta dielektrik*

Abstract – Biodiesel to replace diesel fuel is produced through a transesterification or alcoholysis reaction between triglycerides (vegetable oil) and methanol (reactant) to produce fatty acid methyl ester (FAME), known as biodiesel and glycerol. Biodiesel and glycerol are separated to produce biodiesel which is called dirty biodiesel. Biodiesel purification to remove unwanted impurities is very important and is a critical technology that is urgently needed. The purification process is carried out by washing and evaporation processes. The biodiesel washing process aims to remove residual dirt or other impurities that do not react during the transesterification reaction. The problem being studied is how dielectric sensors can be used to monitor the biodiesel washing process in real time. For this reason, measurements of the dielectric constant are first carried out using a dielectric sensor in the form of a capacitive sensor. The transesterified biodiesel still contains impurities including residual water, glycerol and methanol. The dielectric properties have a strong correlation with the general and chemical properties of biodiesel. To measure quality during the refining process, dielectric sensors can be used, because dielectric properties have a correlation with the physical and chemical properties of biodiesel. The research implementation included measuring the dielectric constant of each component of biodiesel, water, glycerol and methanol as well as biodiesel at various percentages of water content. The main objective of the research is to produce measurements of the dielectric constant of biodiesel and residual impurities in the biodiesel washing process. The method used in this study is an experimental method by presenting the results of observations of the dielectric constant in the form of tables and graphs and then discussing them descriptively. Measuring the dielectric constant of biodiesel, water, glycerol and methanol using an LCR meter. The results of measuring the dielectric constants of biodiesel, methanol, glycerol and water were 4.53, 32.02, 42.28 and 77.03 respectively at a measurement

frequency of 100 KHz. Obtain the linear regression equation of the dielectric value with the variable x being the impurity content and the variable y being the dielectric value. The dielectric value of biodiesel for impurities content is $y=0.01x^2+0.021x+4.1$ (methanol), $y=-002x^2+0.3x+4.3$ (glycerol), $y=0.005x^2+0.05x+4.5$ (water). Biodiesel dielectric constant increases with increasing impurity content in biodiesel.

Keywords: *biodiesel, capacitive sensor, dielectric constant*

I. PENDAHULUAN

Salah satu metode pencucian biodiesel adalah metode pencucian basah (*wet washing*) dengan cara mencampurkan biodiesel kotor dan aquadest panas (60 °C) yang telah ditambahkan dengan sedikit larutan asam asetat diaduk sehingga campuran tersebut homogen. Setelah itu proses pengendapan (*settling*), terbentuk dua lapisan biodiesel dan air. Biodiesel berada pada lapisan atas dan air berada pada lapisan bawah. Selanjutnya kedua lapisan tersebut dipisahkan untuk mengambil biodiesel, di mana air mengikat sisa-sisa kotoran. Pengamatan proses pemisahan dilakukan manual secara visual operator untuk mengoperasikan buka tutup katup pengeluaran air cuci.

Sensor dielektrik dapat digunakan untuk memastikan biodiesel telah terpisah dengan air pada proses pemisahan biodiesel setelah proses pencucian. Hal ini dapat dilakukan karena adanya perbedaan yang besar antara dielektrik air (80) dan dielektrik biodiesel (2-5) [1], [2].

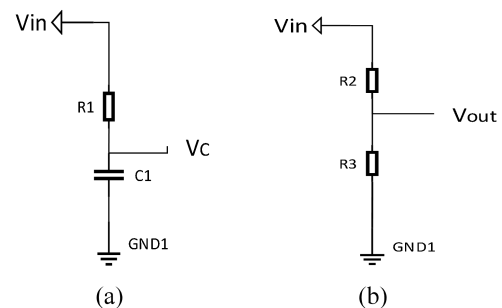
Prediksi kualitas biodiesel selama proses pemurnian menggunakan parameter dielektrik menggunakan seleksi fitur Relief menunjukkan bahwa parameter listrik yang paling berpengaruh terhadap kualitas kemurnian biodiesel adalah kapasitansi [3]. Prediksi kandungan FAME menggunakan pengukuran dielektrik sangat dimungkinkan karena memiliki sifat yang berbeda pada setiap komponen asam lemak polar. Pengamatan ini berkaitan dengan hasil sebelumnya, yaitu mengamati analisis komparatif sifat jenuh dengan sifat tak jenuh asam lemak dan adanya pengaruh komposisi minyak pada sifat dielektrik [2], [4]. Prediksi karakteristik biodiesel berdasarkan sifat permitivitasnya dapat membantu memperkirakan kualitas dan mensimulasikan proses produksi. Hal ini menjadi dasar untuk membedakan komposisi air dan biodiesel untuk diterapkan pada pemisahan air dan biodiesel. Posisi peneliti adalah pada pengembangan teknologi pembuatan biodiesel dengan mengaplikasikan sensor untuk memantau secara real time pemisahan biodiesel pada proses pencucian biodiesel. Perlunya pengembangan dalam bidang sistem pemantauan proses pencucian biodiesel menggunakan teknologi sederhana untuk dapat diaplikasikan pada industri kecil pembuatan biodiesel.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Variabel yang mempengaruhi proses pemurnian adalah suhu, waktu, rasio pelarut biodiesel, dan kondisi biodiesel mentah. Indikator keberhasilan proses ini adalah pH, kadar air residu, residu gliserol dan residu metanol. Kriteria utama berupa sisa air, sabun, dan

katalis harus dianalisis dalam produk akhir biodiesel. Salah satu indikator kualitas biodiesel adalah kadar air, methanol dan gliserol [5]. Kandungan ini dapat diukur menggunakan sensor dielektrik karena nilai kapasitansi dipengaruhi karakteristik kimia dan tingkat kepolaran bahan. Penggunaan sensor diimplementasikan pada sistem kendali sebagai umpan balik. Sistem kendali otomatis pada proses pemurnian untuk mengoptimalkan proses dengan meningkatkan efisiensi dan kualitas biodiesel.

Pendekatan perancangan alat sistem pengukuran berdasarkan sifat dielektrik yang digunakan adalah rangkaian R-C. Pengukuran kapasitansi berdasarkan prinsip pengisian kapasitor melalui resistor deret (Gambar 1). Tegangan dihitung pada waktu pengisian dan waktu pengosongan dengan waktu pengisian diberikan ketika $t=RC$ [6], [7]. Tegangan kapasitor meningkat secara eksponensial saat mengisi daya. Tegangan V_{in} diberikan ke rangkaian RC maka kapasitor mulai mengisi dan akibatnya tegangan (V_c) meningkat dari 0 menuju V_{in} secara eksponensial. Setelah mengetahui waktu yang diperlukan kapasitor untuk mengisi hingga tegangan yang diketahui, kapasitansi yang tidak diketahui (C_1) dapat ditentukan dengan mengetahui nilai R_1 (Persamaan 1).



Gbr. 1 Rangkaian Pengukur (a) Kapasitansi (b) Resistansi

$$V_c = V_{in} \left(1 - \frac{e^{-t}}{\exp R_1 C_1} \right)$$

$$v_c = \frac{v_{in}}{2}$$

$$\frac{1}{2} = \left(1 - \frac{e^{-t}}{\exp R_1 C_1} \right)$$

$$\frac{-t}{R_1 C_1} = -0.693147$$

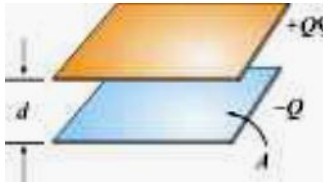
$$C_1 = \frac{t}{0.693} \tag{1}$$

Pengukuran resistansi menggunakan rangkaian pembagi tegangan. Resistansi yang diketahui (R_2) dan resistansi yang tidak diketahui (R_3) dihubungkan secara

deret. Resistansi R_2 dihubungkan dengan sumber tegangan 5 volt dan resistansi yang akan diukur (R_3) terhubung dengan ground dan terminal resistansi R_2 . Tegangan di R_3 diukur dengan bantuan mikrokontroler. Nilai $V_{cc} = 5$ volt dan resistansi $R_2 = 10k$ ohm. Penggunaan sensor dielektrik diintegrasikan dengan mikrokontroler dan mengukur tegangan nilai keluaran sensor (*masukan* analog Arduino) pada rangkaian dielektrik meter. Mikrokontroler menghitung resistensi yang tidak diketahui (R_3) menggunakan Persamaan 2.

$$R_3 = R_2 \times \frac{V_{out}}{V_{cc} - V_{out}} \quad (2)$$

Pengukuran konstanta dielektrik berdasarkan nilai kapasitor. Kapasitor pelat sejajar memiliki dua pelat konduktor identik, masing-masing memiliki luas permukaan A , dipisahkan oleh jarak d (tanpa bahan di antara pelat). Ketika tegangan V diterapkan ke kapasitor, maka kapasitor menyimpan muatan Q . Kapasitansi bergantung pada A dan d dengan mempertimbangkan karakteristik gaya Coulomb pada kapasitor pelat sejajar (Gambar 2).



Gbr. 2 Kapasitor Plat Sejajar

Semakin besar pelat, semakin banyak muatan yang dapat disimpan karena muatan itu dapat menyebar lebih banyak. Dengan demikian C meningkat untuk A yang lebih besar. Demikian pula, semakin dekat jarak pelat, semakin besar daya tarik dari muatan yang berlawanan. Jadi nilai C lebih besar untuk nilai d yang lebih kecil. Dapat ditunjukkan bahwa untuk kapasitor pelat sejajar hanya ada dua faktor (A dan d) yang mempengaruhi kapasitansi C . Kapasitansi kapasitor pelat sejajar dalam bentuk persamaan diberikan oleh persamaan dielektrik (Persamaan 3).

$$K = \epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (3)$$

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A}$$

Keterangan:

- ϵ : Permittivity (Farad/meter (F/m))
- ϵ_0 : Permittivitas vakum (8.85×10^{-12} F/m)
- $K (\epsilon_r)$: Konstanta dielektrik (tanpa satuan)
- A : Luas plat konduktor (m^2)
- d : Jarak antara dua plat sejajar (m)
- C : Kapasitansi (Farad)

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan menyajikan hasil pengamatan dalam bentuk tabel dan grafik kemudian

dibahas secara deskriptif. Penghilangan kontaminan dalam minyak setelah penyulingan tercermin dalam pengurangan nilai dielektrik [8].

Kapasitansi bahan diukur pada lima frekuensi berbeda mulai dari frekuensi 100 Hz sampai 100 KHz menggunakan elektroda dua plat sejajar. Selanjutnya dihitung konstanta dielektrik berdasarkan hasil pengukuran kapasitansi menggunakan Persamaan 3. Rentang frekuensi dipilih berdasarkan keterbatasan sistem pengukuran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel hasil transesterifikasi masih mengandung pengotor antara lain sisa air, gliserol dan metanol. Pengukuran awal dilakukan pada pengukuran konstanta dielektrik masing-masing komponen (biodiesel, air, gliserol dan metanol). Pengukuran konstanta dielektrik masing-masing komponen dibandingkan dengan nilai pada literatur [9], [10] ditunjukkan pada Tabel 1.

TABEL I
Perbandingan Dielektrik Pengukuran dengan Data Literatur

No	Komponen	Konstanta Dielektrik ϵ_0					Literatur
		0.1	0.12	1	10	100	
1	Biodiesel	6.78	6.21	4.86	4.38	4.53	2.6-3.4
2	Metanol	175.14	146.89	34.07	33.18	32.02	32-37
3	Gliserol	47.46	44.63	45.03	42.63	42.28	42.44
4	Air	5756.5	4403.39	3926.55	83.23	77.03	74-80

Nilai kapasitansi dipengaruhi suhu, frekuensi, karakteristik kimia dan fisik tergantung pada komposisi dan kepadatan bahan. Pada penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kepolaran senyawa berkaitan dengan nilai dielektrik [11], [12]. Tingkat kepolaran air sebesar 1, gliserol 0.81, metanol 0.76 dan biodiesel 0.11 [13]. Konstanta dielektrik semakin besar dengan semakin besarnya nilai kepolaran suatu bahan.

Konstanta dielektrik biodiesel, air, gliserol dan metanol menunjukkan bahwa dengan peningkatan frekuensi terjadi penurunan nilai dielektrik. Hal ini sesuai dengan pengukuran dielektrik biodiesel pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan [2], [3], [8]. Konfigurasi sensor komersial dan perhitungan permitivitas untuk rentang frekuensi 1 GHz hingga 5 GHz pada suhu kamar, menunjukkan bahwa konstanta dielektrik berubah dengan frekuensi dalam bentuk linier pada pengukuran dielektrik air, minyak, asam lemak, dan fiber [14].

Konstanta dielektrik menunjukkan tingkat kemampuan pengkutuban molekul pada bahan. Konstanta dielektrik juga melambangkan rapatnya fluks elektrostatik dalam sebuah bahan bila diberi sebuah potensial listrik. Frekuensi tinggi pada bahan dielektrik akan mengakibatkan nilai konstanta dielektrik yang dihasilkan semakin kecil karena energi listrik yang tersimpan pada bahan semakin kecil. Kenaikan frekuensi sumber tegangan dapat mengakibatkan osilasi medan listrik semakin cepat sehingga hanya beberapa muatan yang terlibat dalam proses redistribusi dan tidak dapat sejajar dengan arah medan listrik luar sehingga

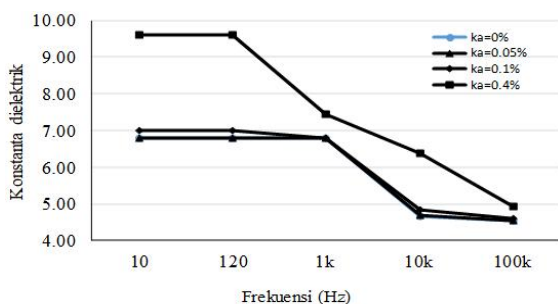
mengakibatkan berkurangnya polarisasi. Penurunan polarisasi menyebabkan nilai kapasitansi menurun. Ketika nilai kapasitansi menurun maka nilai konstanta dielektrik juga menurun dengan adanya kenaikan frekuensi. Dari hasil yang diperoleh dalam percobaan ini, biodiesel dan pengotor menunjukkan nilai konstanta dielektrik yang berbeda. Air, gliserol, metanol dan biodiesel memiliki nilai konstanta dielektrik 80, 42,5, 25,7, dan 3 berturut-turut. Air, metanol dan gliserol termasuk molekul polar karena memiliki muatan positif sedikit di satu sisi dan sedikit muatan negatif di sisi lain. Biodiesel bersifat tidak polar karena telah terjadi reaksi esterifikasi antara asam lemak yang mempunyai muatan H+ dan metanol yang mempunyai muatan OH- membentuk metil ester dan air sehingga terjadi pengurangan muatan.

Pengukuran konstanta dielektrik pada frekuensi 100 Hz, 120 Hz dan 1 kHz. hampir konstan walaupun kontaminan air meningkat. Hal ini menunjukkan pada frekuensi rendah pengukuran kurang sensitif pada penambahan kandungan air pada biodiesel. Pada frekuensi 10 kHz dan 100 kHz, nilai konstanta dielektrik berubah dengan perubahan kontaminan. Hal ini menjadi dasar atas pilihan frekuensi yang diterapkan adalah frekuensi 100 kHz. Peningkatan frekuensi menyebabkan penurunan nilai konstanta dielektrik, diakibatkan karena peningkatan frekuensi menyebabkan gelombang yang ditransmisikan setiap detiknya semakin banyak. Arus listrik sudah berbalik sebelum plat kapasitor terisi penuh, yang menyebabkan kekosongan muatan pada plat kapasitor dengan cepat. Sehingga muatan dalam kapasitor berkurang dan kemampuan suatu bahan tersebut dalam menyimpan muatan semakin kecil.

Konstanta dielektrik biodiesel pada berbagai persentase kandungan air sebagai fungsi frekuensi antara 100 Hz hingga 100 kHz ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3.

TABEL II
Konstanta Dielektrik Biodiesel Berdasarkan Kandungan Air (ka)

Frekuensi (Hz)	Konstanta Dielektrik ϵ_0						
	ka=0%	ka=0.05%	ka=0.1%	ka=0.2%	ka=0.3%	ka=0.4%	ka=0.5%
10	6.78	6.78	7.00	7.34	9.6	9.6	11.86
120	6.78	6.78	7.00	7.34	9.6	9.6	11.86
1 k	6.78	6.78	6.78	7.34	7.4	7.45	7.6
10 k	4.67	4.70	4.85	6.07	6.07	6.38	6.63
100 k	4.53	4.55	4.60	4.76	4.58	4.94	5.03



Gbr. 3 Dielektrik dan kandungan air di biodiesel fungsi frekuensi

Konstanta dielektrik biodiesel dari berbagai kandungan air (ka) menunjukkan ketergantungan pada frekuensi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi menghasilkan penurunan nilai kapasitansi. Hasil ini sesuai dengan Nelson and Trabelsi [15] yang menyatakan bahwa perubahan frekuensi mempengaruhi nilai konstanta dielektrik yaitu semakin besar nilai frekuensi maka nilai konstanta dielektrik semakin menurun.

Hasil pengukuran konstanta dielektrik menunjukkan terjadi peningkatan dengan meningkatnya kandungan air pada biodiesel. Kenaikan nilai konstanta dielektrik ini disebabkan karena kenaikan kapasitansi dari C0 menjadi $\epsilon_r C_0$ apabila kapasitor disisipi material dielektrik dihasilkan oleh terjadinya polarisasi. Variabel kapasitansi dikonversi ke nilai dielektrik dan berkorelasi dengan kandungan kontaminan dalam biodiesel sehingga kapasitansi meningkat dengan meningkatnya jumlah pengotor biodiesel.

Sifat dielektrik sensitif terhadap kandungan asam lemak dan komposisi biodiesel menjadi peluang untuk pengembangan sensor dielektrik dalam bidang proses produksi biodiesel. Hasil penelitian mengenai sifat dielektrik biodiesel menghasilkan sifat listrik biodiesel yang paling berpengaruh terhadap perubahan komposisi biodiesel. Pengukuran sifat dielektrik berkontribusi pada pemantauan proses evaporasi biodiesel secara realtime berbasis sensor. Untuk selanjutnya dapat dilakukan pengujian nilai dielektrik berdasarkan suhu, karena suhu mempengaruhi nilai kapasitansi.

V. KESIMPULAN

Peningkatan frekuensi menghasilkan penurunan nilai kapasitansi pada bahan yang sama. Konstanta dielektrik meningkat dengan meningkatnya kandungan air pada biodiesel. Konstanta dielektrik biodiesel memiliki nilai konstanta dielektrik yang kecil, sehingga dibutuhkan pengukuran dielektrik dengan presisi tinggi untuk pemantauan kualitas biodiesel.

REFERENSI

[1] Ng, P. S., Kong, S. A., & Yeo, S. H. (2017). Investigation of biodiesel dielectric in sustainable electrical discharge machining. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 2549-2556. doi: 10.1007/s00170-016-9572-6.

[2] Rahmawati, Djatna, T., Noor, E., & Irzaman (2017, May). An identification and characterization of biodiesel fatty acid based by using dielectric sensor. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 65, No. 1, p. 012004). IOP Publishing. doi: 10.1088/1755-1315/65/1/012004.

[3] Rahmawati. (2019, June). Prediction for Biodiesel Quality using the Dielectric Properties. In *IOP Conference Series: Materials Science and*

- Engineering* (Vol. 536, No. 1, p. 012057). IOP Publishing. doi: 10.1088/1757-899X/536/1/012057.
- [4] Murugesan, A., Subramaniam, D., Avinash, A., & Nedunchezian, N. (2015). Quantitative and qualitative analysis of biodiesel—an in-depth study. *International Journal of Ambient Energy*, 36(1), 19-30. doi: 10.1080/01430750.2013.820146.
- [5] Rahmawati, Djatna, T., Noor, E., & Irzaman (2019). Design of a Monitoring and Control System in the Biodiesel Purification Process. *Int. J. Adv. Res.*, 7(12), 245–256. doi: 10.21474/ijar01/10149.
- [6] Irzaman, M. A., Syafutra, H., & Ismangil, A. (2010). Uji konduktivitas listrik dan dielektrik film tipis lithium tantalate (LiTaO₃) yang didadahi niobium pentaoksida (Nb₂O₅) menggunakan metode chemical solution deposition. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika, Bandung* (pp. 175-183).
- [7] Irzaman *et al.* (2013). The effect of Ba/Sr ratio on electrical and optical properties of Ba_xSr_(1-x)TiO₃ (x= 0.25; 0.35; 0.45; 0.55) thin film semiconductor. *Ferroelectrics*, 445(1), 4-17. doi: 10.1080/00150193.2012.742351.
- [8] Prieto, L. G., Sorichetti, P. A., & Romano, S. D. (2008). Electric properties of biodiesel in the range from 20 Hz to 20 MHz. Comparison with diesel fossil fuel. *International journal of hydrogen energy*, 33(13), 3531-3537. doi: 10.1016/j.ijhydene.2007.10.036.
- [9] Corach, J., Sorichetti, P. A., & Romano, S. D. (2015). Electrical and ultrasonic properties of vegetable oils and biodiesel. *Fuel*, 139, 466-471.
- [10] Behrends, R. *et al.* Dielectric properties of glycerol/water mixtures at temperatures between 10 and 50 C. *The Journal of chemical physics*, 124(14). doi: 10.1063/1.2188391.
- [11] Aníbal Sorichetti, P., & Romano, S. D. (2012). Water Consumption in Biodiesel Production: Optimization Through Measurement of Electrical Properties. *Environmental Research Journal*, 6(3).
- [12] Corach, J., Sorichetti, P. A., & Romano, S. D. (2014). Electrical properties of vegetable oils between 20 Hz and 2 MHz. *international journal of hydrogen energy*, 39(16), 8754-8758. doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.12.036.
- [13] Reichardt, C., & Welton, T. (2011). *Solvents and solvent effects in organic chemistry*. John Wiley & Sons.
- [14] Jusoh, M., Abbas, Z., Hassan, J., Azmi, B., & Ahmad, A. (2011). A simple procedure to determine complex permittivity of moist materials using standard commercial coaxial sensor. *Measurement Science Review*, 11(1), 19. doi: 10.2478/v10048-011-0003-4.
- [15] Nelson, S. O., & Trabelsi, S. (2012). Factors influencing the dielectric properties of agricultural and food products. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 46(2), 93-107. doi: 10.1080/08327823.2012.11689828.