



## Identifikasi tingkat kematangan buah pisang berdasarkan karakteristik impedansi listrik dengan metode spektroskopi impedansi listrik menggunakan elektroda 4 jarum

**Wahyu Sugianto<sup>1\*</sup>, Herenda Sela Wismaya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro-medis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta, Indonesia

Email: wahyusugianto@upy.ac.id

\* Penulis korespondensi

### Informasi artikel

Sejarah artikel:  
 Dikirim 04/01/24  
 Revisi 25/01/24  
 Diterima 28/01/24

### Kata kunci:

Buah pisang  
 Elektroda empat jarum  
 Impedansi listrik  
 Kematangan  
 Spektroskopi

### ABSTRAK

Pisang klimakterik mengalami proses pematangan alami yang berkaitan dengan nilai gizinya; perubahan fisiknya mempengaruhi warna dan tekstur, sedangkan uji kimia yang umumnya bersifat merusak dapat diganti dengan Spektroskopi Impedansi Listrik (SIL) untuk mengetahui tingkat kematangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kematangan pisang mempengaruhi karakteristik impedansinya menggunakan elektroda empat jarum berbahan perak. Pisang disimpan selama 9 hari untuk memperoleh tingkat kematangan yang berbeda-beda. Metode pengukuran impedansi menggunakan injeksi arus sebesar 1 mA pada rentang 100 Hz - 1 MHz. Nilai karakteristik impedansi yang diukur pada hari ke-1 sebesar 2934,667  $\Omega$ , dan hari ke-9 sebesar 1338,667  $\Omega$  atau terjadi penurunan sebesar 54,4%. Jadi, semakin lama pisang disimpan, nilai impedansi terukur semakin kecil. Implikasi dari penelitian ini adalah penggunaan spektroskopi impedansi listrik (SIL) empat elektroda jarum perak dapat menjadi metode efektif dan non-destruktif untuk memantau tingkat kematangan pisang berdasarkan perubahan karakteristik impedansinya.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



### Keywords:

Bananas  
 Ripeness  
 Spectroscopy  
 Electrical Impedance  
 Four needle electrode

### ABSTRACT

#### Identification of bananas ripeness based on the electrical impedance characteristics with the electric impedance spectroscopy method using 4 needle electrodes.

Climacteric bananas undergo a natural ripening process related to their nutritional value; physical changes affect color and texture, while chemical tests that are generally destructive can be replaced with Electrical Impedance Spectroscopy (SIL) to determine the level of ripeness. This research aims to assess the level of banana ripeness affecting its impedance characteristics using a four-needle electrode made from silver. Bananas are stored for 9 days to obtain different levels of ripeness. The impedance measurement method uses a current injection of 1 mA in 100 Hz - 1 MHz range. The characteristic impedance value measured on day 1 was 2934.667  $\Omega$ , and on day 9 it was 1338.667  $\Omega$  or a decrease of 54.4%. So, the longer the banana is stored, the smaller the impedance value. This research implies that using four silver needle electrode electrical impedance spectroscopy (SIL) can be an effective and non-destructive method for monitoring bananas' ripeness level based on changes in their impedance characteristics.

### How to Cite:

Sugianto, Wahyu, and Herenda Sela Wismaya. 2024. "Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Berdasarkan Karakteristik Impedansi Listrik Dengan Metode Spektroskopi Impedansi Listrik Menggunakan Elektroda 4 Jarum." *Berkala Fisika Indonesia: Jurnal Ilmiah Fisika, Pembelajaran Dan Aplikasinya* 15(1):24–32. doi: 10.12928/bfi-jifpa.v15i1.25556

## Pendahuluan

Pisang merupakan buah-buahan yang mempunyai kandungan gizi baik. Pisang menawarkan nutrisi tingkat tinggi karena kaya akan mineral seperti kalium, fosfor, magnesium, zat besi, dan kalsium (Aryani et al., 2018; Imam & Akter, 2011; Utami et al., 2022). Selain itu, mineral seperti garam dan potasium juga berlimpah dalam pisang. Tubuh mendapat manfaat dari semua nutrisi yang ditemukan dalam pisang. Kita bahkan bisa menggunakan pisang sebagai antioksidan organik. Pisang merupakan buah klimakterik yaitu kelompok buah-buahan yang mempunyai laju respirasi yang tinggi. Semakin tinggi kecepatan respirasi maka buah akan semakin cepat matang (Singh et al., 2016).

Tingkat kematangan buah pisang mempengaruhi kandungan nutrisi pada buah pisang. Buah pisang mengalami sejumlah perubahan fisik dalam warna, tekstur, dan aroma selama proses pemasakan. Perubahan tersebut menunjukkan adanya perubahan struktur kimia buah (Setyabudi, 2010). Kandungan kimia pada pisang dapat diketahui dengan melakukan uji kimia destruktif. Uji kimia destruktif, seperti analisis kimia yang melibatkan penghancuran sampel, umumnya tidak digunakan dalam penelitian kandungan kimia pada pisang karena metode ini tidak efisien dan tidak ekologis.

Metode lain yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik material adalah metode SIL atau spektroskopi impedansi listrik (Giannoukos & Min, 2014; Mane & Mudhalwadkar, 2017; Mazalan et al., 2021; Raj. & Nikhilbinoy, 2013). Metode SIL dapat digunakan untuk merepresentasikan informasi terkait kualitas dan kuantitas bahan biologis. Hal ini karena terdapat hubungan antara karakteristik kelistrikan bahan biologis dengan keadaan fisiologisnya (Zhang et al., 2018).

Karakteristik impedansi jaringan biologis bergantung pada komposisi protein, vitamin, gula, dan air dari bahan penyusunnya (Chowdhury et al., 2015). *Bioimpedansi* juga dapat diartikan sebagai besaran fisika berupa impedansi listrik yang merepresentasikan kemampuan suatu bahan biologis dalam menghambat arus listrik. Ketika arus listrik disuntikkan ke suatu bahan, maka bahan tersebut akan menghasilkan respon yang menunjukkan karakteristik dan perilaku jaringan biologis (Giannoukos & Min, 2014). Variasi nilai impedansi mengungkapkan komposisi cairan dan membran ekstraseluler dan intraseluler jaringan biologis. Setiap bahan biologis memiliki nilai impedansi yang unik. Namun, rangkaian RC paralel umumnya dapat digunakan untuk mensimulasikan nilai impedansi bahan biologis (Chowdhury et al., 2015; Hlúbik, 2015).

Kelebihan metode SIL adalah mudah digunakan dan menghasilkan karakteristik berdasarkan spektrum impedansi listrik yang muncul sebagai bentuk respon suatu material, yang menunjukkan sifat listrik spesifik dari material tersebut. Metode pengukuran SIL bersifat *non-invasif*, aman, dan relatif murah (Cho et al., 2009). Metode SIL untuk menentukan tingkat kematangan buah dilakukan dalam sebuah penelitian. Metode ini menggunakan dua buah elektroda yang dimasukkan ke dalam kulit buah untuk mengetahui karakteristik buah durian. Penelitian ini menggunakan frekuensi tinggi untuk

mengurangi efek polarisasi material akibat penggunaan dua elektroda (Chowdhury, Kanti Bera, et al., 2017; Chowdhury, Singh, et al., 2017).

## Metode

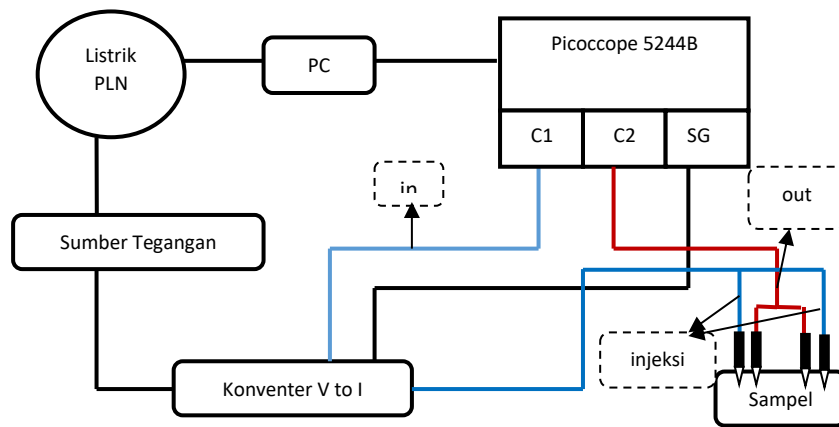
Elektroda perak, komputer, dan seperangkat alat uji Picoscope 5244B merupakan instrumen yang digunakan dalam penelitian ini. Pisang Ambon dijadikan sebagai sampel penelitian. Pisang asal Ambon dibeli dari pedagang. Satu ikat pisang Ambon digunakan untuk penelitian. Selanjutnya setiap unit terdiri dari satu ikat pisang Ambon yang dipotong kecil-kecil. Setelah memetik beberapa pisang cincang, bersihkan hingga bersih. Setelah itu, seluruh sampel disimpan di lingkungan terbuka selama sembilan hari. Setiap sampel dilakukan uji impedansi pada hari ke 1, 3, 5, 7, dan 9.

Elektroda yang terbuat dari jarum perak digunakan dalam penelitian ini. Ada empat elektroda; dua digunakan untuk injeksi arus dan dua lainnya untuk pengukuran tegangan keluaran. Untuk mengurangi efek lapisan ganda yang timbul selama pengukuran, digunakan empat elektroda. Gambar 1 adalah elektroda perak yang digunakan dalam pengukuran. Elektroda yang digunakan berdiameter 1 cm dengan jarak antar elektroda pengukur tegangan 8 mm, dan jarak antara elektroda pemberi arus dengan elektroda yang digunakan untuk mengukur tegangan adalah 3,6 mm.



Gambar 1. Elektroda 4 jarum berbahan perak

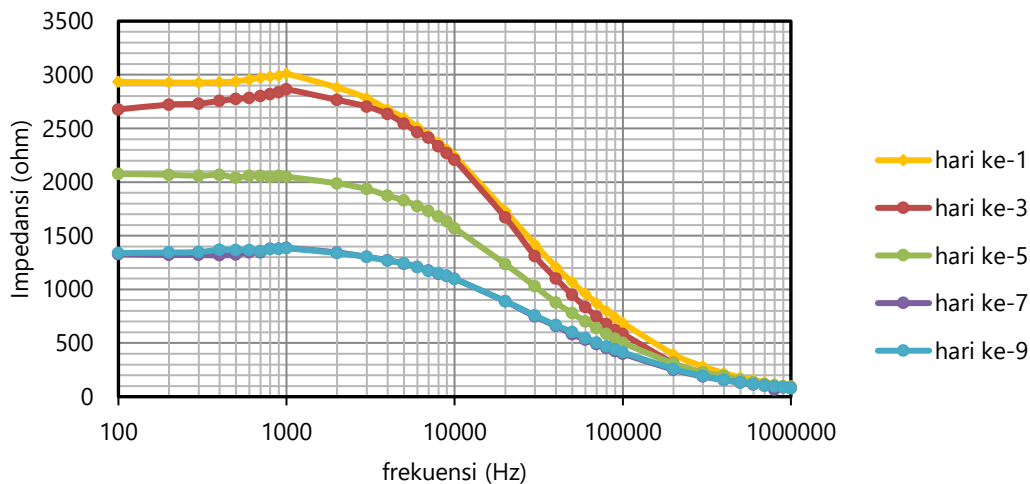
Sistem utama dalam percobaan pengukuran impedansi ini adalah seperangkat alat *Picoscope* tipe 5244B. Alat utamanya adalah *Picoscope* 5244B yang merupakan alat ukur gelombang listrik berbasis komputer. *Picoscope* dapat dijalankan menggunakan *software* bawaan yang terinstal di komputer. *Picoscope* dilengkapi dengan generator sinyal atau generator tegangan AC yang mampu beroperasi pada rentang frekuensi 0,3 Hz – 20 MHz. Anda dapat mengatur frekuensi dan amplitudo *Picoscope* melalui *software Picoscope* yang diinstal di komputer. Selain *Picoscope* juga terdapat sumber tegangan sebagai input konverter V-ke-I. Konverter V ke I merupakan alat yang digunakan untuk mengubah tegangan dari suatu sumber tegangan menjadi arus, yang nantinya akan diinjeksikan ke dalam sampel. Spesifikasi konverter V ke I yang digunakan pada penelitian ini dapat bekerja pada rentang frekuensi 100 Hz - 1 MHz. Gambar 2 menunjukkan serangkaian pengukuran impedansi pada pisang. Pada penelitian ini pengukuran dilakukan dengan menginjeksikan arus sebesar 1 mA pada buah pisang dengan rentang frekuensi pengukuran 100 Hz – 1 MHz.



Gambar 2. Sistem Pengukuran Spektroskopi Impedansi Listrik

## Hasil dan Pembahasan

Hubungan frekuensi dengan nilai impedansi buah pisang pada berbagai lama waktu penyimpanan ditunjukkan pada Gambar 3.

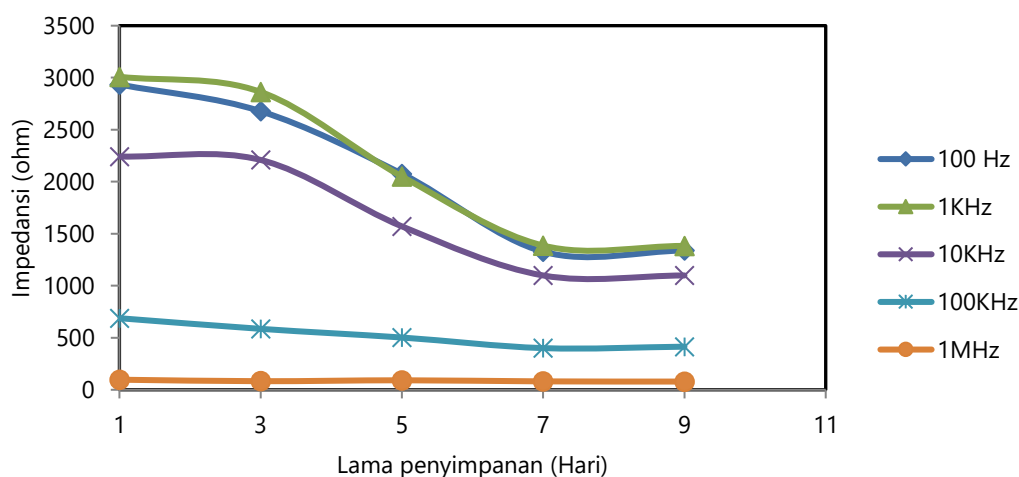


Gambar 3. Impedansi buah pisang pada berbagai tingkat kematangan

Pada Gambar 3 nilai impedansi antara hari pertama dan hari kesembilan mempunyai karakteristik yang sama. Nilai impedansinya relatif stabil hingga frekuensi 1 kHz, setelah itu terjadi penurunan nilai impedansi secara logaritmik. Pola karakteristik nilai impedansi menunjukkan nilai yang stabil karena pada frekuensi rendah, arus yang masuk ke media biologis hanya dapat melewati bagian ekstraseluler (Liu et al., 2016). Bagian ekstraseluler dimodelkan sebagai pembawa sifat resistif suatu material. Oleh karena itu, nilai impedansi akan didominasi oleh nilai resistansi suatu material. Terlihat pada rentang frekuensi rendah nilai impedansi buah pisang relatif stabil karena nilai resistif bahan tidak dipengaruhi oleh frekuensi. Pada frekuensi tinggi, penurunan nilai impedansi disebabkan oleh arus yang menembus bagian dalam sel. Setiap sel memiliki membran sel yang terdiri dari dua lapisan lemak yang memisahkan sel dari cairan ekstraseluler. Membran sel ini berperilaku sebagai kapasitor di dalam sel. Reaktansi kapasitif dalam bahan akan menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi yang diterapkan (Budoya et al., 2020; Matko & Milanovič, 2020). Semakin besar frekuensinya, semakin banyak gelombang yang

melewati suatu material (Mitra & Gopalakrishnan, 2016). Dalam kondisi ini, molekul-molekul material akan terpolarisasi dengan cepat. Akibatnya kemampuan kapasitor dalam menyimpan muatan menjadi lebih kecil, sehingga kemampuan material dalam mengalirkan arus menjadi lebih besar.

Pengaruh lama waktu penyimpanan terhadap nilai impedansi hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.



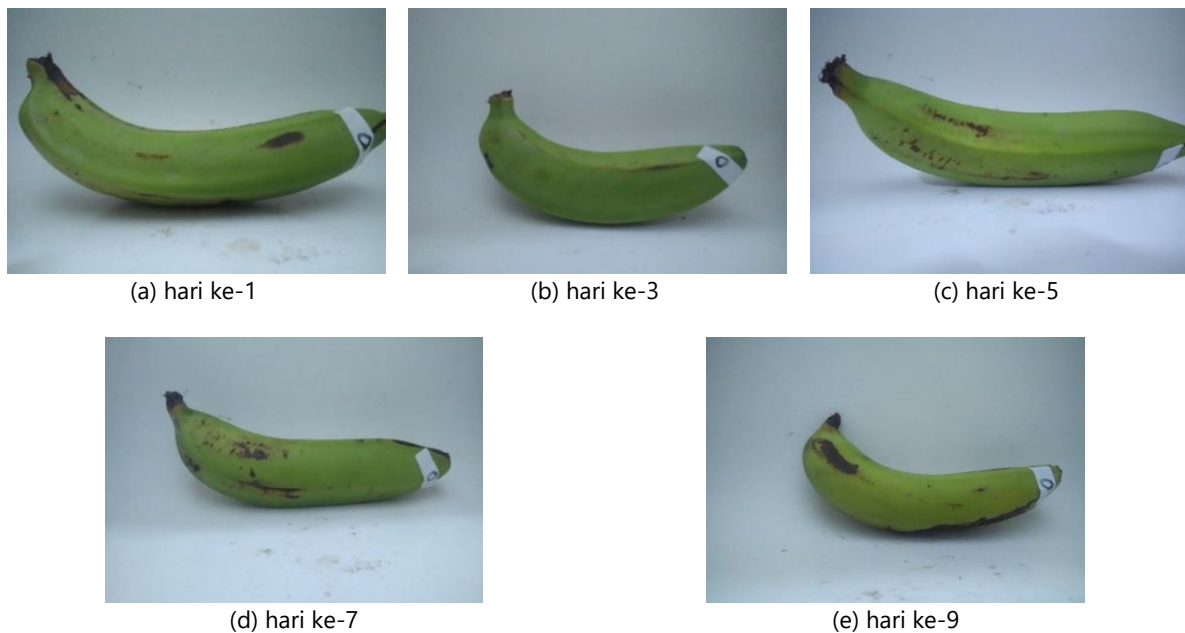
Gambar 4. Hubungan lama penyimpanan buah pisang dengan nilai impedansi

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan antara waktu penyimpanan dan nilai impedansi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode SIL dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah pisang. Semakin lama waktu penyimpanan maka pisang akan semakin matang dan nilai impedansi terukur akan semakin menurun. Namun pada kondisi pengukuran menggunakan frekuensi 1 MHz terlihat nilai impedansi buah pisang sudah tidak dapat dibedakan lagi. Hal ini dimungkinkan karena terbatasnya kinerja alat konverter V-ke-I.

Gambar 5 merupakan foto kondisi pisang pada saat pengukuran. Perubahan warna mengukur perubahan kematangan (Paul et al., 2012). Pada penelitian ini secara fisik kondisi visual buah pisang tetap hijau setelah disimpan selama sembilan hari, namun nilai impedansi buah pisang mengalami penurunan pada hari pertama hingga hari kesembilan. Secara visual buah pisang tidak tampak mengalami perubahan warna selama proses penyimpanan. Namun masih terjadi penurunan nilai impedansi, artinya metode SIL dapat mendeteksi perubahan karakteristik buah pisang.

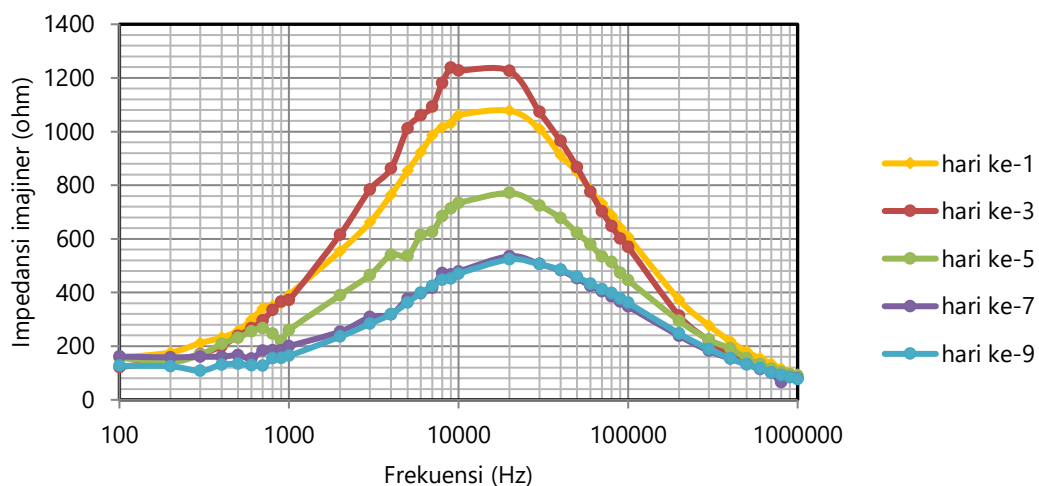
Penurunan nilai impedansi ini disebabkan karena pisang mengalami peningkatan kadar asam sehingga menyebabkan impedansinya menurun. Peningkatan kadar asam pada pisang yang masih hijau terjadi karena adanya biosintesis asam oksalat (Widodo et al., 2019). Hasil penelitian Utami et al. (2016) menunjukkan bahwa kadar vitamin C pada pisang akan meningkat hingga puncak kematangan dan menurun. Kondisi perubahan kadar asam pada buah pisang dapat diamati pada frekuensi rendah (100–1000 Hz), dimana pada frekuensi tersebut injeksi arus hanya mampu melewati bagian ekstraseluler sel.

Pada Gambar 4 terlihat bahwa pada frekuensi 100–1000 Hz terdapat perbedaan nilai yang menunjukkan adanya perubahan kadar asam pada buah pisang.



Gambar 5. Lama Penyimpanan Buah pisang

Selain perubahan warna pada proses pemasakan buah pisang, perubahan tekstur buah pisang juga menjadi indikator perubahan tingkat kematangan buah pisang. Selama proses pemasakan, struktur buah akan menjadi lebih lunak. Perubahan tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

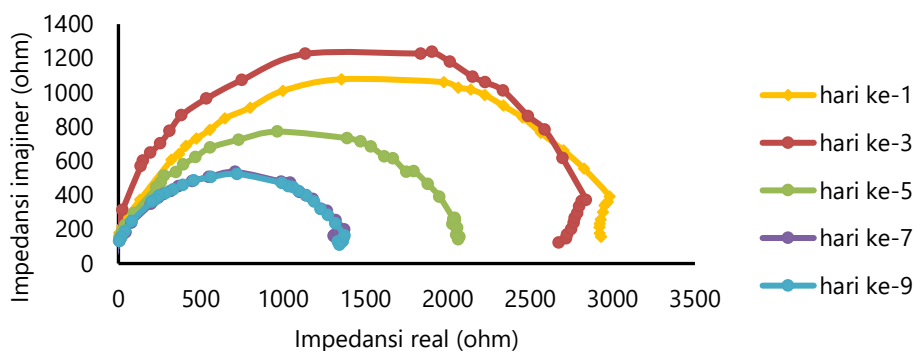


Gambar 6. Impedansi imajiner buah pisang pada berbagai tingkat kematangan

Gambar 6 menunjukkan perbedaan nilai impedansi imajiner dari pengukuran. Grafik ini menunjukkan ciri-ciri sifat kapasitif buah pisang. Terlihat bahwa sifat kapasitif buah pisang mulai berubah pada frekuensi di atas 1000 Hz. Perubahan nilai impedansi imajiner menandai munculnya sifat kapasitif ini sebagai hasil pengukuran. Secara teoritis hal ini terjadi karena pada frekuensi tinggi, arus yang disuntikkan ke dalam pisang dapat menembus dinding sel dan membran (Pratama et al., 2021).

Karakteristik dinding sel dan membran secara elektronik dapat dianalogikan dengan karakteristik kapasitor.

Perubahan tekstur pisang yang menjadi lebih lunak disebabkan oleh perubahan protopektin menjadi pektin yang disebut juga dengan hidrolisis pati. Perubahan ini juga menyebabkan struktur dinding sel menjadi lebih lunak; akibatnya, sifat karakteristik nilai impedansi imajiner yang diukur juga berubah. Hasil identifikasi tingkat kematangan buah pisang dapat dilihat secara jelas dengan membuat kurva Nyquist seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Nyquist hasil pengukuran

## Simpulan

Metode Spektroskopi Impedansi Listrik (SIL) dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kematangan buah pisang. Tingkat kematangan buah pisang mempengaruhi nilai impedansinya. Semakin matang buah pisang maka semakin rendah nilai impedansi terukurnya. Nilai impedansi buah pisang pada hari pertama sebesar 2934,667  $\Omega$ , sedangkan pada hari kesembilan nilai impedansi buah pisang sebesar 1338,667  $\Omega$  atau mengalami penurunan sebesar 54,4%. Perubahan nilai impedansi buah pisang pada frekuensi 100 Hz - 1 kHz disebabkan oleh peningkatan kandungan asam pada buah pisang sehingga mempengaruhi sifat resistifnya, sedangkan perubahan nilai impedansi buah pisang pada frekuensi tinggi 1 kHz - 1 MHz disebabkan oleh konversi protopektin menjadi pektin yang mempengaruhi sifat kapasitif impedansi.

Keterbatasan penelitian ini antara lain: pertama, penggunaan satu jenis pisang saja yaitu pisang Ambon sehingga membatasi generalisasi hasil pada varietas pisang lain yang mungkin mempunyai karakteristik impedansi listrik berbeda. Kedua, periode penyimpanan sembilan hari mungkin hanya menangkap beberapa perubahan tingkat kematangan pisang dalam jangka waktu yang lebih lama. Ketiga, rentang frekuensi pengukuran yang terbatas (100 Hz - 1 MHz) mungkin tidak memungkinkan teridentifikasinya perubahan yang lebih substansial pada tingkat kematangan tertentu. Saran untuk penelitian selanjutnya: pertama, studi komparasi varietas pisang dapat memberikan wawasan mengenai variasi respon impedansi listrik terhadap tingkat kematangan antar varietas pisang. Kedua, penelitian yang mempertimbangkan faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan cahaya dapat mengungkap

bagaimana kondisi lingkungan mempengaruhi karakteristik impedansi selama proses pemasakan dan penyimpanan.

## Referensi

- Aryani, T., Mu'awanah, I. A. U., & Widyantara, A. B. (2018). Karakteristik Fisik, Kandungan Gizi Tepung Kulit Pisang dan Perbandingannya terhadap Syarat Mutu Tepung Terigu. *JRST (Jurnal Riset Sains Dan Teknologi)*, 2(2), 45. <https://doi.org/10.30595/jrst.v2i2.3094>
- Budoya, D. E., Campeiro, L. M., & Baptista, F. G. (2020). Sensitivity Enhancement of Piezoelectric Transducers for Impedance-Based Damage Detection via a Negative Capacitance Interface. *IEEE Sensors Journal*, 20(23), 13892–13900. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2956782>
- Cho, Y., Kim, H. S., Frazier, A. B., Chen, Z. G., Shin, D. M., & Han, A. (2009). Whole-Cell Impedance Analysis for Highly and Poorly Metastatic Cancer Cells. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 18(4), 808–817. <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2009.2021821>
- Chowdhury, A., Bera, T. K., Ghoshal, D., & Chakraborty, B. (2015). Studying the electrical impedance variations in banana ripening using electrical impedance spectroscopy (EIS). *Proceedings of the 2015 Third International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology (C3IT)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/C3IT.2015.7060196>
- Chowdhury, A., Kanti Bera, T., Ghoshal, D., & Chakraborty, B. (2017). Electrical Impedance Variations in Banana Ripening: An Analytical Study with Electrical Impedance Spectroscopy. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12387. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12387>
- Chowdhury, A., Singh, P., Bera, T. K., Ghoshal, D., & Chakraborty, B. (2017). Electrical impedance spectroscopic study of mandarin orange during ripening. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(4), 1654–1664. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9545-y>
- Giannoukos, G., & Min, M. (2014). Modelling of Dynamic Electrical Bioimpedance and Measurements Safety. *AASRI Procedia*, 6, 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.aasri.2014.05.003>
- Hlúbik, J. (2015). *Bioimpedance measurement of specific body resistance*. Czech Technical University.
- Imam, M. Z., & Akter, S. (2011). Musa paradisiaca L. and Musa sapientum L.: A Phytochemical and Pharmacological Review. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 1(5), 14–20. [https://japsonline.com/admin/php/uploads/78\\_pdf.pdf](https://japsonline.com/admin/php/uploads/78_pdf.pdf)
- Liu, L., Pohnert, G., & Wei, D. (2016). Extracellular Metabolites from Industrial Microalgae and Their Biotechnological Potential. *Marine Drugs*, 14(10), 191. <https://doi.org/10.3390/md14100191>
- Mane, N. V., & Mudhalwadkar, R. P. (2017). Banana ripeness assessment by impedance spectroscopy. *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, 527–529. <https://doi.org/10.1109/ICPCSI.2017.8392349>
- Matko, V., & Milanovič, M. (2020). Detection Principles of Temperature Compensated Oscillators with Reactance Influence on Piezoelectric Resonator. *Sensors*, 20(3), 802. <https://doi.org/10.3390/s20030802>
- Mazalan, M., Noor, A., Wahab, Y., Yahud, S., & Zaman, W. (2021). Current Development in Interdigital Transducer (IDT) Surface Acoustic Wave Devices for Live Cell In Vitro Studies: A Review. *Micromachines*, 13(1), 30. <https://doi.org/10.3390/mi13010030>
- Mitra, M., & Gopalakrishnan, S. (2016). Guided wave based structural health monitoring: A review. *Smart Materials and Structures*, 25(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/5/053001>
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>
- Pratama, A., Amrita, A. A. N., & Khrisne, D. C. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Listrik Tiga Fasa Berbasis Wireless Sensor Network Menggunakan LoRa Ra-02 SX1278. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(2), 351. <https://doi.org/10.24843/MITE.2021.v20i02.P20>
- Raj., R., & Nikhilbinoy, C. (2013). Bio Impedance Spectroscopy for the Assessment of Quality of Fruits by Constructing the Equivalent Circuit. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(11),



1773–1776. <https://doi.org/10.17577/IJERTV2IS110626>

- Setyabudi, D. A. (2010). Bangsa Penanganan Pascapanen Buah dalam Teknologi Penanganan Pascapanen untuk Buah Pasar. In W. Broto (Ed.), *Postharvest Fruit Handling Technology for Market* (pp. 47–68).
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review. *Food Chemistry*, 206, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.033>
- Utami, S., Widiyanto, J., & Kristianita, K. (2016). Pengaruh Cara Dan Lama Pemeraman Terhadap Kandungan Vitamin C Pada Buah Pisang Raja (*Musa Paradisiaca* L). *Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 1(2), 42–47. <https://doi.org/10.25273/jems.v1i2.131>
- Utami, Sasongko, H., Salamah, Z., & Purbosari, P. P. (2022). Peningkatan Kapasitas Kewirausahaan Melalui Pelatihan Olahan Keripik Pisang Bagi Kelompok Wanita Tani Di Desa Somongari. *Jurnal Abdi Insani*, 9(4), 1555–1563. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v9i4.777>
- Widodo, W. D., Suketi, K., & Rahardjo, R. (2019). Evaluasi Kematangan Pascapanen Pisang Barangan untuk Menentukan Waktu Panen Terbaik Berdasarkan Akumulasi Satuan Panas. *Buletin Agrohorti*, 7(2), 162–171. <https://doi.org/10.29244/agrob.7.2.162-171>
- Zhang, F., Jin, T., Hu, Q., & He, P. (2018). Distinguishing skin cancer cells and normal cells using electrical impedance spectroscopy. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 823, 531–536. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2018.06.021>