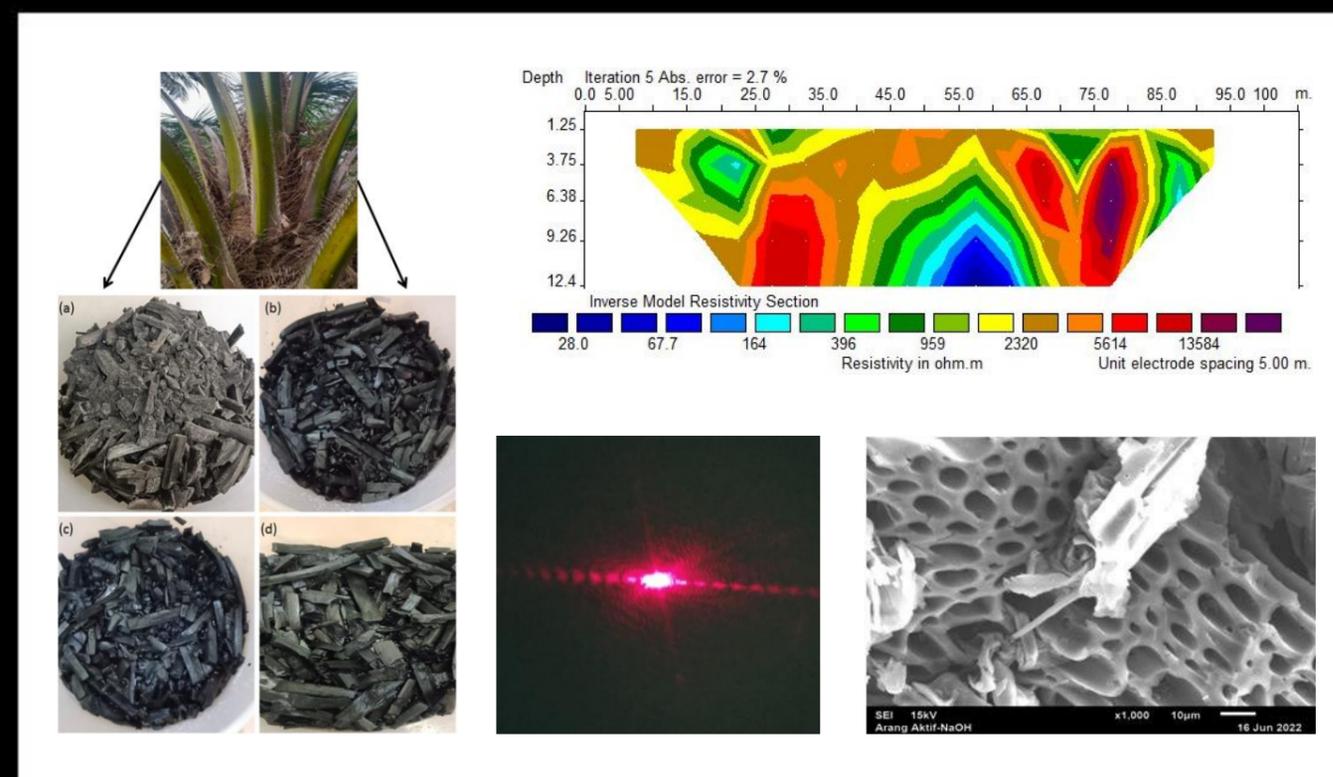


# Indonesian Physics Communication

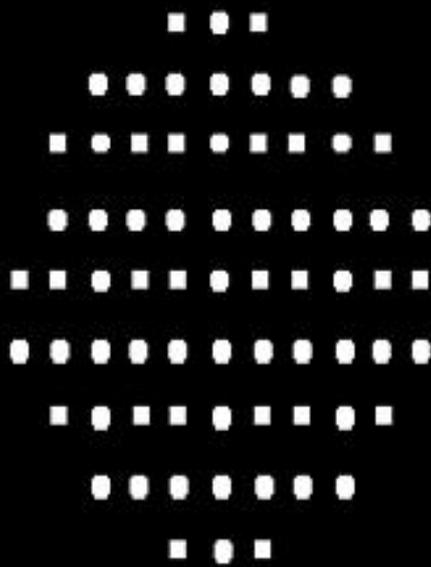


ISSN 1412 2960

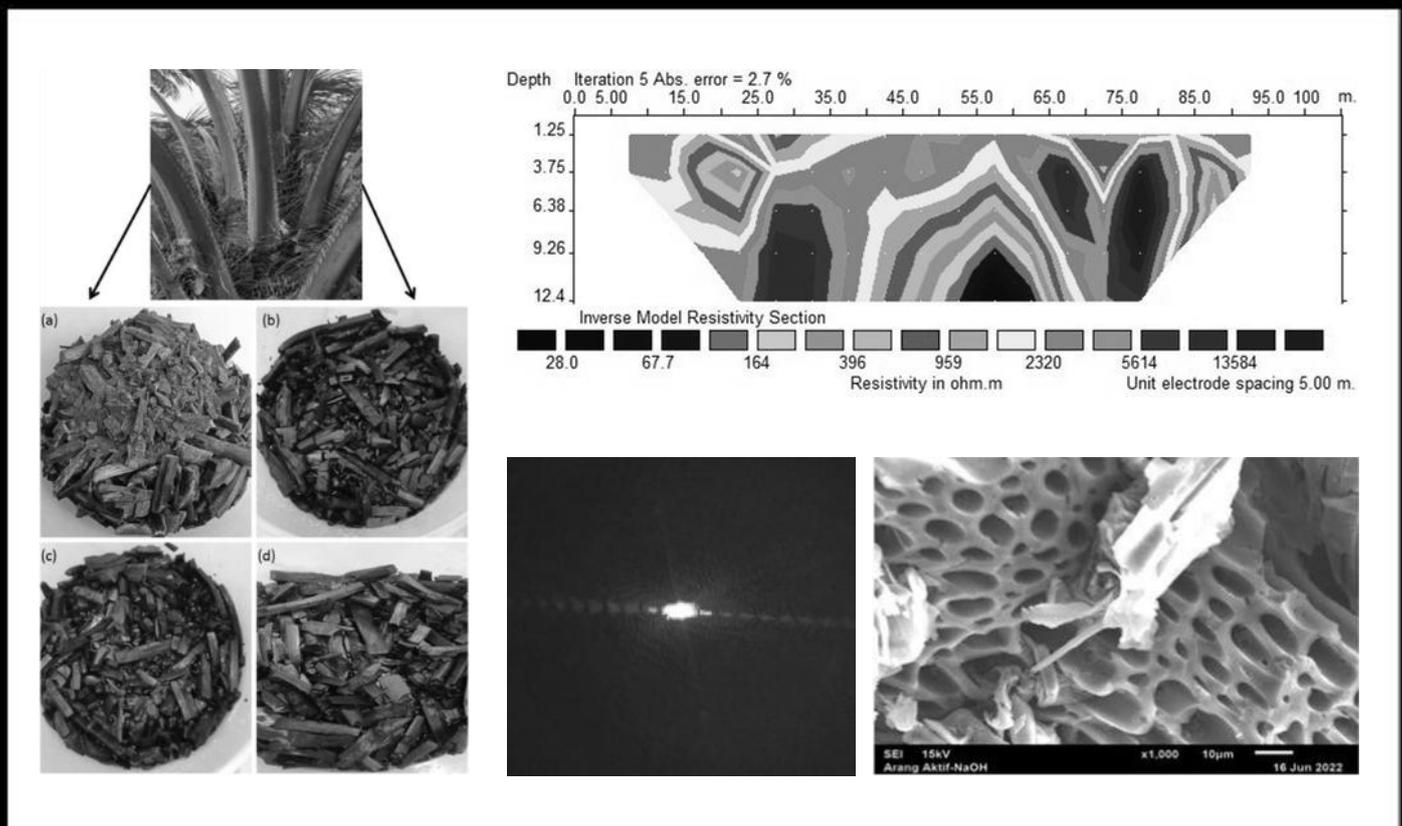
Indonesian Physics Communication  
Vol. 21 No. 01  
March 2024  
Department of Physics, Universitas Riau  
Pekanbaru



Department of Physics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12.5  
Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293



# Indonesian Physics Communication





**Susunan Dewan Redaksi Jurnal *Indonesian Physics Communication* (IPC)  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau**

**Penanggung Jawab:** Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

**Pimpinan Redaksi:** Drs. Usman Malik, M.Si (Universitas Riau)

**Managing Editor:**

1. Prof. Dr. Saktioto, S.Si., M.Phil (Universitas Riau)
2. Drs. Defrianto, DEA (Universitas Riau)
3. Prof. Dr. Rakhmawati Farma, M.Si (Universitas Riau)
4. Romi Fadli Syahputra, M.Si (Universitas Riau)
5. Wahyu Candra, S.Si (Universitas Riau)
6. Yan Soerbakti, S.Si (Universitas Riau)

**Dewan Reviewer / Editorial Board:**

1. Prof. Dr. Erwin, M.Sc (Universitas Riau)
2. Prof. Dr. Warsito, DEA (Universitas Lampung)
3. Prof. Dr. Timbangan Sembiring, M.Sc (Universitas Sumatera Utara)
4. Prof. Dr. Edy Saputra, M.Sc (Universitas Riau)
5. Prof. Dr. Erman Taer, M.Si (Universitas Riau)
6. Dr. Minarni, M.Sc (Universitas Riau)
7. Prof. Dr. Okfalisa, ST., M.Sc (Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim)
8. Dr. Dedi Irawan, M.Sc (Universitas Riau)
9. Dr. Ing. Rahmondia Nanda Setiadi, M.Si (Universitas Riau)
10. Dr. Efizal, M.Sc (Universitas Islam Riau)
11. Dr. Hamzah, M.Sc (Universitas Lancang Kuning)
12. Rizadi Sasmita Darwis, S.T., M.T. (Politeknik Caltex Riau)

**Alamat Redaksi:**

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru  
Homepage: <https://kfi.ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI>  
E-mail: [kfi@ejournal.unri.ac.id](mailto:kfi@ejournal.unri.ac.id)

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iii
Laser as a tool to measure the diameter of goat hair ( <i>Capra aegagrus hircus</i> ) <i>Rani Rahmawati, Widi Komariah, Helmina Pebriyanti, Dedeh Sukmawati, Siti Rusmiati, Retno Nopita, Eko Sujarwanto</i>	1-6
What substances do we inhale? - Air quality measurement using an Android-based application <i>Endang Surahman, Eko Sujarwanto, Irwan Muhammad Ridwan</i>	7-12
Effectiveness of adding ZnO thin films to metamaterial structures as sensors <i>Saktioto Saktioto, Yan Soerbakti, Ari Sulisty Rini, Budi Astuti, Erman Taer, Rahmondia Nanda Setiadi, Syamsudhuha Syamsudhuha, Sofia Anita, Yolanda Rati</i>	13-24
Comparison of measuring the noise level of glass wool soundproofing material using a sound level meter and the KY-037 noise measuring instrument <i>Indah Pratiwi Tanjung, Masthura Masthura, Nazaruddin Nasution</i>	25-32
IoT-based noise measuring tool with FC-04 sound sensor for polyurethane dampening materials <i>Vicha Indriany, Masthura Masthura, Nazaruddin Nasution</i>	33-40
Effect of calorific value on the burning rate of coconut shell briquettes and teak wood powder <i>Nur Aisah Sagala, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis</i>	41-44
Design an automatic trash can using the HC-SR04 ultrasonic sensor based on the Arduino Uno microcontroller <i>Anggi Kumala Dwi, Mulkan Iskandar Nasution, Nazaruddin Nasution</i>	45-50
An internet of things-based monitoring system for agricultural land suitability for oil palm planting <i>Amriansyah Simatupang, Mulkan Iskandar Nasution, Muhammad Nuh</i>	51-58
Morphology test of activated charcoal from oil palm fronds with H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> and NaOH activators <i>Debby Marantika, Masthura Masthura, Ratni Sirait</i>	59-62

Fabrication of carbon electrodes from young coconut fiber by varying the carbonization temperature as a supercapacitor application <i>Sri Ulina Karo Sekali, Awitdrus Awitdrus</i>	63-66
Identification of hot springs in Sungai Pinang using the Schlumberger configuration geoelectric method <i>Lily Wandari, Usman Malik</i>	67-72
Identify coal distribution based on resistivity values using the Wenner configuration geoelectric method in Petai Village, Singingi Hilir District, Kuantan Singingi Regency <i>Hijrah Septia Anisa, Usman Malik, Krisman Sabar, Sherly Mutiara</i>	73-78
Analysis of temperature patterns in Pekanbaru City using fractals and artificial neural networks based on monthly temperature data <i>Reynal Nur Razzaq, Defrianto Defrianto</i>	79-90
Classification of maturity levels of oil palm fresh fruit bunches using LED-based multispectral imaging methods and principal component analysis <i>Mohammad Fisal Rabin, Minarni Shiddiq, Rahmondia Nanda Setiadi, Ihsan Okta Harmailil, Ramdani Ramdani, Dedi Permana</i>	91-98
Potential of palm frond waste as a basic material for making porous activated carbon <i>Novi Yanti, Pharada Kresna, Muhammad Nasir, Rakhmawati Farma, Lilik Tri Hardanto, Rika Taslim, Erman Taer</i>	99-108

## Laser as a tool to measure the diameter of goat hair (*Capra aegagrus hircus*)

Rani Rahmawati, Widi Komariah, Helmina Pebriyanti,  
 Dedeh Sukmawati, Siti Rusmiati, Retno Nopita, Eko Sujarwanto\*

Department of Physics Education, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya 46115, Indonesia

\*Corresponding author: [eko.sujarwanto@unsil.ac.id](mailto:eko.sujarwanto@unsil.ac.id)

### ABSTRACT

Measuring the diameter of objects that have dimensions less than 1/100 mm has a high degree of difficulty. The use of a micrometer is still not able to make these measurements. One way that can be used is to use the concept of diffraction. The purpose of this study was to measure the diameter of goat hair using the concept of diffraction. The tools used are a laser with a red wavelength, a screen, support, and specimens of goat hair. Measurements were taken three times with results of  $13.9 \times 10^{-5}$ ,  $11 \times 10^{-5}$ , and  $8 \times 10^{-5}$  m. The diameter values obtained from this experiment are still within the diameter range of mammalian hair, which is on the order of  $10^{-5}$  m. Based on this experimental activity, it can also be seen that hair can be used to demonstrate the phenomenon of diffraction due to the characteristics of hair being filamentous and has a diameter close to the wavelength of light from a laser, so that it can produce a diffraction pattern when light is passed through the laser.

**Keywords:** *Capra aegagrus hircus*; diffraction; goat; hair diameter; laser

Received 21-07-2023 | Revised 07-12-2023 | Accepted 08-12-2023 | Published 07-03-2024

### PENDAHULUAN

Fisika adalah salah satu cabang ilmu pengetahuan yang membahas terkait dengan sifat, hukum-hukum alam, serta aplikasi dalam kehidupan sehari-hari, memiliki konsep yang konkret dan juga abstrak. Banyak konsep fisika yang bersifat abstrak maka sering kali mengalami kesulitan memvisualisasikan dalam proses pembelajaran. Sehingga berdampak pada sulitnya seseorang untuk memahami materi tersebut [1].

Untuk mengatasi masalah di atas, maka diperlukan sebuah keterampilan proses sains yang dikombinasikan dengan pendekatan saintifik dan metode praktikum. Berdasarkan pernyataan Haryato et al. menyebutkan bahwa dengan menggunakan alat peraga dalam praktikum, akan meningkatkan keterampilan proses peserta didik [2]. Alat peraga praktikum digunakan dalam proses pembelajaran bertujuan supaya peserta didik mendapatkan pengalaman langsung yang berkaitan dengan materi pembelajaran, dengan kegiatan pembelajaran yang dilaksanakan dengan cara

yang menarik dan aktif. Hal tersebut akan mempengaruhi tingkat pemahaman peserta didik terhadap materi pembelajaran [2].

Salah satu konsep dalam fisika adalah gelombang elektromagnetik, yang memuat fenomena difraksi dan interferensi. Difraksi cahaya terjadi karena adanya penghalang berupa celah sempit yang menyebabkan terjadinya peristiwa pembelokan atau penyebaran gelombang [3]. Gelombang tersebut dapat terdifraksi dan berinterferensi antara satu gelombang dengan gelombang lainnya. Interferensi pada gelombang menghasilkan dua keadaan, yaitu keadaan yang lebih terang (interferensi konstruktif) dan keadaan yang lebih gelap (interferensi destruktif). Untuk itu, telah dilakukan sebuah praktikum dengan alat peraga yang memanfaatkan sinar laser dan rambut kambing sebagai bahan praktikum agar dapat memahami materi tentang difraksi pada mata kuliah Gelombang Elektromagnetik.

Menurut Nuraeni *et al.* (2019), fenomena difraksi ini dapat ditunjukkan dengan menggunakan laser dan rambut manusia atau hewan mamalia lainnya seperti kambing [4].

Penggunaan rambut disebabkan karena rambut memiliki karakteristik berserabut. Laser (*light amplification by stimulated emission of radiation*) merupakan alat yang dapat memancarkan radiasi elektromagnetik [4]. Laser memancarkan foton dengan pancaran yang koheren dan tunggal. Sinar laser memiliki sifat yang istimewa, diantaranya yaitu monokromatik, koheren, dan sangat terarah. Cahaya yang dipancarkan oleh laser memiliki nilai panjang gelombang tertentu yang menyebabkan laser dapat menghasilkan sinar radiasi yang sempit. Pada umumnya, laser yang beredar di pasaran merupakan laser yang memiliki intensitas cahaya rendah. Namun, laser tersebut masih bisa digunakan untuk menunjukkan fenomena difraksi.

Fenomena difraksi yang ditunjukkan oleh alat peraga yang terdiri dari laser dan rambut disebabkan karena cahaya laser melewati celah sempit pada rambut. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya pola difraksi pada layar, yaitu pola yang terdiri pita terang dan pita gelap [4]. Pada percobaan yang telah dilakukan, objek yang digunakan dalam pengukuran diameter adalah rambut kambing. Percobaan ini dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan fenomena difraksi dengan menggunakan alat sederhana yang ada di kehidupan sehari-hari dan mendapatkan nilai diameter dari rambut kambing melalui fenomena difraksi ini.

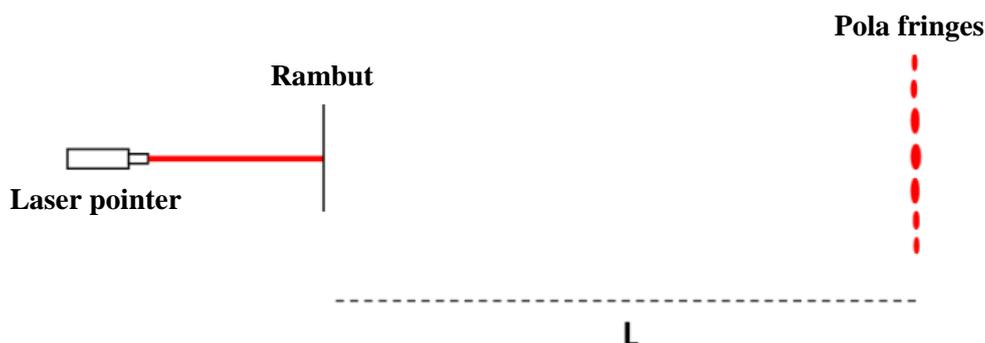
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan menggunakan difraksi sinar laser. Laser yang digunakan adalah laser monokromatis berwarna merah dengan panjang

gelombang 650 nm atau  $6,5 \times 10^{-7}$  m. Alat dan bahan yang digunakan adalah laser merah dengan panjang gelombang 650 nm sebagai sumber cahaya, kertas HVS sebagai layar untuk melihat hasil difraksi, penggaris untuk mengukur jarak dari layar ke rambut dan jarak antar celah terang gelap, spidol Untuk menandai setiap perpindahan jarak dari layar ke rambut dan jarak antar celah terang gelap, lakban bening untuk merekatkan laser dengan bulu kambing, tripod sebagai penyangga laser, dan bulu kambing sebagai objek pengamatan. Rambut kambing berasal dari dua kambing yang berbeda.

Prosedur percobaan pada pengukuran diameter bulu kambing menggunakan laser adalah sebagai berikut:

1. Menempelkan kertas HVS ke dinding sebagai layar.
2. Menempelkan bulu kambing pada laser menggunakan lakban bening.
3. Memasang laser yang sudah ditempelkan dengan bulu kambing pada tripod sebagai alat penyangga laser.
4. Mengatur jarak laser dengan layar sejauh 1,6 m.
5. Menyalakan dan menembakkan sinar laser tepat jatuh pada layar.
6. Menandai terang pusat dan ukur jarak antara pola terang pusat ke pola terang di kedua sisi kanan dan kiri pada layar.
7. Mengulangi langkah 2 – 6 pada 2 bulu kambing yang berbeda, dengan setiap helai bulu kambing dilakukan 2 kali pengulangan sehingga data yang diperoleh  $2 \times 2 \times 2 = 8$  percobaan.



**Gambar 1.** Skema alat untuk mengukur diameter rambut kambing (*Capra aegagrus hircus*).

Skema eksperimen ditunjukkan Gambar 1. Data berupa hasil pengukuran jarak antara pola terang pusat ke tepi pola terang di kedua sisi kanan dan kiri pada layar terbentuk karena fenomena difraksi. Diameter rambut ditentukan dengan menggunakan Persamaan (1):

$$d = \frac{n\lambda}{\sin \theta} \quad (1)$$

dimana  $\sin \theta = y/L$ ,  $y$  = jarak terang ke- $n$  terang pusat, dan  $L$  = jarak objek dengan layar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kambing yang diukur rambutnya sejumlah dua ekor. Berdasarkan Tabel 1, didapatkan bahwa percobaan pada kambing pertama dengan dua rambut yang berbeda menghasilkan rata-rata diameter rambut sebesar  $13,9 \times 10^{-5}$  m. Sementara pada Tabel 2, percobaan pada kambing kedua dengan dua rambut yang berbeda juga, menghasilkan rata-rata diameter rambut sebesar  $11 \times 10^{-5}$  m dan  $8 \times 10^{-5}$  m.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan diameter rambut kambing pertama.

Rambut ke-n	Ulangan ke-n	$y_1$ (m)	$d$ (m)	Rata-rata (m)
1	1	$8 \times 10^{-5}$	$13 \times 10^{-5}$	$13,9 \times 10^{-5}$
	2	$7 \times 10^{-5}$	$14,9 \times 10^{-5}$	
2	1	$7 \times 10^{-5}$	$14,9 \times 10^{-5}$	$13,9 \times 10^{-5}$
	2	$8 \times 10^{-5}$	$13 \times 10^{-5}$	

**Tabel 2.** Hasil perhitungan diameter rambut kambing kedua.

Rambut ke-n	Ulangan ke-n	$y_1$ (m)	$d$ (m)	Rata-rata (m)
1	1	$9 \times 10^{-5}$	$11,6 \times 10^{-5}$	$11 \times 10^{-5}$
	2	$10 \times 10^{-5}$	$10,4 \times 10^{-5}$	
2	1	$13 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$
	2	$13 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	

Percobaan dari kedua kambing menghasilkan diameter rambut yang berbeda-beda, hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan jarak ke pola gelap pertama di setiap percobaannya. Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan matematis dari Persamaan 1 yang berkaitan dengan difraksi. Pola difraksi yang teramati ditunjukkan Gambar 2.

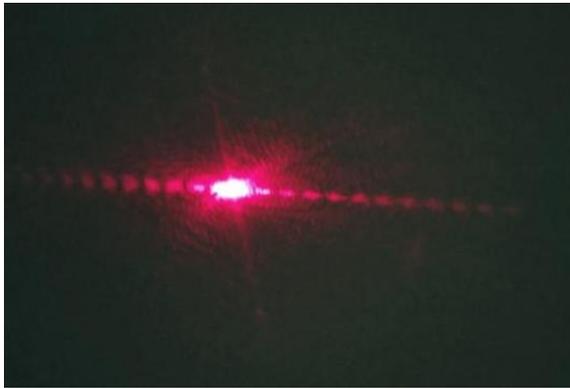
Percobaan yang dilakukan bertujuan untuk mengukur diameter rambut kambing, menggunakan prinsip difraksi. Percobaan dilakukan dengan menggunakan rambut kambing dan laser. Proses pengambilan data dilakukan di ruangan dengan pencahayaan yang rendah, hal ini bertujuan supaya pola difraksi yang dihasilkan oleh cahaya laser yang mengenai rambut kambing dapat terbentuk dan terlihat dengan jelas.

Sinar laser merupakan cahaya monokromatik [5]. Laser yang digunakan pada

percobaan ini merupakan laser yang memiliki sinar berwarna merah, dengan spesifikasi panjang gelombang sebesar 630 – 650 nm. Pada percobaan ini, sumber cahaya monokromatik dari sinar laser yang berwarna merah dihalangi oleh rambut kambing. Hal tersebut menyebabkan sinar laser menyebar pada rambut, sehingga menciptakan pola difraksi yang terdiri dari pola gelap dan pola terang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa pancaran sinar laser yang mengenai rambut menghasilkan intensitas cahaya yang berbeda-beda pada layar. Intensitas cahaya di bagian pusat memiliki intensitas yang paling tinggi, sementara semakin ke samping kiri dan samping kanan intensitas cahaya yang dihasilkan semakin rendah. Hal ini dapat disebabkan karena cahaya dari sinar laser yang melewati rambut sebagai celah tunggal,

menghasilkan pola difraksi dengan intensitas yang lebih besar pada pusat maksimum (terang pusat) dan intensitas yang lebih rendah pada kedua sisinya [6]. Hubungan antara Gambar dengan intensitas pola difraksi celah tunggal ditunjukkan oleh Gambar 3.

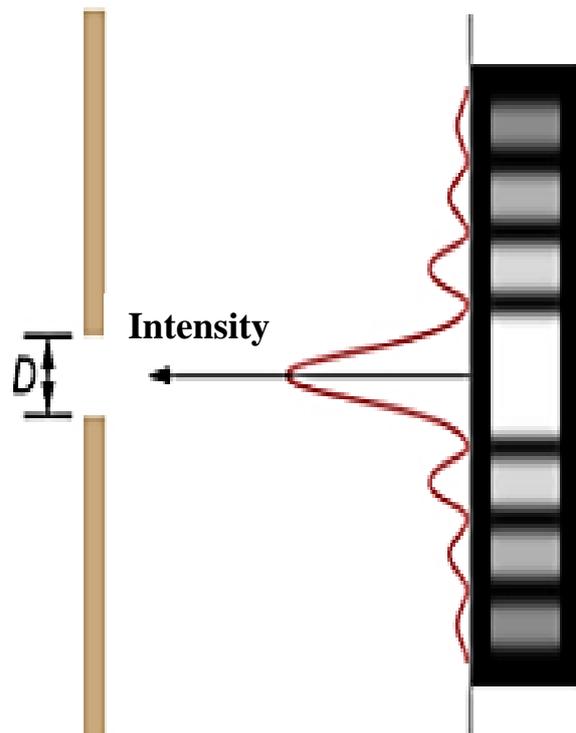


**Gambar 2.** Pola gelap terang difraksi pada layar yang dihasilkan saat laser mengenai rambut kambing.

Diameter dari rambut kambing diukur dengan menggunakan empat sampel rambut dari dua kambing, dengan masing-masing kambing terdiri dari dua sampel rambut yang berbeda. Percobaan dilakukan sebanyak delapan kali, dengan masing-masing rambut dilakukan dua kali percobaan. Rambut diletakkan tepat di bagian depan laser, sehingga jarak antara layar dengan laser dan jarak antara layar dengan rambut memiliki jarak yang sama, yaitu 1,6 m.

Hasil perhitungan dengan menggunakan Persamaan 1, ditunjukkan pada Tabel 1, dengan nilai rata-rata diameter rambut terdiri dari  $13,9 \times 10^{-5}$ ,  $11 \times 10^{-5}$ , dan  $8 \times 10^{-5}$  m. Berdasarkan Nuraeni *et al.* (2019), pengukuran diameter manusia dengan menggunakan prinsip difraksi menghasilkan kisaran diameter rambut  $6 \times 10^{-5}$  m sampai  $18 \times 10^{-5}$  m [4]. Selain itu, hasil pengukuran yang dilakukan oleh Greenslade (2000) menghasilkan diameter kumis kucing pada ujung tipis sebesar  $7,6 \times 10^{-5}$  m [7]. Percobaan yang dilakukan oleh Dichtel *et al.* (2023) dalam pengukuran diameter rambut manusia menghasilkan diameter sebesar  $5,15 \times 10^{-5}$  m [8]. Messer (2018) juga melakukan percobaan serupa pada rambut manusia,

memperoleh rata-rata diameter rambut pada kisaran  $7 \times 10^{-5}$  m [9]. Sementara, Yogaswara *et al.* (2018) melakukan percobaan dengan metode difraksi berbasis citra digital memperoleh diameter rambut manusia pada orde  $10^{-5}$  m [10]. Berdasarkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya, dapat diketahui bahwa hasil percobaan yang telah dilakukan untuk mendapatkan nilai diameter rambut kambing masih dalam rentang diameter rambut-rambut makhluk mamalia.



**Gambar 3.** Intensitas pola difraksi celah tunggal [6].

Dalam proses mendapatkan nilai diameter rambut kambing, peneliti mengalami kendala saat proses percobaan berlangsung. Kendala-kendala tersebut berasal dari faktor alat yang digunakan dan faktor yang berasal dari pengamat. Kendala pada faktor alat, yaitu laser yang harus selalu ditekan untuk memancarkan cahaya sehingga mempengaruhi posisi pola difraksi pada layar yang kurang stabil. Selain itu, sinar yang dipancarkan laser pada layar tidak menghasilkan cahaya laser yang terpusat, tapi menyebar membentuk titik yang besar. Hal ini menyebabkan pola difraksi tidak dapat terlihat dengan jelas. Kendala pada faktor

pengamat adalah karena kurangnya ketelitian tentang percobaan ini menyebabkan proses pelaksanaan percobaan terhambat dan harus melakukan percobaan ulang untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Solusi dari kendala-kendala yang dialami, yaitu pada kendala pertama peneliti menggunakan cara merekatkan bagian tumbol laser dengan kuat dan menempatkan laser pada alat tripod sehingga hasil pola difraksi pada layar yang didapatkan lebih stabil dan jelas. Pada kendala kedua, peneliti menempatkan rambut pada bagian yang tepat pada alat laser, peneliti juga merekatkan rambut dengan kuat karena masalah tersebut disebabkan oleh rambut yang tidak menempel secara tepat pada laser. Sementara, pada kendala yang berasal dari faktor pengamat, peneliti melakukan pencarian referensi-referensi yang berkaitan dengan percobaan ini untuk meningkatkan ketelitian dan meminimalisasi terjadinya kesalahan selama proses percobaan. Selain terjadinya kendala-kendala selama proses percobaan, cara percobaan yang dilakukan juga mengalami kelemahan, yaitu jika tidak menempatkan rambut pada posisi yang tepat, maka pola difraksi yang didapatkan juga kurang baik. Selain itu, cara percobaan ini rawan terjadi kesalahan dalam menentukan pola gelap terang pada layar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil percobaan dan pengamatan dapat disimpulkan bahwa, diameter dari rambut kambing memiliki rata-rata  $13,9 \times 10^{-5}$ ,  $11 \times 10^{-5}$ , dan  $8 \times 10^{-5}$  m. Nilai diameter yang didapatkan dari percobaan ini masih terdapat dalam kisaran diameter yang dimiliki oleh rambut mamalia, yaitu berkisar pada orde  $10^{-5}$  m. Berdasarkan kegiatan percobaan ini juga, dapat diketahui bahwa rambut dapat digunakan untuk menunjukkan fenomena difraksi karena rambut memiliki diameter yang seorde dengan panjang gelombang sinar laser merah. Percobaan ini telah menunjukkan bahwa fenomena difraksi dapat ditunjukkan dengan

alat yang sederhana dan dapat dijadikan alternatif dalam media pembelajaran di kelas.

## REFERENSI

1. Amanda, F. D., Purwaningsih, S., & Dani, R. (2022). Pengembangan media virtual laboratory menggunakan Adobe Flash CS5.5 pada materi difraksi laser. *Jurnal Pendidikan Fisika*, **10**(1), 123–140.
2. Haryanto, F. A. O. D., Shiddiq, M., & Setiadi, R. N. (2020). Pengembangan kit praktikum gelombang elektromagnetik untuk meningkatkan keterampilan proses siswa SMA. *Jurnal Edu Sains*, **3**(1), 9–18.
3. Susilayati, M. (2016). Difraksi pada laser: Tafsir atas “Cahaya di atas cahaya”?. *SHAHIH: Journal of Islamicate Multidisciplinary*, **1**(2), 193–205.
4. Nuraeni, A., Nurfa, N. N., Nisa, P. A., Azzahra, U. H., & Sujarwanto, E. (2019). Penentuan diameter rambut menggunakan laser sebagai fenomena difraksi pada biomaterial. *Diffraction*, **1**(2), 29–33.
5. Kholifudin, M. Y. (2017). Sinar laser mainan sebagai alternatif sumber cahaya monokromatik praktikum kisi difraksi cahaya. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, **8**(2), 129–134.
6. Ling, S. J., Sanny, J., & Moebis, W. (2018). *University Physics Volume 3*. Texas: OpenStax.
7. Greenslade Jr, T. B. (2000). Diffraction by a cat’s whisker. *The Physics Teacher*, **38**(7), 422–422.
8. Dichtel, C. R., Dichtel, J. R., & Dichtel, W. R. (2023). Experimental measurement of the diameter of a human hair via two-color light diffraction. *Psychiatry*, **86**(3), 267–270.
9. Messer, R. (2018). Single slit interference made easy with a strand of hair and a laser.

- The Physics Teacher*, **56**(1), 58–59.
10. Yogaswara, Y., Nurzaman, I., Aimon, A. H., & Kurniasih, N. (2018). Perhitungan

diameter dan modulus elastisitas rambut dengan metode difraksi berbasis citra digital. *Prosiding SNIPS*, 262–268.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## What substances do we inhale? - Air quality measurement using an Android-based application

Endang Surahman<sup>1</sup>, Eko Sujarwanto<sup>1,2,\*</sup>, Irwan Muhammad Ridwan<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics Education, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya 46115, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Sciences Education, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya 60231, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Natural Education Sciences, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 40154, Indonesia

\*Corresponding author: [eko.sujarwanto@unsil.ac.id](mailto:eko.sujarwanto@unsil.ac.id)

### ABSTRACT

Measurement of pollutants in the air is important because it's related to health issues and environmental sustainability. This study aims to measure the concentration of pollutants in the air and learn in the environmental physics course. Measurements were carried out in 108 places with various characters in West Java Province i.e. factories, public facilities, highways, and residential. Measurements were made using the BreezoMeter application to measure the concentration of O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, and PM<sub>10</sub>. In general, the results show that air quality is in a good category based on the air pollutant standard index. Although the air quality is in a good category in general, some places have the air quality in the unhealthy category. By knowing air quality, it is hoped that people will be more concerned about environmental sustainability and health.

**Keywords:** Air quality; environmental sustainability; health; pollutant

Received 03-08-2023 | Revised 10-12-2023 | Accepted 11-12-2023 | Published 07-03-2024

### PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dan meningkatnya kebutuhan manusia menyebabkan penggunaan bahan bakar fosil semakin meningkat. Penggunaan bahan bakar fosil meliputi kebutuhan industri, transportasi, dan rumah tangga. Secara sadar, mayoritas masyarakat mengetahui bahwa penggunaan bahan bakar fosil mempengaruhi kualitas udara. Kualitas udara didasarkan pada konsentrasi polutan di udara. Masalahnya, masih banyak orang yang menganggap remeh bahwa kesehatan dan kelestarian lingkungan dipengaruhi oleh kualitas udara [1, 2]. Sebagian besar masih menganggap remeh dampak langsung kualitas udara yang rendah terhadap kesehatan dan lingkungan.

Komposisi partikel di udara menentukan kualitas udara. Kebanyakan orang beranggapan bahwa udara yang kita hirup hanya terdiri dari oksigen, karbon dioksida, nitrogen, dan gas-gas lainnya dengan persentase yang lebih kecil. Pengetahuan masyarakat tentang pencemaran lingkungan masih tergolong minim [1, 2]. Ada

komposisi lain selain gas murni yaitu berupa polutan. Ozon (O<sub>3</sub>), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan bahan partikulat (*particulate matter*, PM) adalah contoh polutan di udara. Bahan partikulat adalah campuran partikel padat dan cair, zat organik atau anorganik yang tersuspensi di udara [3]. Bahan partikulat dapat timbul dari sumbernya secara langsung atau dari pemicu seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan senyawa organik. Bahan partikulat dapat dibagi menjadi PM<sub>10</sub>, yang memiliki diameter < 10 mm, dan PM<sub>2.5</sub> memiliki diameter < 2,5 mm. Oleh karena itu, perlu diketahui bahwa komposisi udara tidak hanya terdiri atas gas tapi juga zat padat terlarut.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tingkat pencemaran udara di Indonesia lebih tinggi dari sebelumnya [4]. Pemerintah berupaya memantau dan mengendalikan tingkat pencemaran udara. Beberapa kota besar di Indonesia memiliki stasiun meteorologi yang mengukur kualitas udara. Kualitas udara dinyatakan dengan indeks standar pencemar udara (ISPU). Namun, stasiun ini memiliki

jangkauan terbatas di area tertentu. Penyebarluasan informasi mengenai indeks polusi di daerah yang tidak terjangkau stasiun meteorologi menjadikan akses informasi terkait polusi udara tidak tersedia.

Pengukuran komposisi udara belum menyentuh daerah-daerah terpencil dan tempat-tempat dengan karakteristik tertentu. Upaya pengukuran komposisi udara dan ketersediaan informasinya perlu dilakukan. Artikel ini mencoba memberikan hasil pengukuran komposisi udara di wilayah tertentu untuk memberikan informasi terkait komposisi udara di suatu tempat dengan karakter tertentu dan tindakan preventif untuk menjaga kesehatan dan kelestarian lingkungan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan bagian dari observasi mata kuliah Fisika Lingkungan. Pengamatan dilakukan di 108 tempat yang termasuk dalam provinsi Jawa Barat, tersebar di Garut, Tasikmalaya, Bekasi, Ciamis, Bogor, Pangandaran, Cianjur, dan Sumedang. Tempat tersebut terbagi menjadi empat kategori, yaitu

fasilitas umum, jalan raya, pabrik, dan permukiman. Fasilitas umum terdiri dari terminal, pasar, penggilingan padi, stasiun, dan pool bus. Kategori jalan raya meliputi jalan provinsi, simpang/lampu lalu lintas, dan alun-alun. Alun-alun dikategorikan sebagai jalan raya karena alun-alun dikelilingi oleh jalan-jalan. Sedangkan, kategori pabrik meliputi pabrik skala kecil dan menengah. Permukiman meliputi permukiman perkotaan dan permukiman pedesaan. Penelitian menggunakan teknik purposive sampling.

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan teknik observasi menggunakan aplikasi Android BreezoMeter. Pengukuran fokus pada konsentrasi  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $PM_{10}$ , dan  $PM_{2.5}$ . Data dikumpulkan dalam rentang 11 April hingga 20 April 2022 dan dianalisis dengan analisis deskriptif. Hasil pengukuran menggunakan BreezoMeter untuk  $PM_{10}$  dan  $PM_{2.5}$  kemudian dikonversi berdasarkan ISPU dari Kementerian Lingkungan dan Kehutanan Republik Indonesia. Konversi nilai konsentrasi ditunjukkan Tabel 1.

**Tabel 1.** Konversi nilai konsentrasi polutan ke ISPU [5].

ISPU	$PM_{10}$	$PM_{2.5}$	$O_3$	$SO_2$	$NO_2$	CO
0 – 50	50	15,5	120	52	80	4000
51 – 100	150	55,4	235	180	200	8000
101 – 200	350	150,4	400	400	1130	15000
201 – 300	420	250,4	800	800	2260	30000
> 300	500	500	1000	1200	3000	45000

Keterangan: konsentrasi dalam satuan  $\mu g/m^3$

**Tabel 2.** Kategori mutu udara berdasarkan ISPU [5].

Rentang	Kategori	Penjelasan
1 – 50	Baik	Mutu udara tidak memberikan efek negatif bagi makhluk hidup
51 – 100	Sedang	Mutu udara masih diterima pada kesehatan makhluk hidup
101 – 200	Tidak sehat	Mutu udara memberikan efek merugikan pada makhluk hidup
201 – 300	Sangat tidak sehat	Mutu udara meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah populasi
301+	Berbahaya	Mutu udara merugikan kesehatan serius pada populasi

Konversi hasil pengukuran konsentrasi menjadi ISPU menggunakan Persamaan (1) [5]:

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (1)$$

Keterangan:

$I$  = ISPU terhitung

$I_a$  = ISPU batas atas

$I_b$  = ISPU batas bawah

$X_a$  = Konsentrasi ambien atas ( $\mu g/m^3$ )

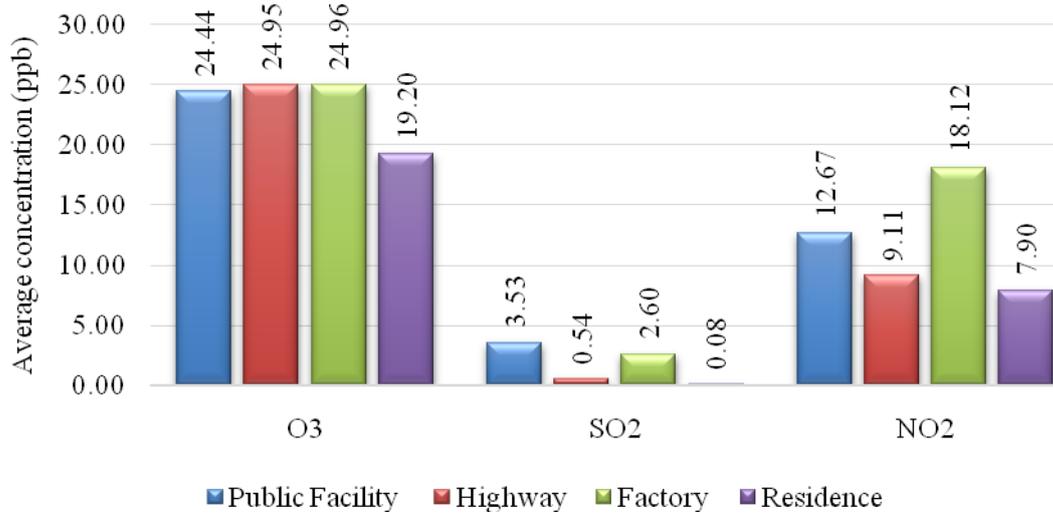
$X_b$  = Konsentrasi ambien bawah ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $X_x$  = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Selanjutnya, mutu udara berdasarkan ISPU dikategorikan sesuai Tabel 2.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 1, konsentrasi rata-rata  $\text{O}_3$  pada fasilitas umum, jalan tol, dan pabrik berada pada kisaran 24 – 25 ppb (*part per billion*, bagian per miliar) atau 47,09 – 49,05  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedangkan di permukiman, rata-rata konsentrasi  $\text{O}_3$  adalah 19,20 ppb (37,67  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Hasil ini memperkuat temuan bahwa selain di stratosfer,  $\text{O}_3$  juga terdapat di troposfer, yaitu lapisan atmosfer dekat permukaan bumi.  $\text{O}_3$  ini dapat dibentuk oleh reaksi antara nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) dan senyawa organik yang mudah

menguap dengan bantuan radiasi matahari [6]. Jika konsentrasi  $\text{NO}_2$  di daerah tersebut tinggi kemungkinan besar konsentrasi  $\text{O}_3$  juga tinggi. Apalagi Indonesia adalah negara tropis. Hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 yang secara kasar menunjukkan hubungan positif antara konsentrasi  $\text{NO}_2$  dan  $\text{O}_3$ .  $\text{NO}_2$  memiliki peran penting dalam pembentukan  $\text{O}_3$  [7]. Namun, perlu diingat apa yang menyebabkan terbentuknya  $\text{O}_3$  bukan hanya  $\text{NO}_2$  tapi juga oksida nitrat lainnya ( $\text{NO}_x$ ), keberadaan senyawa organik yang mudah menguap, dan paparan radiasi matahari di area tertentu. Radiasi matahari adalah sumber energi untuk reaksi fotokimia  $\text{O}_3$ .  $\text{O}_3$  yang terhirup, baik dalam jangka panjang maupun pendek, dapat menyebabkan gangguan pernafasan dan penyakit jantung [6].



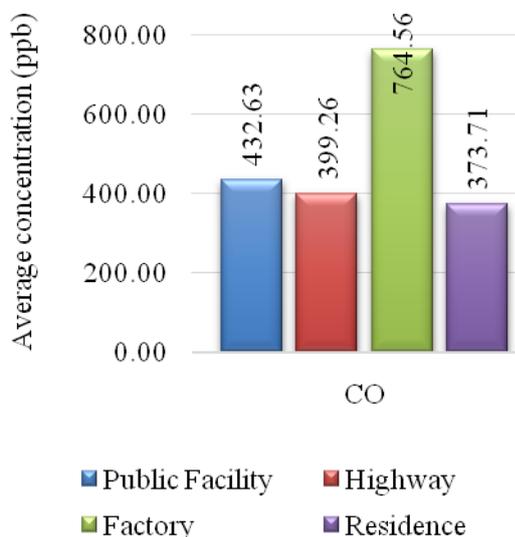
**Gambar 1.** Hasil pengukuran BreezoMeter terhadap konsentrasi rata-rata  $\text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2$ , dan  $\text{NO}_2$ .

Konsentrasi rata-rata  $\text{SO}_2$  berkisar antara 2,60 ppb (5,10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sampai dengan 3,53 ppb (6,93  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) untuk fasilitas umum dan pabrik. Sedangkan, untuk kategori jalan raya dan permukiman berkisar antara 0,08 ppb (0,16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) hingga 0,54 ppb (1,06  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sumber dari emisi  $\text{SO}_2$  adalah pembakaran bahan bakar fosil dan pemanasan pelumas mesin [8]. Oleh karena itu, pada kategori pabrik dan fasilitas umum, rata-rata konsentrasi  $\text{SO}_2$  lebih tinggi dibanding di permukiman. Konsentrasi rata-rata

$\text{SO}_2$  pada kategori jalan raya lebih rendah dibandingkan kategori fasilitas umum dan pabrik karena  $\text{SO}_2$  konsentrasi di daerah tersebut kurang stabil dibandingkan dengan konsentrasi  $\text{SO}_2$  di fasilitas umum (misalnya terminal bus dan stasiun kereta api). Ambang batas aman tertinggi untuk konsentrasi  $\text{SO}_2$  adalah 0,4 ppm atau 400 ppb [8]. Hasil pengukuran pada penelitian ini menunjukkan konsentrasi rata-rata gas  $\text{SO}_2$  masih dalam batas aman. Konsentrasi  $\text{SO}_2$  yang tinggi di suatu

daerah dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan dan menyebabkan kematian [8].

Konsentrasi rata-rata tertinggi  $\text{NO}_2$  ditemukan pada kategori pabrik dan terendah pada permukiman.  $\text{NO}_2$  berasal dari pembakaran bahan bakar fosil [9]. Semakin besar mesin berbahan bakar fosil, semakin tinggi emisi  $\text{NO}_2$  [7]. Jadi, konsentrasi rata-rata  $\text{NO}_2$  pada kategori pabrik dan fasilitas umum dapat dipahami lebih tinggi dari kategori lainnya. Seseorang yang terpapar  $\text{NO}_2$  dalam konsentrasi rendah dapat mengalami iritasi mata. Jika terkena  $\text{NO}_2$  dengan konsentrasi tinggi dalam waktu yang lama, dapat menyebabkan pembengkakan paru-paru hingga menyebabkan kematian [8].



**Gambar 2.** Hasil pengukuran BreezoMeter terhadap konsentrasi rata-rata CO.

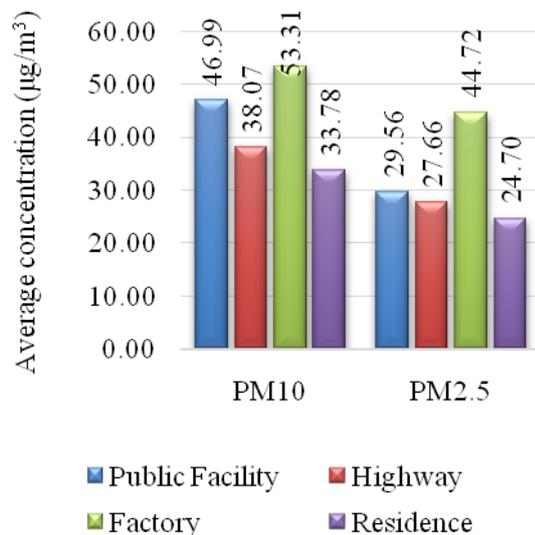
Gambar 2 menunjukkan konsentrasi CO rata-rata yang cukup tinggi, berkisar antara 373 – 765 ppb ( $731,82 - 1.500,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Konsentrasi rata-rata CO tertinggi berada pada kategori pabrik sedangkan terendah di permukiman. Konsentrasi rata-rata yang tinggi ditemukan di pabrik, fasilitas umum, dan selanjutnya di jalan raya. CO berasal dari pembakaran bahan bakar fosil dari kendaraan [8]. Biasanya, konsentrasi CO di udara adalah 100 ppb. Gambar 2 menunjukkan bahwa rata-rata konsentrasi CO di udara melebihi batas standar pada sampel terpilih. Gas CO juga bersifat reaktif sehingga ketika masuk ke dalam

alveolus akan berikatan dengan hemoglobin yang mengakibatkan keracunan bahkan kematian. Konsentrasi CO yang tinggi (10.000 ppb – 15.000 ppb) dapat mengakibatkan kematian janin dan penurunan massa janin [8].

Selain berupa gas pencemar, bahan lain yang juga merupakan polutan adalah  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$ . Konsentrasi rata-rata tertinggi  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$  ditemukan dalam kategori pabrik ditunjukkan pada Gambar 3. Kategori pabrik memiliki konsentrasi rata-rata  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$  tertinggi karena  $\text{PM}_{10}$  bersumber dari debu, kegiatan konstruksi, dan debu jalan. Pada saat yang sama,  $\text{PM}_{2.5}$  bersumber dari bahan bakar fosil dan dari mesin-mesin pabrik serta kendaraan karyawan pabrik [3]. Pengurangan konsentrasi  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$  yang dihasilkan oleh aktivitas pabrik dapat ditanggulangi dengan menggunakan *electrostatic precipitator* [10–13]. *Electrostatic precipitator* merupakan filter udara yang memanfaatkan konsep elektrostatis. Bahkan, *electrostatic precipitator* dapat ditambahkan dengan medan magnet dan *ionic wind* untuk meningkatkan efisiensi penangkapan  $\text{PM}_{2.5}$  [14].

Selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa setelah kategori Pabrik, kategori yang menempati urutan berikutnya untuk rata-rata konsentrasi  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$ , merupakan fasilitas umum. Fenomena ini terjadi karena fasilitas umum seperti terminal bus, stasiun kereta api, dan pasar menjadi tempat berkumpulnya  $\text{PM}_{10}$  dan  $\text{PM}_{2.5}$  sumber yaitu kendaraan yang menghasilkan debu jalan dan hasil pembakaran mesin kendaraan [3]. Konsentrasi rata-rata  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  di kategori permukiman mendekati konsentrasi rata-rata di kategori jalan raya. Fenomena ini mengindikasikan adanya aktivitas dan sumber di kategori permukiman yang memicu adanya  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$ , seperti lalu lintas kendaraan di sekitar permukiman, pembakaran biomassa, dan bahan partikulat dari tumbuhan.  $\text{PM}_{2.5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  akan meningkat jika terjadi kebakaran hutan akibat pembakaran biomassa (pohon). Saat dihirup,  $\text{PM}_{10}$  dapat mengendap di saluran pernapasan, bahkan  $\text{PM}_{2.5}$  dapat masuk ke dalam peredaran darah karena dapat mencapai

alveolus sehingga menyebabkan peradangan internal [15]. Tanda-tanda paparan PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2.5</sub> adalah batuk, pilek, dan sakit tenggorokan [16]. Combes dan Franchineau menambahkan bahwa PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2.5</sub> juga berperan penting dalam timbulnya penyakit jantung pada seseorang dan kematian [3].



**Gambar 3.** Hasil pengukuran BreezoMeter terhadap konsentrasi rata-rata PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>.

Pengukuran ISPU dan hasil analisis diperoleh rata-rata ISPU di fasilitas umum 45,84, jalan raya 41,11, pabrik 48,71, dan permukiman 34,95. Semakin tinggi ISPU, semakin buruk kualitas udaranya. Berdasarkan Tabel 2, kualitas udara pada kategori fasilitas umum, jalan raya, pabrik, dan permukiman berada pada kategori Baik. Namun terlepas dari hasil rata-rata itu, di beberapa tempat tertentu memiliki ISPU tinggi yang berarti udaranya termasuk dalam kategori Sedang. Kategori ini berarti bahwa ketika seseorang berada di area tersebut untuk waktu yang lama atau terus-menerus, dapat menyebabkan gangguan sistem pernapasan dan menyebabkan masalah kesehatan lainnya.

Urbanisasi telah mengakibatkan lebih dari 90% populasi dunia terpapar polusi udara, terutama bahan partikulat. Pencemaran udara merupakan masalah bagi negara maju dan negara berkembang. Penelitian lain menunjukkan bahwa kesadaran masyarakat terhadap isu lingkungan cukup baik [1, 17].

Sedangkan pengetahuan dan kemauan masyarakat terkait masalah pencemaran dan solusinya masih rendah [1, 17]. Hal ini juga terkait dengan usaha yang perlu dilakukan supaya meningkatkan pendidikan untuk pembangunan berkelanjutan [18]. Salah satunya melalui pembelajaran fisika lingkungan. Mengatasi masalah polusi udara membutuhkan lebih dari sekedar kesadaran tentang dampak polusi udara. Meningkatnya pengetahuan tentang pencemaran udara akan meningkatkan kemauan masyarakat untuk mengurangi dan mengatasi masalah pencemaran udara [19].

## KESIMPULAN

Penelitian ini menggambarkan konsentrasi polutan O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, PM<sub>10</sub>, dan PM<sub>2.5</sub> di tempat-tempat tertentu dengan kategori fasilitas umum, jalan raya, pabrik, dan permukiman menggunakan alat sederhana dengan bantuan aplikasi Android BreezoMeter. Rata-rata ISPU berada pada kategori Baik. Berdasarkan hasil dan pembahasan, tempat-tempat dengan jumlah aktivitas kendaraan yang tinggi dan pabrik-pabrik yang menggunakan bahan bakar fosil menjadi sumber utama munculnya polutan di udara. Penelitian ini juga menjelaskan bahwa zat lain di udara secara signifikan mempengaruhi kesehatan tetapi masih kurang disadari bahaya dan keberadaannya, yaitu PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2.5</sub>. Kedepannya, perlu dilakukan penelitian serupa dengan durasi waktu yang lebih representatif dan lebih sistematis.

## REFERENSI

1. Maulana, E., & Haryanto, H. C. (2020). Bagaimana kondisi kesadaran lingkungan terkait pencemaran udara yang dimiliki oleh masyarakat perkotaan? (Studi pendahuluan pada masyarakat di Jakarta). *INQUIRY: Jurnal Ilmiah Psikologi*, **11**(1), 40–50.
2. Nisic, D., Knezevic, D., Petkovic, A., Ignjatovic, M., & Kostadinovic, J. (2016). Study of general environmental awareness of the urban population. *Conference: The*

4th Human and Social Sciences at the Common Conference, 33–39.

3. Combes, A., & Franchineau, G. (2019). Fine particle environmental pollution and cardiovascular diseases. *Metabolism*, **100**, 153944.
4. Energy Policy Institute at the University of Chicago. (2020). *AQLI-Indonesia Fact Sheet*. Diakses pada 30 Maret 2023. URL: <https://aqli.epic.uchicago.edu/country-spotlight/indonesia>.
5. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang indeks standar pencemar udara*. Indonesia.
6. Zhang, J., Wei, Y., & Fang, Z. (2019). Ozone pollution: a major health hazard worldwide. *Frontiers in Immunology*, **10**, 2518.
7. Tanti, D. A., Budiwati, T., & Sumaryati, S. (2019). Prediksi konsentrasi nitrogen oksida (NO, NO<sub>x</sub>) ambien dengan menggunakan konsentrasi NO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> dari passive sampler (Studi kasus: Cipedes, Bandung). *Jurnal Sains Dirgantara*, **16**(2), 91–104.
8. Sugiarti. (2009). Gas pencemar udara dan pengaruhnya bagi kesehatan manusia air. *Jurnal Chemica*, **10**(1), 50–58.
9. Gasmı, K., Aljalal, A., Al-Basheer, W., & Abdulahi, M. (2017). Analysis of NO<sub>x</sub>, NO and NO<sub>2</sub> ambient levels as a function of meteorological parameters in Dhahran, Saudi Arabia. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, **211**, 77–86.
10. Chen, B., Li, S., Guo, Y., Li, H., Zhou, W., & Liu, B. (2022). Research on electrostatic shielding characteristics of electrostatic precipitator. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **72**(4), 331–345.
11. Yulistiowarno, I. P., & Anwar, M. (2022). Pengaruh korona listrik terhadap proses particle charging dalam sistem electrostatic precipitator. *Voteteknika*, **10**(2), 37–41.
12. Varshney, A., Mishra, N. K., & Das, R. (2022). Enhancement of collection efficiency for capturing submicron particles emitted from biomass burning: a novel design of semi-circular corrugated plate electrostatic precipitator. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1–16.
13. Zhai, Y., Liu, X., Han, J., Zou, Y., Huang, Y., Wang, H., ... & Xu, M. (2022). Study on the removal characteristics of different air pollution control devices for condensable particulate matter in coal-fired power plants. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**(23), 34714–34724.
14. Zhang, J., Wang, J., Jiang, Z., & Xu, D. (2022). Trapping PM<sub>2.5</sub> particles from electrostatic precipitator equipped with magnetic field under different gas velocities. *Process Safety and Environmental Protection*, **158**, 115–122.
15. Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope III, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., ... & Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, **121**(21), 2331–2378.
16. Inaku, A. H. R., & Novianus, C. (2020). Pengaruh pencemaran udara PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub> terhadap keluhan pernapasan anak di ruang terbuka anak di DKI Jakarta. *ARKESMAS*, **5**(2), 9–16.
17. Kamaruddin, S. M., Ahmad, P., & Alwee, N. (2016). Community awareness on environmental management through local agenda 21 (LA21). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, **222**, 729–737.
18. Vilmala, B. K., Kaniawati, I., Suhandi, A., Permanasari, A., & Ridwan, I. M. (2022). Sustainability literacy of students' prospective science teacher. *AIP Conference Proceedings*, **2468**(1).
19. Gan, Y., Xu, T., Xu, N., Xu, J., & Qiao, D. (2021). How environmental awareness and knowledge affect urban residents' willingness to participate in rubber plantation ecological restoration programs: Evidence from hainan, china. *Sustainability*, **13**(4), 1852.



Artikel ini menggunakan lisensi [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Effectiveness of adding ZnO thin films to metamaterial structures as sensors

Saktioto<sup>1\*</sup>, Yan Soerbakti<sup>1</sup>, Ari Sulisty Rini<sup>1</sup>, Budi Astuti<sup>2</sup>,  
Erman Taer<sup>1</sup>, Rahmondia Nanda Setiadi<sup>1</sup>, Syamsudhuha<sup>3</sup>, Sofia Anita<sup>4</sup>, Yolanda Rati<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Physics, Universitas Negeri Semarang, Semarang 50229, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Mathematics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>4</sup>Department of Chemical, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>5</sup>Department of Physics, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132, Indonesia

\*Corresponding author: [saktioto@lecturer.unri.ac.id](mailto:saktioto@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Metamaterials are artificial materials with the characteristics of a negative refractive index and high resonance sensitivity. Advanced engineering in metamaterials can realize great potential in combination with zinc oxide (ZnO) semiconductor materials, which can increase the efficiency of sensor technology compared to other conventional material models. This research aims to investigate the optical properties and develop an invention for a hybrid sensor media based on a split ring resonator (SRR) metamaterial structure integrated with a thin layer of ZnO. The research methodology was carried out by simulation by designing and characterizing SRR metamaterials which were designed with variations in SRR patterns, geometry, substrate materials, unit cell configurations, and variations in the thickness of the ZnO thin layer. Geometry characterization of SRR metamaterials was carried out using the Nicolson-Ross-Weir electromagnetic (EM) field function approach, specifically the optical parameters permittivity, permeability, and refractive index. They are optimizing the performance of hybrid sensor components based on metamaterials and ZnO thin films using the GHz scale EM field function approach, especially in the reflection, transmission, and absorption spectrum. Analysis of metamaterial characteristics identifies the optical properties of permittivity, permeability, and negative refractive index which are increased and optimized from the thin layer integration model 200 nm thick ZnO in the SRR metamaterial structure with a 3×3 square pattern configuration at a resonance frequency of 1.889 GHz. The performance of the hybrid sensor media provides a resonant frequency of three equal bandwidths in the frequency range 2.89 – 3.52, 5.28 – 6.54, and 7.57 – 8.46 GHz. In addition, the highest absorption spectrum of 73% is at a frequency of ~8 GHz.

**Keywords:** Metamaterial; refractive index; sensor; ZnO

Received 25-12-2023 | Revised 13-01-2023 | Accepted 14-01-2023 | Published 07-03-2024

### PENDAHULUAN

Perkembangan dan kebutuhan teknologi di era digital modern sekarang ini menjadikan peran ilmuwan semakin dibutuhkan dalam menganalisa dan menciptakan teknologi canggih dengan kualitas kinerja yang tinggi. Teknologi yang sedang dikembangkan saat ini adalah perangkat media sensor berbasis metamaterial dengan pencapaiannya yang sudah meliputi di bidang industri [1], kesehatan [2], pertanian [3], dan kelautan [4]. Teknologi ini berkembang dikarenakan adanya kontribusi dari sifat material yang mampu memanipulasi panjang gelombang pada frekuensi tertentu

sehingga mudah diaplikasikan sebagai sensor. Teknologi sensor berbasis metamaterial terbukti telah menarik minat bagi para peneliti dan industri pada lima tahun terakhir dengan adanya upaya peningkatan kinerja media sensor melalui teknik *hybrid* dengan material terbaru.

Metamaterial merupakan material artifisial dengan karakteristik yang unik dan sensitivitas yang tinggi. Penggunaan metamaterial sebagai terobosan teknologi maju memiliki potensi yang sangat tinggi dan luas karena material dan strukturnya yang terbaru [5]. Struktur metamaterial dasar seperti *split ring resonator* (SRR) telah dilaporkan oleh Saktioto *et al.* (2022), dimana implementasi metamaterial

SRR heksagonal dengan substrat FR-4 dapat meningkatkan profil aplikasi teknologi antena mikrostrip yang rendah dengan lebar pita frekuensi kerja hingga 8 GHz [6]. Namun, metamaterial tersebut dalam aplikasinya saat ini masih dibawah kebutuhan teknologi modern dengan kualitas yang tinggi. Hal tersebut menjadi permasalahan yang perlu diteliti untuk melakukan improvisasi terhadap metamaterial menjadi material yang unggul. Di sisi lain, sifat rekayasa teknik yang tinggi pada metamaterial dapat mewujudkan metamaterial *hybrid* dari kombinasi material lain sebagai substrat dan katalis terbaru [7]. Pada penelitian ini, akan diteliti penggunaan variasi material substrat berupa FR-4, karbon aktif, polimida (PI), kaca *quartz*, dan semikonduktor seng oksida (ZnO) sebagai kombinasi material terbaru yang akan diintegrasikan sebagai substrat metamaterial dan media sensor. Kombinasi material ini memungkinkan dapat meningkatkan sifat resonansi metamaterial menjadi lebih aktif dan responsif. Penelitian sebelumnya yang dilaporkan oleh Tao *et al.* (2020), menjelaskan bahwa media sensor berhasil difabrikasi dengan struktur logam metamaterial di atas substrat dan lapisan tipis ZnO dengan penyerapan atau daya hilang sebesar -65 dB [8].

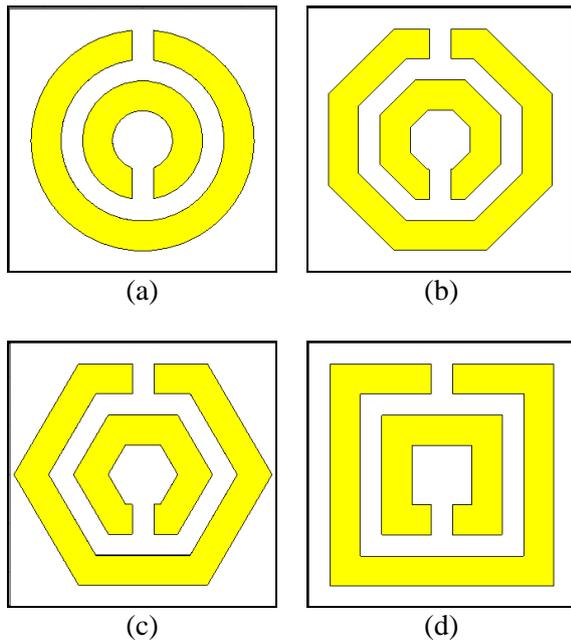
Material ZnO merupakan semikonduktor tipe-n yang memiliki energi celah pita 3,37 eV dan energi ikat eksiton 60 meV. ZnO merupakan material yang mudah didapatkan, murah dan tidak beracun [9]. Selain itu, ZnO dapat diaplikasikan sebagai *transparent conductive oxide* (TCO) dalam bentuk lapisan tipis. TCO merupakan material dengan tranparansi optik tinggi yang bersifat konduktif. Hal ini karena adanya ikatan ionik pada ZnO dan memungkinkan elektron untuk terlepas dan mampu menghantarkan muatan listrik [10]. Material *quartz* dapat dijadikan sebagai substrat lapisan tipis ZnO karena ketahanan terhadap suhu yang panas [9]. Kaca *quartz* memiliki stabilitas dimensi dan manufaktur yang tinggi, serta mudah untuk difabrikasi sebagai sensor [11]. Kaca *quartz* yang terbuat dari silikon oksida (SiO<sub>2</sub>) memiliki

biaya produksi yang murah, tipis, serta aplikatif sebagai komponen semikonduktor [12]. Penelitian sebelumnya oleh Chang *et al.* (2021), melaporkan penumbuhan lapisan tipis indium *titanium zinc oxide* pada substrat kaca *quartz* sebagai aplikasi sensor gas dapat menghasilkan tranmitansi 80% dan peningkatan efisiensi 10% [13]. Pengaruh positif atas dasar potensi metamaterial *hybrid* dalam penggunaan substrat terbaru memberikan peluang dalam penelitian ini untuk mewujudkan media sensor berkualitas tinggi dengan material maju yang terbaru. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan metamaterial *hybrid* secara simulasi dengan bahan substrat terbaru yang diintegrasikan sebagai media sensor. Penelitian ini bersifat *novelty* karena penggunaan struktur metamaterial SRR belum pernah diterapkan pada lapisan tipis ZnO sebagai media sensor.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam pendekatan secara simulasi dengan perancangan dan identifikasi media sensor *hybrid* berbasis lapisan tipis ZnO dan metamaterial. Tahapan merancang metamaterial dengan struktur SRR yang berbeda dilakukan dalam bentuk lingkaran, oktagon, heksagonal, dan persegi seperti pada Gambar 1. Struktur metamaterial konvensional tersebut terdiri dari substrat dielektrik berbahan FR-4 ( $\epsilon = 4,3$ ) [14] dan inklusi logam SRR dari tembaga. Struktur tersebut masing-masing memiliki ketebalan 1 mm dan 0,05 mm. Tahap awal pada variasi struktur SRR menggunakan jari-jari cincin tetap sebesar 2,6 mm.

Metamaterial SRR memiliki karakteristik geometri yang bergantung pada frekuensi atau lebih kecil dari panjang gelombang yang diberikan [15]. Pada penelitian ini, digunakan frekuensi sumber maksimum sebesar 9 GHz. Salah satu struktur metamaterial SRR dari pola lingkaran, oktagon, heksagonal, dan persegi yang memiliki karakteristik terbaik akan dipilih dan divariasikan geometri jari-jari cincin SRR sebesar 2,2 mm, 2,4 mm, 2,6 mm, dan 2,8 mm.



**Gambar 1.** Metamaterial struktur SRR variasi pola: (a) lingkaran; (b) oktagon; (c) heksagonal; dan (d) persegi.

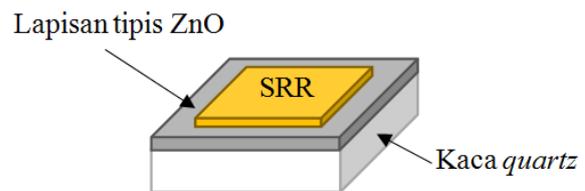
Material dielektrik sebagai substrat memiliki konstanta permitivitas yang dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh medan listrik dari struktur logam metamaterial [3]. Pada penelitian ini, substrat yang digunakan selain FR-4 terdiri dari tiga bahan dengan konstanta dielektrik berbeda yaitu PI ( $\epsilon = 3,5$ ) [16], karbon aktif ( $\epsilon = 8,0$ ) [17], dan kaca *quartz* ( $\epsilon = 3,8$ ) [18].

Terdapat tiga model substrat metamaterial tambahan selain menggunakan FR-4 yang dikembangkan berdasarkan pada jenis material yang digunakan. Model substrat metamaterial dirancang dengan beberapa jenis material dan ketebalan yaitu PI, PI-karbon aktif, dan kaca *quartz*.

Semikonduktor memiliki karakteristik *band gap* yang terletak antara pita valensi dan konduksi. Material ini akan aktif jika diberikan energi atau arus listrik. Salah satu material semikonduktor berupa lapisan tipis ZnO ( $\epsilon = 8,5$ ) [19], akan diintegrasikan terhadap model substrat metamaterial dengan karakteristik terbaik. Selain itu, variasi ketebalan ZnO memiliki sifat konduktif yang berbeda. Oleh karena itu, lapisan tipis ZnO pada metamaterial akan divariasikan dengan ketebalan 50 nm, 100

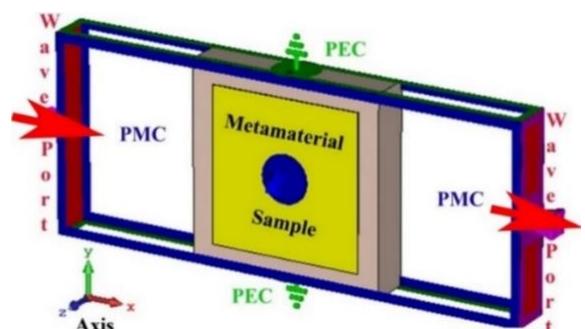
nm, dan 200 nm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Metamaterial merupakan material artifisial yang terdiri dari berbagai macam struktur yang tersusun dari satu hingga lebih secara periodik, sehingga karakteristik yang diperoleh berbeda-beda [20]. Pada penelitian ini, struktur metamaterial terintegrasi lapisan tipis ZnO dengan karakteristik terbaik akan dipilih dan divariasikan jumlah susunan SRR secara *array*  $1 \times 1$ ,  $2 \times 2$ , dan  $3 \times 3$ .



**Gambar 2.** Integrasi struktur lapisan tipis ZnO terhadap metamaterial.

Identifikasi sifat fisis optik metamaterial dilakukan secara simulasi menggunakan *waveguide* yang dirancang berdasarkan panjang gelombang sumber seperti pada Gambar 3 [21]. Rancangan *waveguide* terdiri dari *waveport*, bidang batas konduktor elektrik sempurna (*perfect electric conductor*, PEC), dan konduktor magnetik sempurna (*perfect magnetic conductor*, PMC) yang masing-masing terletak pada sumbu x, y, dan z [22]. Karakteristik metamaterial ditentukan dengan pengolahan data parameter S (spektrum) berupa S12 (refleksi) dan S21 (transmisi).



**Gambar 3.** Ilustrasi *waveguide* karakterisasi metamaterial.

Data parameter S yang ditampilkan berupa nilai mutlak dan fasa untuk masing-masing jenis spektrum. Kedua data tersebut kemudian

ditransformasi menjadi bilangan kompleks dengan Persamaan (1) dan (2) berikut [6]:

$$S_{11} = |S_{11}|e^{i\theta_{11}} \quad (1)$$

$$S_{21} = |S_{21}|e^{i\theta_{21}} \quad (2)$$

dimana,  $|S_{11}|$  dan  $|S_{21}|$  merupakan spektrum dalam bilangan mutlak, sedangkan  $\theta_{11}$  dan  $\theta_{21}$  merupakan spektrum dalam bilangan fasa.

Karakteristik metamaterial memiliki konstanta relatif dari perbandingan antara rapat elektrostatik bahan oleh medan listrik terhadap keadaan vakum [23]. Karakteristik metamaterial juga memiliki konstanta relatif lain dari perbandingan antara respon magnetik bahan oleh medan magnet dari gelombang EM terhadap keadaan vakum [24]. Permittivitas relatif dan permeabilitas relatif dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3) dan (4) model NRW berikut [25]:

$$\epsilon_r = \frac{2c}{j2\pi ft_m} \frac{1 - (S_{21} + S_{11})}{1 + (S_{21} + S_{11})} \quad (3)$$

$$\mu_r = \frac{2c}{j2\pi ft_m} \frac{1 - (S_{21} - S_{11})}{1 + (S_{21} - S_{11})} \quad (4)$$

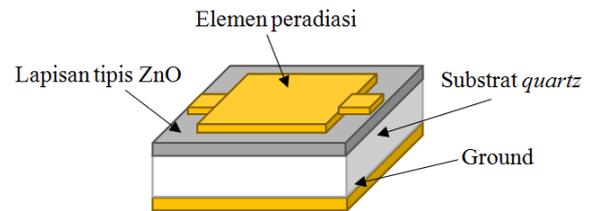
dimana,  $\epsilon_r$  adalah permitivitas relatif,  $\mu_r$  adalah permeabilitas relatif,  $c$  adalah kecepatan cahaya,  $f$  adalah frekuensi sumber, dan  $t_m$  adalah jarak waveport.

Konstanta medium metamaterial memiliki pengaruh terhadap pembiasan propagasi gelombang EM. Indeks bias tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (5) model NRW berikut [25]:

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (5)$$

Rancangan media sensor yang diusulkan merupakan jenis sensor mikrostrip yang terdiri dari elemen peradiasi, dielektrik, dan petanahan seperti pada Gambar 4. Elemen peradiasi dan pentanahan berupa logam tembaga dengan ketebalan 0,05 mm, sedangkan substrat

menggunakan material *quartz* dengan ketebalan 1 mm. Model tersebut akan diterapkan pada metamaterial yang telah terintegrasi dengan lapisan tipis ZnO dengan karakteristik terbaik. Terdapat konektor penghubung antara elemen peradiasi terhadap catu daya (*port*) sebesar 0,5 Watt. Pada tahap simulasi diperlukan langkah karakterisasi dan optimasi untuk mendapatkan kinerja sensor yang baik dan lebih efektif.



**Gambar 4.** Geometri struktur media sensor *hybrid* berbasis lapisan tipis ZnO dan metamaterial.

Karakteristik kinerja sensor dapat diidentifikasi melalui beberapa parameter seperti rugi daya (*return loss*) dan lebar pita (*bandwidth*). Return loss merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak matching atau tidak sesuai [26]. Hasil simulasi memperoleh grafik return loss berupa rugi daya (dB) terhadap frekuensi.

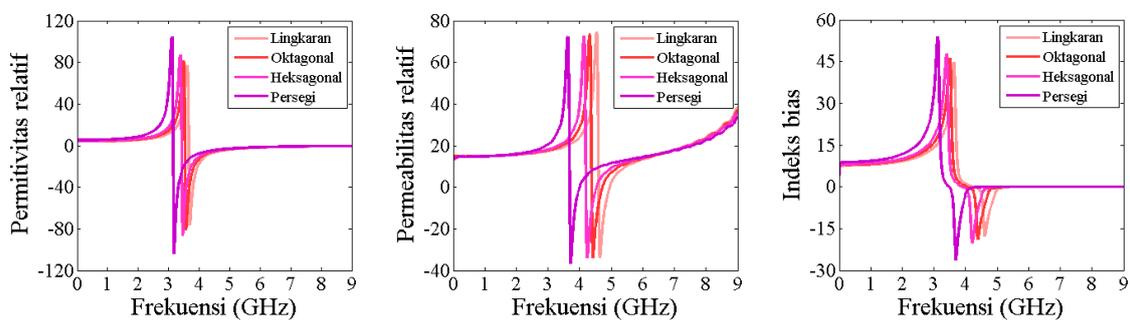
*Bandwidth* (lebar pita) dari antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi kinerja antena, dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan yang ditentukan oleh nilai standart, di mana karakteristik antena berada dalam nilai yang dapat diterima pada frekuensi tengah [27]. Kategori kinerja sensor metamaterial yang diinginkan berdasarkan kriteria sensor pita lebar dengan ketentuan standar minimum yaitu *return loss*  $\leq -10$  dB dan *bandwidth*  $\geq 500$  MHz.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbedaan pola SRR dari satu unit sel struktur metamaterial memberikan frekuensi resonansi sifat optik material yang berbeda-beda seperti yang terlihat pada Gambar 5. Indeks bias setiap pola SRR memiliki perbedaan yang lebih signifikan terutama pada

pola persegi yang memberikan kedalaman resonansi lebih tinggi -27,54 pada frekuensi 3,77 GHz. Sedangkan pola lainnya memiliki sedikit perubahan kedalaman resonansi indeks bias dengan selisih -4,5 dalam lebar frekuensi 0,49 GHz. Disisi lain, permeabilitas memiliki kedalaman resonansi hampir sama dengan selisih -0,01 untuk setiap pola SRR lingkaran, oktagonal, dan heksagonal. Hal ini menjelaskan bahwa respon struktur metamaterial memiliki pengaruh yang lemah terhadap induksi medan magnet [28]. Selain itu, perbedaan kedalaman

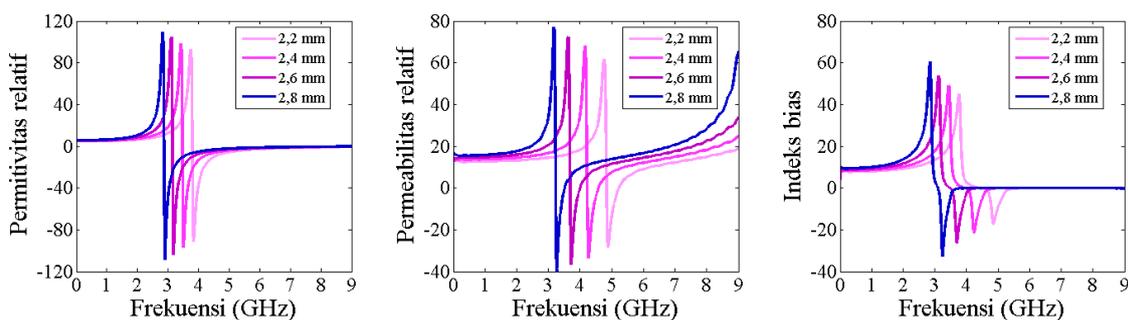
resonansi permitivitas terlihat cukup signifikan dengan selisih -4,4 untuk setiap pola SRR. Hal ini terjadi disebabkan karena ukuran dimensi inklusi logam SRR memiliki pengaruh yang besar terhadap induksi medan listrik [29]. Terlihat jelas bahwa pola SRR persegi memiliki dimensi logam yang lebih besar dibandingkan dengan lingkaran. Diikuti juga oleh pola SRR oktagonal dan heksagonal yang memiliki perubahan resonansi kedalaman permitivitas lebih sedikit dari pola SRR lingkaran.



**Gambar 5.** Karakteristik metamaterial tunggal berjari-jari 2,4 mm dengan variasi pola SRR.

**Tabel 1.** Kedalaman resonansi variasi pola SRR metamaterial.

Struktur	$\epsilon_r$	$f_0$ (GHz)	$\mu_r$	$f_0$ (GHz)	n	$f_0$ (GHz)
Lingkaran	-79,92	3,82	-34,45	4,68	-16,89	4,71
Oktagonal	-84,32	3,79	-34,46	4,47	-17,95	4,45
Heksagonal	-88,89	3,77	-34,47	4,25	-19,24	4,22
Persegi	-105,67	3,18	-36,97	3,71	-27,54	3,77



**Gambar 6.** Karakteristik metamaterial tunggal pola persegi dengan variasi jari-jari SRR.

Ukuran dimensi struktur SRR ternyata juga mempengaruhi pergeseran frekuensi resonansi yang cukup signifikan dengan batas-batas parameter sifat optik seperti yang dirangkum pada Tabel 1. Hal ini dapat dibuktikan dari hubungan frekuensi dan panjang gelombang. Pola persegi yang memiliki dimensi besar

cenderung berada pada frekuensi yang lebih rendah dari pola lainnya. Ini artinya posisi frekuensi resonansi rendah yang terjadi pada pola SRR persegi mempresentasikan ukuran panjang gelombang yang besar terhadap ukuran dimensi inklusi logam yang lebih luas. Sedangkan frekuensi resonansi yang tinggi

memiliki panjang gelombang yang lebih kecil berdasarkan luas inklusi logam yang sedikit [30]. Penjelasan ini juga berlaku untuk faktor

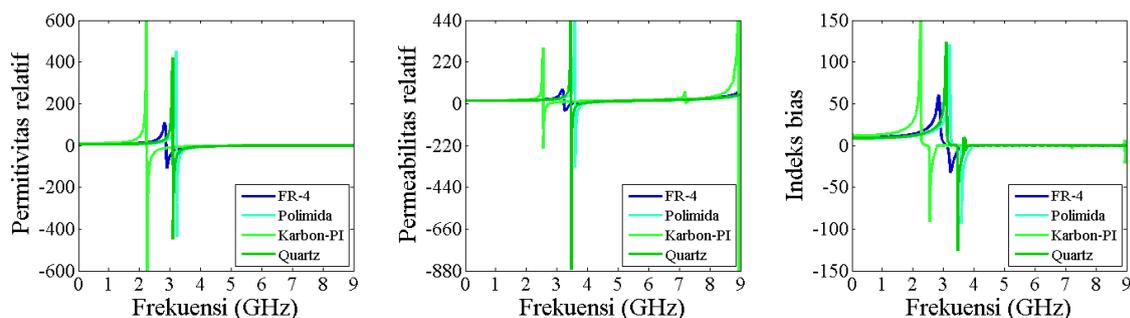
geometri dari variasi jari-jari cincin pola SRR persegi seperti yang terlihat pada Gambar 6.

**Tabel 2.** Kedalaman resonansi variasi jari-jari SRR metamaterial.

Jari-jari (mm)	$\epsilon_r$	$f_0$ (GHz)	$\mu_r$	$f_0$ (GHz)	n	$f_0$ (GHz)
2,2	-96,92	3,91	-29,85	4,96	-18,79	4,97
2,4	-99,42	3,52	-33,42	4,31	-22,92	4,21
2,6	-105,67	3,18	-36,97	3,71	-27,54	3,77
2,8	-108,49	2,90	-39,75	3,26	-32,62	3,24

Perbedaan jari-jari cincin SRR pola persegi menyebabkan pergeseran frekuensi resonansi pada permitivitas, permeabilitas, dan indeks bias sekitar 0,3 – 0,7 GHz lebih lebar dibandingkan dengan akibat dari faktor variasi pola SRR sebelumnya. Dimensi metamaterial yang besar disebabkan karena strukturnya proporsional terhadap jari-jari cincin SRR yang ditetapkan. Oleh sebab itu, pergeseran frekuensi resonansi untuk jari-jari cincin SRR yang lebih besar terjadi pada frekuensi lebih rendah atau sesuai pada panjang gelombang strukturnya. Selain itu, jari-jari cincin SRR yang semakin besar menyebabkan kedalaman resonansi permivitas, permeabilitas, dan indeks bias semakin tinggi seperti yang dirangkum pada

Tabel 2. Hal ini tentunya tidak dapat dihindarkan dari faktor perubahan dimensi struktur metamaterial yang relatif berubah berdasarkan jari-jari cincin SRR. Resonator yang dibangun dari pola SRR bertujuan untuk membangkitkan resonansi pada frekuensi tertentu. Kedalaman frekuensi resonansi yang optimal harus dibangun pada frekuensi yang sesuai dengan dimensi panjang gelombang struktur metamaterial [31]. Sehingga jika dimensi mikro metamaterial dioperasikan pada rentang panjang gelombang lebih besar atau pada frekuensi rendah, maka struktur metamaterial tidak mengalami resonansi secara optimal.



**Gambar 7.** Karakteristik metamaterial tunggal persegi berjari-jari 2,8 mm dengan variasi substrat.

**Tabel 3.** Kedalaman resonansi variasi substrat metamaterial.

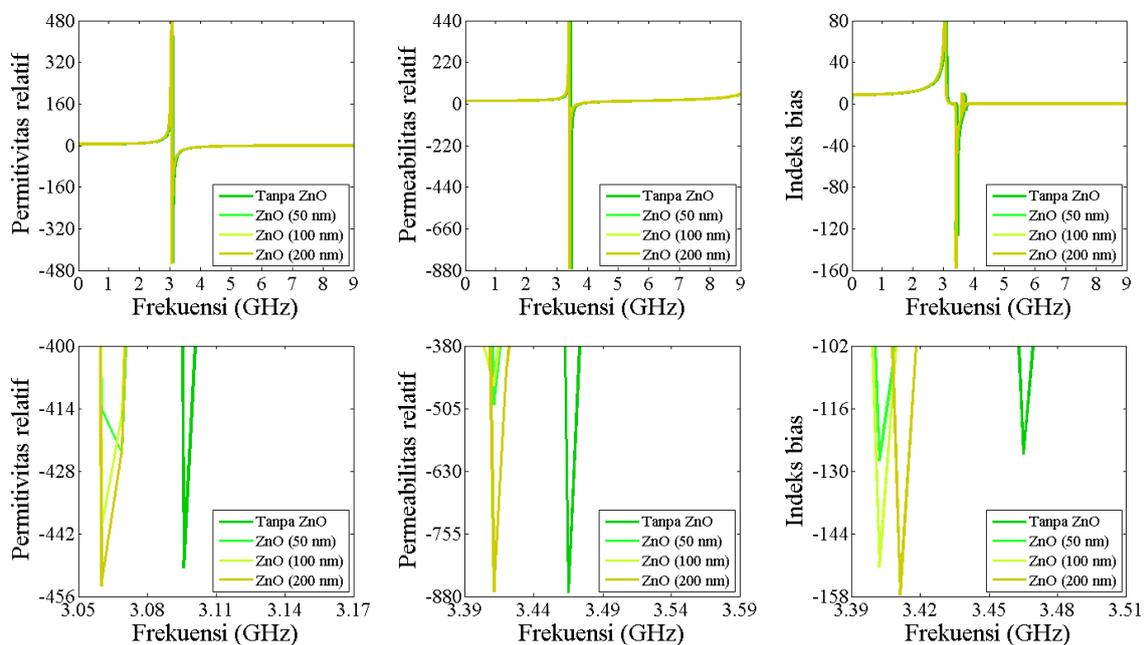
Substrat	$\epsilon_r$	$f_0$ (GHz)	$\mu_r$	$f_0$ (GHz)	n	$f_0$ (GHz)
FR-4	-108,49	2,90	-39,75	3,26	-32,62	3,24
Polimida	-598,95	3,15	-113,26	3,57	-98,63	3,58
Karbon-PI	-445,85	2,21	-225,74	2,65	-97,45	2,69
Quartz	-451,56	3,09	-878,67	3,46	-126,52	3,47

Variasi material substrat yang digunakan memiliki pengaruh yang besar terhadap

parameter sifat optik metamaterial seperti pada Gambar 7. Penggunaan bahan polimida,

karbon-PI, dan *quartz* mengalami peningkatan yang sangat drastis hingga kedalaman resonansi permitivitas maksimum -598,95. Hal ini dikarenakan karakteristik substrat berkaitan dengan permitivitas atau konstanta dielektrik. Material dengan permitivitas lebih tinggi memiliki respons yang lebih kuat terhadap medan listrik [32]. Selain itu, perubahan material substrat juga mempengaruhi sifat permeabilitas terutama pada kaca *quartz* yang mengalami kedalaman resonansi yang sangat jauh sebesar -878,67. Permeabilitas ini mencirikan material merespons kuat terhadap

induksi medan magnet yang diberikan [33]. Interaksi antara permeabilitas relatif dan permitivitas relatif menentukan indeks bias metamaterial yang semakin optimal seperti yang dirangkum pada Tabel 3. Tampak bahwa indeks bias *quartz* memiliki nilai tertinggi sebesar -126,52 dibandingkan dengan bahan substrat lain. Dengan meningkatnya permitivitas dan permeabilitas suatu bahan, indeks bias juga meningkat. Ini berarti bahwa gelombang elektromagnetik umumnya akan merambat lebih lambat melalui bahan, sehingga indeks refraksinya lebih tinggi [34].



**Gambar 8.** Karakteristik metamaterial persegi 2,8 mm pada *quartz* dengan variasi ketebalan ZnO.

**Tabel 4.** Kedalaman resonansi variasi ketebalan ZnO.

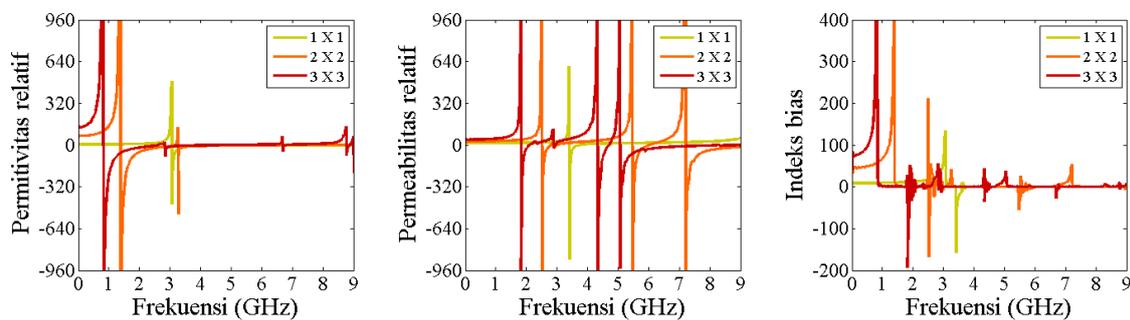
Tebal ZnO (nm)	$\epsilon_r$	$f_0$ (GHz)	$\mu_r$	$f_0$ (GHz)	n	$f_0$ (GHz)
0	-451,56	3,094	-878,67	3,464	-126,52	3,468
50	-422,43	3,069	-499,54	3,407	-127,63	3,402
100	-440,98	3,059	-470,39	3,408	-151,56	3,403
200	-453,25	3,059	-878,89	3,411	-157,95	3,412

Penambahan lapisan tipis ZnO pada struktur metamaterial tidak mengalami perubahan sifat optik berdasarkan pergeseran frekuensi resonansinya. Namun setelah diteliti lebih dalam, adanya peningkatan kedalaman resonansi permitivitas, permeabilitas, dan indeks bias yang cukup signifikan seperti tampak pada Gambar 8. Tampak bahwa

kedalaman resonansi permeabilitas pada ketebalan 200 nm lebih dominan yang nilainya relatif sama dengan tanpa ZnO dengan selisih 0,22. Disisi lain, kedalaman resonansi permitivitas tanpa ZnO mengalami penurunan pada penambahan ketebalan ZnO 50 nm sebesar ~29. Namun naik secara signifikan sebesar -440,98 pada ketebalan 100 nm dan -

453,25 pada ketebalan 200 nm. Selain itu, penambahan ketebalan ZnO 200 nm pada struktur metamaterial juga mengalami hasil positif peningkatan indeks bias sebesar -157,95. Diikuti juga oleh ketebalan ZnO 50 nm dan 100 nm yang lebih rendah namun lebih tinggi dari tanpa ZnO. Hal ini membuktikan bahwa lapisan tipis ZnO menawarkan keuntungan dari sifat elektronik, optik, dan magnetnya yang memungkinkan sifat-sifat metamaterial untuk merespon secara konstruktif [35]. Pergeseran frekuensi resonansi juga terjadi dengan

penambahan ketebalan ZnO pada posisi frekuensi yang relatif sama pada 3,059, 3,408, dan 3,402 masing-masing untuk permitivitas, permeabilitas, dan indeks bias seperti yang dirangkum pada Tabel 4. Substrat *quartz* sebagai fungsi dielektrik dengan sifat transmisi yang tinggi juga membantu lapisan tipis ZnO untuk berinteraksi dengan gelombang elektromagnetik seperti mentransmisikan, memantulkan, dan menyerap gelombang pada frekuensi tertentu [36].



**Gambar 9.** Karakteristik metamaterial variasi konfigurasi array dengan pola persegi berjari-jari 2,8 mm pada kaca *quartz* dan ketebalan ZnO 200 nm.

Kombinasi atau susunan SRR pola persegi secara array pada struktur metamaterial memberikan respon frekuensi resonansi yang beragam seperti pada Gambar 9. Ditemukan sejumlah frekuensi resonansi tambahan disamping resonansi yang dominan disetiap parameter optik permitivitas, permeabilitas, dan indeks bias. Metamaterial dengan susunan array SRR 2×2 memiliki frekuensi resonansi permitivitas dan permeabilitas lebih dominan dan lebar dibandingkan dengan 1×1. Namun jika dibandingkan dengan susunan 3×3 SRR lebih optimal dengan kedalaman resonansi

tertinggi pada indeks bias sebesar -193,95 pada frekuensi 1,889 GHz atau dapat dilihat pada Tabel 5. Hal ini membuktikan bahwa penambahan struktur SRR dengan konfigurasi array mengalami resonansi konstruktif [37]. Selain itu, tampak frekuensi resonansi indeks bias susunan 1×1 mengalami pergeseran sebesar ~1.6 ke arah frekuensi lebih rendah ketika susunan array diubah menjadi 3×3. Hal ini juga telah dijelaskan sebelumnya bahwa frekuensi resonansi bergantung pada dimensi panjang gelombang struktur metamaterial [38].

**Tabel 5.** Kedalaman resonansi variasi konfigurasi array.

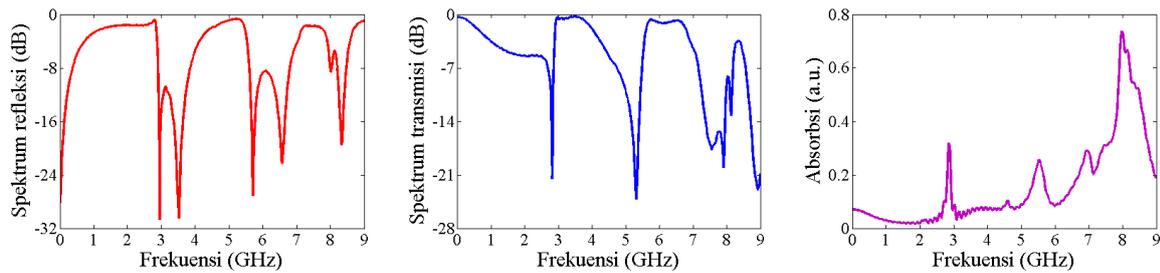
Array	$\epsilon_r$	$f_0$ (GHz)	$\mu_r$	$f_0$ (GHz)	n	$f_0$ (GHz)
1×1	-453,25	3,059	-878,89	3,411	-157,95	3,412
2×2	-958,75	1,425	-958,73	2,495	-173,34	2,497
3×3	-959,85	0,857	-959,93	1,887	-193,95	1,889

Rancangan sensor yang dimodelkan memiliki dua sambungan port daya sebagai masukan dan keluaran. Kinerja sensor dapat

diamati melalui spektrum daya keluaran yang dihasilkan. Gambar 10 menunjukkan spektrum refleksi, transmisi, dan absorpsi dari rancangan

sensor dalam keadaan tanpa sampel. Spektrum refleksi yang dihasilkan menggambarkan daya yang dipantulkan atau tidak diserap melalui struktur sensor. Berdasarkan pada spektrum refleksi, struktur sensor memiliki dua kedalaman resonansi pada lebar pita yang sama. Daya pantulan tertinggi berada pada frekuensi resonansi 2,95 – 3,55 GHz sebesar -30 dB. Sedangkan pada frekuensi tinggi 8,45 GHz

daya yang direfleksikan mengalami penurunan sebesar 4,5 dB. Hal ini menandakan bahwa distribusi daya lebih banyak dipantulkan pada struktur sensor dengan panjang gelombang yang lebih besar. Selain itu, spektrum transmisi juga menggambarkan distribusi daya yang diteruskan melewati struktur sensor tanpa diserap atau dipantulkan [39].



**Gambar 10.** Kinerja media sensor *hybrid*.

Berdasarkan pada spektrum transmisi, kedalaman resonansi -21,8 dB pada frekuensi rendah 2,85 GHz cenderung meningkat ke arah frekuensi lebih tinggi 5,36 GHz sebesar -24,6 dB. Namun pada frekuensi tinggi 8 – 9 GHz spektrum transmisi memiliki resonansi yang cacat banyak dengan kedalaman yang relatif menurun. Hal ini dibuktikan dengan adanya puncak spektrum absorpsi pada frekuensi tinggi, dimana distribusi daya diserap lebih tinggi 73% pada frekuensi tinggi ~8 GHz oleh struktur sensor pada panjang gelombang yang kecil.

## KESIMPULAN

Struktur metamaterial pola SRR persegi telah dirancang dan disimulasikan dengan karakteristik indeks bias negatif lebih tinggi -27,54 dibandingkan pola SRR lingkaran, oktagon, dan heksagonal. Perubahan jari-jari cincin logam SRR menyebabkan pergeseran merah (*red-shift*) frekuensi resonansi dari 3,77 GHz untuk  $R = 2,6$  mm menjadi 3,24 GHz untuk  $R = 2,8$  mm. Model lapisan tipis ZnO dalam struktur metamaterial menghasilkan peningkatan kedalaman resonansi permitivitas, permeabilitas dan indeks bias seiring bertambahnya ketebalan lapisan ZnO. Selain

itu, faktor konfigurasi array SRR pola persegi memberikan jumlah frekuensi resonansi yang banyak dan konstruktif dengan bertambahnya susunan array menjadi  $3 \times 3$ . Kinerja media sensor *hybrid* memberikan frekuensi resonansi yang beragam pada spektrum refleksi dan transmisi. Namun memiliki jumlah 3 lebar pita yang sama pada rentang frekuensi 2,89 – 3,52 GHz, 5,28 – 6,54 GHz, dan 7,57 – 8,46 GHz. Selain itu, spektrum absorpsi tertinggi sebesar 73% berada pada frekuensi ~8 GHz.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia dan BRIN atas dukungan dana hibah penelitian tahun 2023. Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Riau dan Laboratorium Fisika Universitas Negeri Semarang yang telah menyediakan fasilitas penelitian.

## REFERENSI

1. Vafapour, Z. (2019). Polarization-independent perfect optical metamaterial

- absorber as a glucose sensor in food industry applications. *IEEE Transactions on Nanobioscience*, **18**(4), 622–627.
2. Geng, Z., Zhang, X., Fan, Z., Lv, X., & Chen, H. (2017). A route to terahertz metamaterial biosensor integrated with microfluidics for liver cancer biomarker testing in early stage. *Scientific Reports*, **7**(1), 1–11.
  3. Bakir, M., Karaaslan, M., Unal, E., Akgol, O., & Sabah, C. (2017). Microwave metamaterial absorber for sensing applications. *Opto-Electronics Review*, **25**(4), 318–325.
  4. Asad, M., Al Neyadi, S., Al Aidaros, O., Khalil, M., & Hussein, M. (2016). Single port bio-sensor design using metamaterial split ring resonator. *2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, 1–4.
  5. Wu, X., Su, Y., & Shi, J. (2019). Perspective of additive manufacturing for metamaterials development. *Smart Materials and Structures*, **28**(9), 093001.
  6. Saktioto, Soerbakti, Y., Syahputra, R. F., Gamal, M. D. H., Irawan, D., Putra, E. H., Darwis, R. S., & Okfalisa. (2022). Improvement of low-profile microstrip antenna performance by hexagonal-shaped SRR structure with DNG metamaterial characteristic as UWB application. *Alexandria Engineering Journal*, **61**(6), 4241–4252.
  7. Choudhury, B., Menon, A., & Jha, R. M. (2016). Active terahertz metamaterial for biomedical applications. *Active Terahertz Metamaterial for Biomedical Applications*, 1–41.
  8. Tao, R., Zahertar, S., Torun, H., Liu, Y. R., Wang, M., Lu, Y., ... & Fu, Y. Q. (2020). Flexible and integrated sensing platform of acoustic waves and metamaterials based on polyimide-coated woven carbon fibers. *ACS Sensors*, **5**(8), 2563–2569.
  9. Ivanova, T., Harizanova, A., Koutzarova, T., & Vertruyen, B. (2015). Optical characterization of sol-gel ZnO: Al thin films. *Superlattices and Microstructures*, **85**, 101–111.
  10. Liu, Y., Li, Y., & Zeng, H. (2013). ZnO-based transparent conductive thin films: doping, performance, and processing. *Journal of Nanomaterials*, **2013**.
  11. Karlsson, K. S. R., & Wondraczek, L. (2021). Strengthening of oxide glasses. *Encyclopedia of Glass Science, Technology, History, and Culture*, **1**, 391–404.
  12. Lou, C., Liu, X., Wang, Y., Li, R., Huang, L., & Liu, X. (2022). Miniature quartz tuning fork-based broad spectral coverage and high detectivity infrared spectroscopy. *Infrared Physics & Technology*, **126**, 104322.
  13. Chang, S. P., Yang, R. H., & Lin, C. H. (2021). Development of indium titanium zinc oxide thin films used as sensing layer in gas sensor applications. *Coatings*, **11**(7), 807.
  14. Ali, E. M., Yahaya, N. Z., Perumal, N., & Zakariya, M. A. (2017a). Design of microstrip patch antenna at 900 MHz for charging mobile applications. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, **12**(4), 988–993.
  15. Salim, A., & Lim, S. (2018). Review of recent metamaterial microfluidic sensors. *Sensors*, **18**(1), 232.
  16. Dhillon, A. S., Mittal, D., & Sidhu, E. (2017). THz rectangular microstrip patch antenna employing polyimide substrate for video rate imaging and homeland defence applications. *Optik*, **144**, 634–641.
  17. Xie, X., Wu, D., Wu, H., Hou, C., Sun, X., Zhang, Y., ... & Du, W. (2020). Dielectric parameters of activated carbon derived from rosewood and corncob. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **31**(20), 18077–18084.
  18. Peimyoo, N., Wu, H. Y., Escolar, J., De Sanctis, A., Prando, G., Vollmer, F., Withers, F., Riis-Jensen, A. C., Craciun, M. F., Thygesen, K. S., & Russo, S. (2020). Engineering dielectric screening for potential-well arrays of excitons in 2D

- materials, *ACS Applied Materials & Interfaces*, **12**(49), 55134–55140.
19. Singh, C. A., Ngangbam, C., Ranjan, A., Kumari, I., & Singh, K. J. (2017). Simulation and experimental study of ZnO thin film deposited over p-Si with Al contact. *2017 IEEE International Conference on Electrical, Instrumentation and Communication Engineering (ICEICE)*, 1–4.
  20. Mahmud, M., Islam, M. T., Misran, N., Singh, M. J., & Mat, K. (2017). A negative index metamaterial to enhance the performance of miniaturized UWB antenna for microwave imaging applications. *Applied Sciences*, **7**(11), 1149.
  21. Tyszka-Zawadzka, A., Janaszek, B., & Szczepański, P. (2017). Tunable slow light in graphene-based hyperbolic metamaterial waveguide operating in SCLU telecom bands. *Optics Express*, **25**(7), 7263–7272.
  22. Ali, T., Mohammad, S. A., & Biradar, R. C. (2017b, May). A novel metamaterial rectangular CSRR with pass band characteristics at 2.95 and 5.23 GHz. *2017 2nd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, 256–260.
  23. Zhang, Q., Ma, Q., Yan, S., Wu, F., He, X., & Jiang, J. (2015). Tunable terahertz absorption in graphene-based metamaterial. *Optics Communications*, **353**, 70–75.
  24. Rybin, O., & Shulga, S. (2017). Magnetically tuned two-component microwave metamaterial. *Progress In Electromagnetics Research M*, **56**, 63–70.
  25. Zarrabi, F. B., Pirooj, A., & Pedram, K. (2019). Metamaterial loads used in microstrip antenna for circular polarization. *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, **29**(10), e21869.
  26. Kumar, S. A., & Shanmuganatham, T. (2014). Design and analysis of implantable CPW fed bowtie antenna for ISM band applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, **68**(2), 158–165.
  27. Cismasu, M., & Gustafsson, M. (2013). Antenna bandwidth optimization with single frequency simulation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, **62**(3), 1304–1311.
  28. Armelles, G., Bergamini, L., Zabala, N., García, F., Dotor, M. L., Torné, L., ... & Cebollada, A. (2018). Metamaterial platforms for spintronic modulation of mid-infrared response under very weak magnetic field. *ACS Photonics*, **5**(10), 3956–3961.
  29. Monticone, F., & Alù, A. (2014). The quest for optical magnetism: from splitting resonators to plasmonic nanoparticles and nanoclusters. *Journal of Materials Chemistry C*, **2**(43), 9059–9072.
  30. Krzysztofik, W. J., & Brambila, F. (2017). Fractals in antennas and metamaterials applications. *Fractal Analysis: Applications in Physics, Engineering and Technology*, 953–978.
  31. Yang, F., Wang, E., Shen, X., Zhang, X., Yin, Q., Wang, X., ... & Peng, W. (2022). Optimal Design of Acoustic Metamaterial of Multiple Parallel Hexagonal Helmholtz Resonators by Combination of Finite Element Simulation and Cuckoo Search Algorithm. *Materials*, **15**(18), 6450.
  32. Dang, Z. M., Yuan, J. K., Yao, S. H., & Liao, R. J. (2013). Flexible nanodielectric materials with high permittivity for power energy storage. *Advanced Materials*, **25**(44), 6334–6365.
  33. Thévenot, J., Oliveira, H., Sandre, O., & Lecommandoux, S. (2013). Magnetic responsive polymer composite materials. *Chemical Society Reviews*, **42**(17), 7099–7116.
  34. Jing, X., Xu, Y., Gan, H., He, Y., & Hong, Z. (2019). High refractive index metamaterials by using higher order modes

- resonances of hollow cylindrical nanostructure in visible region. *IEEE Access*, **7**, 144945–144956.
35. Roy, A. B., Das, S., Kundu, A., Banerjee, C., & Mukherjee, N. (2017). c-Si/n-ZnO-based flexible solar cells with silica nanoparticles as a light trapping metamaterial. *Physical Chemistry Chemical Physics*, **19**(20), 12838–12844.
36. Zhao, Y., Hao, L., Zhang, X., Tan, S., Li, H., Zheng, J., & Ji, G. (2022). A novel strategy in electromagnetic wave absorbing and shielding materials design: multi-responsive field effect. *Small Science*, **2**(2), 2100077.
37. Liu, Z., Liu, Z., Li, J., Li, W., Li, J., Gu, C., & Li, Z. Y. (2016). 3D conductive coupling for efficient generation of prominent Fano resonances in metamaterials. *Scientific Reports*, **6**(1), 27817.
38. Abdulkarim, Y. I., Deng, L., Altıntaş, O., Ünal, E., & Karaaslan, M. (2019). Metamaterial absorber sensor design by incorporating swastika shaped resonator to determination of the liquid chemicals depending on electrical characteristics. *Physica E: Low-dimensional systems and Nanostructures*, **114**, 113593.
39. Ademgil, H., & Haxha, S. (2015). PCF based sensor with high sensitivity, high birefringence and low confinement losses for liquid analyte sensing applications. *Sensors*, **15**(12), 31833–31842.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Comparison of measuring the noise level of glass wool soundproofing material using a sound level meter and the KY-037 noise measuring instrument

Indah Pratiwi Tanjung\*, Masthura, Nazaruddin Nasution

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [indahpratiwitjg28@gmail.com](mailto:indahpratiwitjg28@gmail.com)

### ABSTRACT

The problem that people often face, both at home and in public places, is noise that disturbs concentration and comfort. Noise can be measured by sound level measurement, namely by measuring the intensity or loudness of sound in hertz and sound waves in decibels (dB). Then noise can be reduced by materials that can absorb sound, one of which is glass wool. The purpose of this research is to make a noise-measuring instrument, find out the effectiveness of damping materials, and compare the results of measuring noise levels. The measuring instrument for noise in this study is the sound level meter (SLM) using a KY-037 sound sensor programmed with Arduino Uno as a microcontroller. The results of noise measurements using a factory standard SLM and noise measurement tool KY-037 obtained an average factory standard SLM measurement of 72.23 dB and the average measurement of the KY-037 noise meter is 67.67 dB. From the measurement results with the two tools, the difference in comparison is 4.56 dB with a percent deviation of 6,33%. Then the results of testing the glasswool sound-dampening material with a comparison of the two measuring devices obtained that each sound intensity absorption was 17.9 – 28.5 dB and the effectiveness of the reduction was 21.8% – 34.9%.

**Keywords:** Glass wool; noise; sound level meter; sound sensor KY-037

Received 28-07-2023 | Revised 13-10-2023 | Accepted 10-12-2023 | Published 08-03-2024

### PENDAHULUAN

Salah satu masalah yang selalu dihadapi masyarakat, baik di rumah maupun di tempat kerja adalah kebisingan yang mempengaruhi konsentrasi dan kenyamanan. Kebisingan adalah suara yang tidak diinginkan yang berasal dari usaha atau kegiatan dengan volume dan waktu tertentu yang dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat dan kenyamanan lingkungan sekitarnya. Secara umum sumber kebisingan dapat berasal dari industri, komersial, konstruksi, fasilitas pembangkit listrik, fasilitas transportasi, dan aktivitas domestik. Saat ini, kebutuhan pekerjaan masyarakat akan alat ukur sangat penting untuk semua aspek pekerjaan di dunia elektronik. Kebisingan dapat diukur dengan pengukuran tingkat suara. Alat ini mengukur kenyaringan suara dalam Hertz (Hz) dan gelombang suara dalam *decibel* (dB). Telinga manusia hanya dapat mendeteksi intensitas suara dalam kisaran

20 hingga 20.000 Hz. Berdasarkan Keputusan Sekretaris Lingkungan Hidup No: Kep. MNLH 11/1996 tentang Baku Mutu Kebisingan menyatakan bahwa batas paparan kebisingan untuk wilayah sekolah adalah 55 dB atau kurang. Selain itu, terdapat modul sensor suara KY-037 yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan [1].

Pada dasarnya kebisingan adalah setiap suara yang menyela, atau berbahaya bagi aktivitas keseharian. Oleh sebab itu, setiap bunyi yang tidak diinginkan oleh pendengar disebut bising. Kebisingan adalah suara yang memiliki banyak gelombang suara dan amplitudo, biasanya terjadi pada frekuensi tinggi. Pengertian kebisingan menurut Harris, di dalam karya tulis Sari *et al.* (2020), “kebisingan ialah bunyi yang tidak dikehendaki karena tak sesuai dengan ruang dan waktu sebagai akibatnya menyebabkan kenyamanan dan kesehatan manusia” [2].

Dewasa ini, dunia elektronik berkembang pesat. Berbagai komponen berevolusi dalam aspek efisiensi, fungsi, utilitas, dan fisik. Dengan perkembangan dunia elektronik yang semakin cepat, teknologi digital diciptakan dan pengembangan perangkat canggih yang disebut mikrokontroler Arduino [3]. Arduino berarti rangkaian elektronik ini yang komponen utamanya adalah chip mikrokontroler. Mikrokontroler yang dimaksud di sini adalah sebuah chip atau sirkuit terintegrasi yang dapat diprogram oleh komputer. Arduino juga merupakan kit elektronik atau papan sirkuit terbuka, yang sumber perangkat keras utamanya adalah chip mikrokontroler Atmel AVR. Umumnya Arduino Uno R3 memakai chip ATmega 328. Mikrokontroler adalah sirkuit sistem terintegrasi tunggal yang terdiri dari inti prosesor, memori, dan terminal fungsi *input/output* yang dapat diprogram dapat digunakan sebagai komputer kecil [4].

*Sound level meter* (SLM) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tingkat kekuatan atau kekerasan suara. Komponen yang terdapat pada alat ini antara lain mikrofon, *amplifier*, *weighting network*, dan layar *display* yang tampil dalam satuan dB [5]. Alat ini juga memiliki fungsi mengukur tingkat kebisingan antara 30 – 130 dB dengan frekuensi antara 20 hingga 20.000 Hz [6].

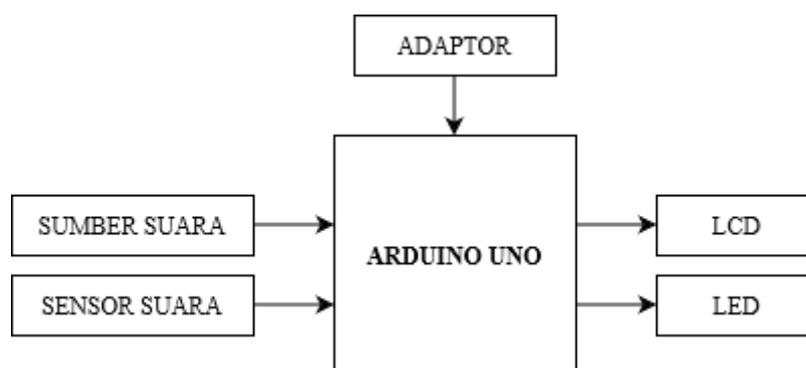
Sensor suara adalah sensor yang mengubah besaran frekuensi menjadi besaran listrik. Sensor bekerja berdasarkan besarnya intensitas gelombang suara yang menumbuk membran sensor sehingga menyebabkannya bergerak naik turun [7]. Dengan program sensor ini, ia dapat membedakan antara suara keras, suara

rendah, dan suara pelan [8]. Salah satu model sensor suara ialah sensor suara KY-037. Sensor suara KY-037 ialah modul sensor yang mendeteksi amplitudo suara diubah sebagai listrik, yang diproses oleh mikrokontroler. Sensor ini beroperasi dari 3,3 – 5 V serta mempunyai 2 *pin* keluaran yaitu tegangan analog serta digital [9].

*Glass wool* adalah berbagai mineral berserat yang tersedia di pasaran, paling sering wol mineral atau sekumpulan benang atau serat yang terbuat dari mineral alami dan buatan manusia. *Glass wool* yang terbuat dari mineral buatan (serat kaca halus) adalah yang paling umum digunakan, sedangkan *rock wool* terbuat dari mineral alami [10]. *Glass wool* memiliki umur simpan hingga 6 bulan. *Glass wool* biasanya digunakan dalam knalpot untuk meredam kebisingan yang dihasilkan oleh mesin kendaraan bertenaga [11]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan hasil pengukuran kebisingan bahan peredam suara *glass wool* dengan menggunakan SLM dan alat ukur kebisingan KY-037.

## METODE PENELITIAN

Metode pada penelitian ini adalah metode eksperimen, dimana perancangan alat ukur kebisingan KY-037 bahan peredam *glass wool* membutuhkan beberapa peralatan yaitu, satu set SLM, laptop, solder listrik, timah, adaptor, multimeter digital, meteran, gunting, obeng, kabel USB, *speaker*, dan tripod. Sedangkan komponen yang digunakan yaitu, Arduino Uno, sensor suara KY-037, LCD, LED, *project box*, kardus, *glass wool*, lem, dan selotip.

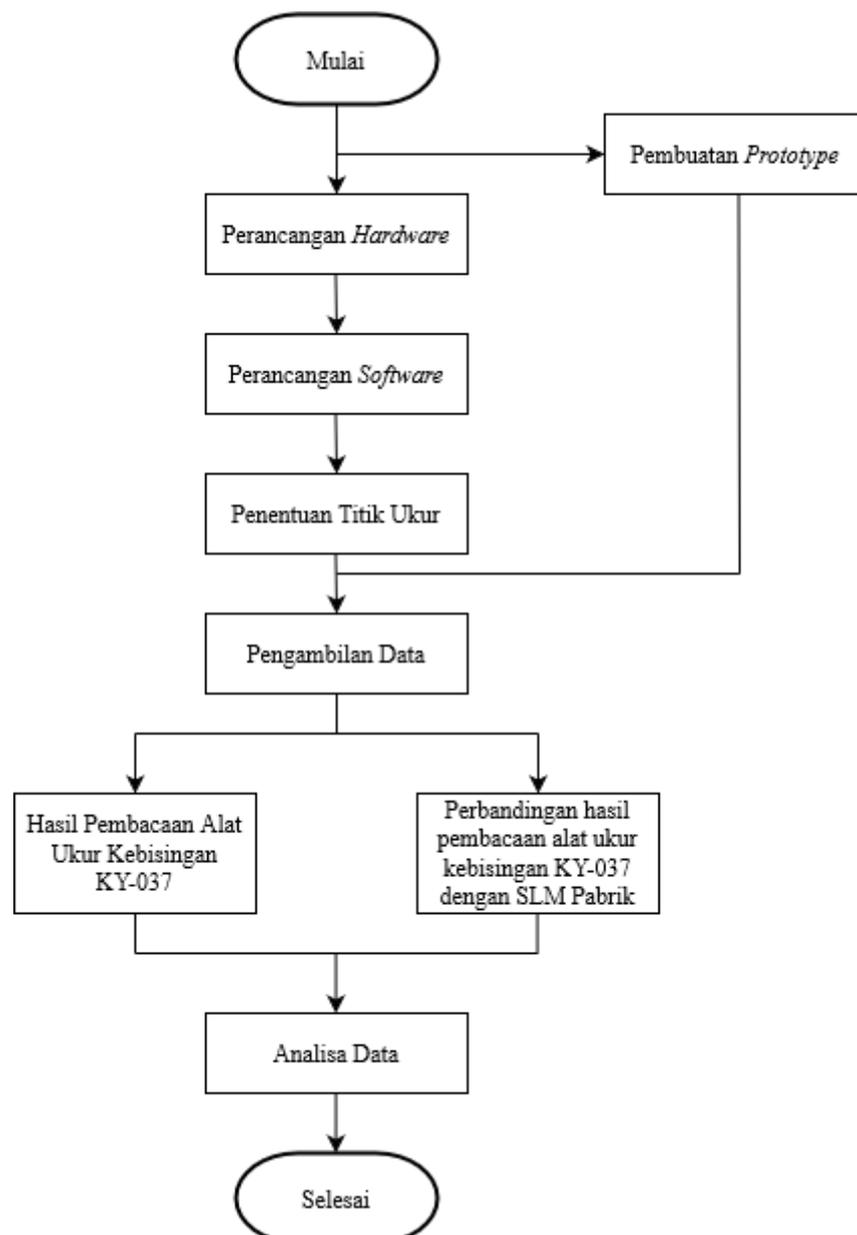


**Gambar 1.** Blok diagram penelitian.

Adapun rancangan alat untuk penelitian ini dapat terlihat pada diagram blok di Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 blok diagram diatas, terdapat beberapa komponen. Adapun fungsi pada masing-masing bagian komponen yaitu, adaptor sebagai penghubung ke sumber tegangan. Arduino Uno sebagai proses utama dalam pengolahan data *input* dan *output* pada rangkaian alat. Sumber suara sebagai sumber suara yang akan diukur intensitas bunyinya

dengan menggunakan sensor. Sensor suara sebagai alat ukur suara. LCD menampilkan data hasil pengukuran alat. LED sebagai keluaran pertanda ambang batas keamanan kebisingan.

Kemudian, pelaksanaan penelitian dimulai dari perancangan alat yang terdiri dari *hardware* dan *software* serta *prototype* sampai dengan selesai, seperti yang terlihat pada diagram alir di Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Diagram alir penelitian.

Berdasarkan gambar diagram alir diatas, perancangan dimulai dengan pembuatan perangkat keras dan *prototype* yang terdiri dari

*project box* dan komponen lainnya, kemudian dilanjutkan dengan perangkat lunak yang terdiri dari data pemrograman untuk pembacaan

pengukuran alat, setelahnya penentuan titik ukur pada ruang Laboratorium Fisika Kuantum UINSU. Kemudian pengujian dan pengambilan data dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran pada alat ukur yang telah dirancang dengan alat ukur standar. Sumber suara menggunakan aplikasi *frequency sound generator* di Android. Alat pembanding berupa SLM sehingga dapat menentukan tingkat akurasi alat yang dikembangkan. Keakuratan sistem dapat ditentukan oleh persentase kesalahan antara nilai aktual dan nilai pembacaan yang tampil.

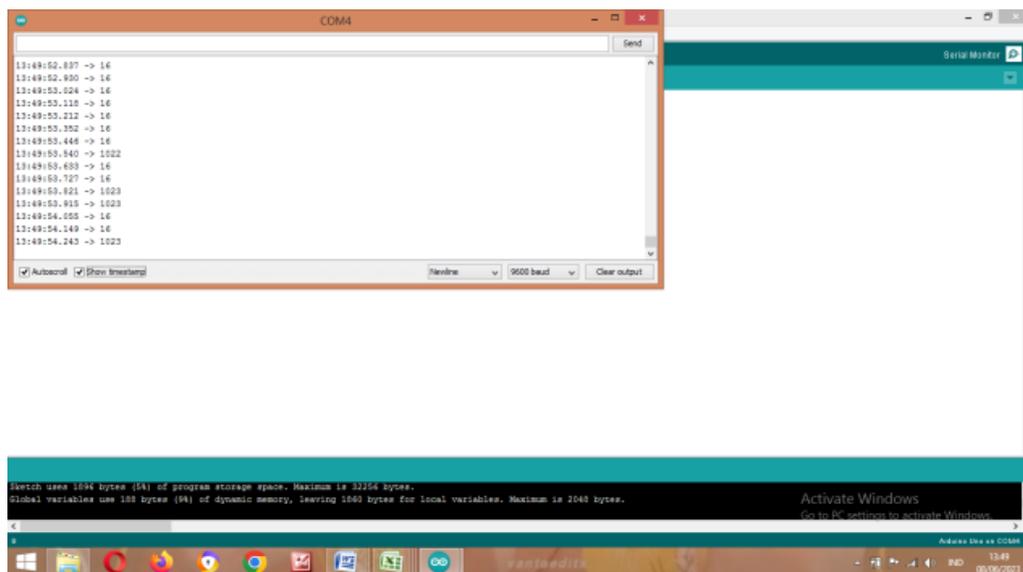
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah merancang dan memasang seluruh komponen-komponen alat pengukur kebisingan KY-037 digunakan untuk mengukur tingkat taraf intensitas kebisingan pada ruangan

Laboratorium Fisika Kuantum Universitas Islam Negeri Sumatera Utara. Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian dan analisis terhadap hasil yang didapatkan dari alat ukur yang telah dirancang. Beberapa pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sensor KY-037, pengujian LCD, pengujian pengukuran perbandingan kedua alat ukur, dan pengujian bahan peredam suara.

### Pengujian Sensor Suara KY-037

Sensor suara KY-037 adalah sensor modul yang mendeteksi amplitudo suara, mengubahnya menjadi listrik, yang diproses oleh mikrokontroler (lihat Gambar 3). Sensor ini bekerja pada rentang 3,3 – 5 V dan memiliki dua *pin* keluaran yaitu tegangan analog dan digital.



**Gambar 3.** program pengujian Sensor Suara KY-037.

**Tabel 1.** Tabel hasil kalibrasi sensor KY-037.

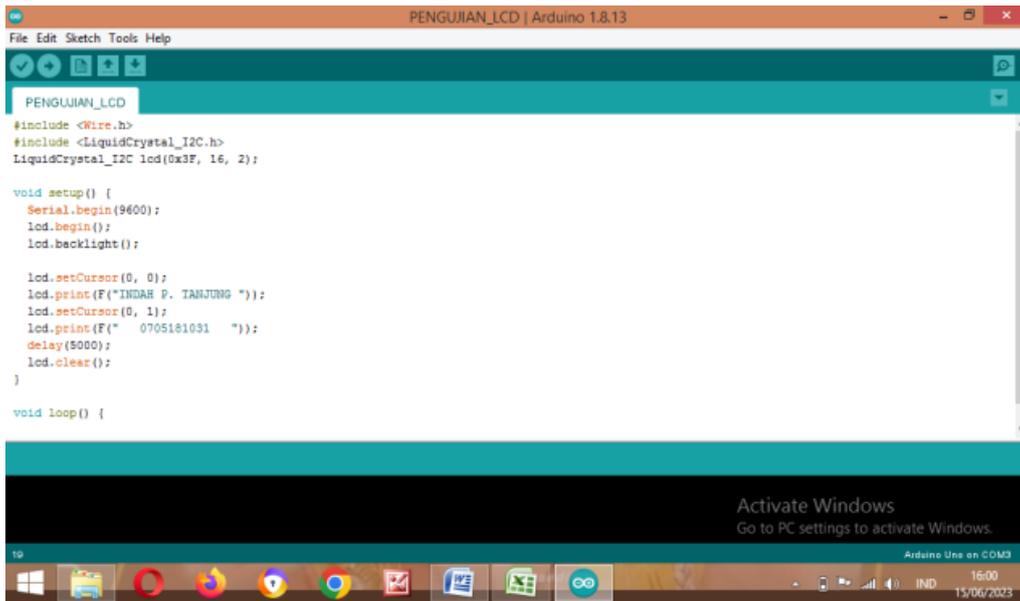
Percobaan	Nilai analog	Tegangan (V)	Kondisi
1	16	0,07	Diam
2	16	0,07	Diam
3	16	0,07	Diam
4	1022	4,9	Berbicara
5	1023	4,9	Berbicara
6	1023	4,9	Berbicara

Didapatkan hasil pengujian kalibrasi sensor KY-037 didapatkan dengan nilai 16 pada saat

kondisi diam atau tidak ada suara, dan nilai 1022 – 1023 pada saat seseorang berbicara atau terdeteksi adanya suara (lihat Tabel 1).

### Pengujian LCD

LCD merupakan tampilan material kristal cair yang beroperasi menggunakan sistem *dot matrix* (lihat Gambar 4). LCD yang digunakan untuk penelitian ini berukuran panjang 16, baris 2, karakter 32, dan 16 *pin*.



Gambar 4. Program pengujian LCD.

Tabel 2. Tabel hasil pengukuran.

Titik ukur	Hasil pengukuran		Persen deviasi (%)
	SLM standar pabrik (dB)	Alat ukur kebisingan KY-037 (dB)	
1	68,00	64,06	5,79
2	77,40	72,66	6,12
3	71,80	66,35	7,59
4	71,90	68,75	4,38
5	75,10	70,02	6,76
6	67,90	61,57	9,32
7	76,80	70,27	8,50
8	68,10	62,63	8,61
9	73,50	69,91	4,88
10	77,60	71,71	7,59
11	77,10	71,62	7,10
12	78,20	73,94	5,44
13	77,70	72,15	7,14
14	72,10	67,85	5,89
15	67,00	62,27	7,05
16	67,70	63,35	6,42
17	71,50	67,08	6,18
18	78,60	73,39	6,62
19	59,50	54,88	7,76
20	69,70	64,10	8,03
21	72,00	68,33	5,09
22	73,60	69,87	5,06
23	67,80	63,52	6,31
24	76,80	71,87	6,41
25	76,40	70,90	7,19
26	69,00	66,97	2,94
27	66,80	64,54	3,38
28	76,50	72,86	4,75
29	74,50	71,76	3,67
30	66,50	61,18	8,00
<b>Rata-rata</b>	<b>72,23</b>	<b>67,67</b>	<b>6,33</b>

## Pengukuran Kebisingan di Ruangan

Pengukuran kebisingan dilakukan di ruangan Laboratorium Fisika Kuantum UINSU Medan dengan menggunakan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan KY-037 dimana pengukuran dilakukan sebanyak 30 titik pengukuran dengan jarak 1,5 m dari sumber suara dan jarak 1 m antar titik ukur. Frekuensi suara 500 Hz digunakan sebagai sumber suara dari sebuah aplikasi *frequency sound generator* di Android yang dihubungkan pada *speaker* dengan volume maksimal. Kemudian, untuk pengukuran kebisingan dengan SLM standar pabrik diletakkan diatas tripod dengan tinggi 1 m, lalu SLM diatur dengan cara dihubungkan ke laptop dan mengatur *software noiselogger* pada menu set parameter bagian *record interval* diatur selama 1 detik dan total *record* diatur sebanyak 20 data. Pengukuran kebisingan dengan alat ukur kebisingan KY-037 juga diletakkan diatas tripod dengan tinggi 1 m kemudian alat ukur kebisingan KY-037 dihubungkan ke laptop dengan kabel lalu mengatur data program mikrokontroler di Arduino dan menjalankan alatnya, data pengukuran akan muncul dalam bentuk pembacaan di *serial monitor*. Adapun data pengukuran kebisingan yang didapatkan dari SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan KY-037 terdapat pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa hasil pengukuran kebisingan dengan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan KY-037 memiliki pembacaan pengukuran yang tidak terlalu jauh berbeda pada tiap titik ukur, dengan rata-rata pengukuran SLM standar pabrik sebesar 72,23 dB dan rata-rata pengukuran alat ukur kebisingan KY-037 sebesar 67,67 dB.

Kemudian dihitung persen deviasi alat ukur dengan menggunakan rumus maka didapatkan hasil maksimum ada di titik ukur 6 dengan persen deviasi 9,32% dan hasil minimum ada di titik ukur 26 dengan persen deviasi 2,94%, lalu untuk persen deviasi keseluruhan didapatkan sebesar 6,33%.

## Pengukuran Bahan Peredam Suara *Glass Wool*

Pengujian dan pengukuran bahan peredam suara *glass wool* dilakukan dengan sebuah kotak *prototype* berbahan kardus berukuran  $49 \times 39 \times 29 \text{ cm}^3$ . Frekuensi suara 500 Hz digunakan sebagai sumber suara dari sebuah aplikasi *frequency sound generator* yang dihubungkan pada *speaker*, dimana jarak *prototype* kardus dengan sumber suara sejauh 1,5 m. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur taraf intensitas bunyi pada sebuah *prototype* kardus sebelum dan sesudah dipasang bahan peredam. Pengukuran ini dilakukan dengan 2 alat ukur yaitu SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan KY-037. Untuk pengujian sebelum dipasang bahan peredam *glass wool*, *prototype* kardus diletakkan dilantai kemudian dihubungkan dengan kedua alat ukur secara bergantian dimana alat ukur tersebut diletakkan diposisi tengah dalam kardus dan kemudian alat ukur dihubungkan ke laptop dan diatur pengukurannya lalu kardus ditutup. Kemudian untuk pengujian sesudah dipasang bahan peredam dilakukan dengan merekatkan *glass wool* ke sekeliling dinding bagian dalam kardus hingga tidak ada celah, selanjutnya alat ukur diletakkan dan memulai pengukuran. Berikut data hasil dari pengujian yang telah diperoleh seperti pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Hasil pengujian bahan peredam *glass wool*.

Alat ukur	Ketebalan peredam (cm)	Hasil pengukuran (dB)	
		Sebelum dipasang bahan peredam suara <i>glass wool</i>	Sesudah dipasang bahan peredam suara <i>glass wool</i>
SLM standar	2,5	81,6	62,9
pabrik	5,0	81,6	53,1
Alat ukur	2,5	81,9	64,0
kebisingan KY-037	5,0	81,9	53,64

Dari Tabel 3 data diatas, dapat dilihat bahwa pengukuran kebisingan sebelum dan sesudah dipasangnya bahan peredam dengan 2 variasi ketebalan peredam yaitu 2,5 cm dan 5 cm memiliki selisih cukup besar, dari hal tersebut dapat dilakukan perhitungan efektifitas reduksi dari bahan peredam *glass wool*. Dengan perhitungan tersebut didapatkan hasil efektifitas reduksi bahan peredam *glass wool* dengan ketebalan peredam 2,5 cm sebesar 22,9% dimana penyerapan intensitas bunyi sebesar 18,7 dB dan hasil efektifitas reduksi bahan peredam *glass wool* dengan ketebalan peredam 5 cm sebesar 34,9% dimana penyerapan intensitas bunyi sebesar 28,5 dB yang diukur menggunakan SLM standar pabrik. Sedangkan pengukuran dengan alat ukur kebisingan KY-037 didapatkan hasil efektifitas reduksi bahan peredam *glass wool* dengan ketebalan peredam 2,5 cm sebesar 21,8% dimana penyerapan intensitas bunyi sebesar 17,9 dB dan hasil efektifitas reduksi bahan peredam *glass wool* dengan ketebalan peredam 5 cm sebesar 34,5% dimana penyerapan intensitas bunyi sebesar 28,26 dB. Dari data tersebut diketahui bahwa semakin besar ketebalan peredam maka semakin besar intensitas penyerapan suara yang dihasilkan.

## KESIMPULAN

Setelah meneliti dan menganalisa maka dapat disimpulkan bahwa perbandingan hasil pengukuran kebisingan dengan menggunakan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan KY-037 didapatkan rata-rata pengukuran SLM standar pabrik sebesar 72,23 dB dan rata-rata pengukuran alat ukur kebisingan KY-037 sebesar 67,67 dB. Dari hasil pengukuran dengan kedua alat tersebut didapatkan selisih perbandingan sebesar 4,56 dB dengan persen deviasi sebesar 6,33%. Kemudian hasil pengujian bahan peredam suara *glass wool* dengan perbandingan kedua alat ukur didapatkan masing-masing penyerapan intensitas bunyinya sebesar 17,9 – 28,5 dB dan efektifitas reduksi sebesar 21,8% – 34,9%.

## REFERENSI

1. Tuwaidan, Y. A., Poekoel, V. C., & Mamahit, D. J. (2015). Rancang Bangun Alat Ukur Desibel (dB) Meter Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, *4*(1), 37–43.
2. Sari, M., Mahyuddin, Simarmata, M. M. T., Susilawaty, A., Wati, C., Munthe, S. A., ... & Hulu, V. T. (2020). *Kesehatan lingkungan perumahan*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
3. Ramadan, A. (2018). *Aplikasi multisensor SLM (sound level meter) disertai sistem data logger berbasis Arduino Uno sebagai alat ukur kebisingan dalam ruangan*. Skripsi Pendidikan Fisika, Universitas Jember.
4. Arief, W. (2019). *Pengantar mikroprosesor*. Sidoarjo: Universitas Muhammadiyah.
5. Mediastika, C. E. (2005). *Akustika bangunan*. Yogyakarta: Arsitektur Fakultas Teknik Atma Jaya Erlangga.
6. Chandra, B. (2005). *Pengantar kesehatan lingkungan*. Jakarta: EGC.
7. Fuad, A., & Dafha, N. (2020). *Pedoman manajemen industri di PT. SEM Indonesia Smart Earmuff*. Yogyakarta: AFA Group.
8. Rafiuddin, S. (2013). *Dasar-dasar teknik sensor*. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
9. Bahar, F. (2022). *Rancang buat teknologi IoMT menggunakan webserver untuk pemantauan laju pernapasan, kadar oksigen dan suhu tubuh*. Skripsi Fisika, Universitas Hasanuddin.
10. Djasba, S., Lahming, L., & Jamaluddin, J. (2018). Modifikasi Peredam Suara (Knalpot) Mesin Diesel Traktor Ramah Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, *4*, 49–58.

11. Kurniawan, A. T. (2010). *Efektifitas variasi glasswool dan arang aktif pada knalpot terhadap penurunan kadar emisi*

*CO<sub>2</sub>, CO, HC dan NOX sepeda motor 2 tak*. Diploma Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan Yogyakarta.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## IoT-based noise measuring tool with FC-04 sound sensor for polyurethane dampening materials

Vicha Indriany\*, Masthura, Nazaruddin Nasution

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [vichaindriany@gmail.com](mailto:vichaindriany@gmail.com)

### ABSTRACT

Increased noise caused by human and industrial activities can cause health problems, such as stress, affecting sleep quality, and having negative effects on long-term health, usually such as hearing problems, high blood pressure, and depression. This study aims to make a noise-measuring instrument, examine the comparison of the results of sound intensity level measurements, and examine the damping ability of polyurethane. The sensor used in this study is the FC-04 sound sensor which functions as a sound intensity level meter that works by changing the sound scale to an electrical quantity. The data that has been obtained is a comparison of the measurement results using the factory standard sound level meter (SLM) and an artificial noise measuring instrument which is analyzed using the calculation of the percent deviation. As for the measurement data of the damper material polyurethane before and after, analyzed using reduction effectiveness calculations. The results of measuring the sound intensity level using the factory standard SLM and an artificial noise meter obtained an average value of the sound intensity level of 72.67 dB and 67.77 dB. From the results of the two measuring instruments, the percentage deviation of the measuring instrument is 6.7% with minimum and maximum percentage deviation values of 3.1% and 11.7%. The results of the measurement of the reduction effectiveness value of the damper material polyurethane using factory standard SLM and artificial noise measurement tools of 14.7% and 14.8%.

**Keywords:** FC-04 sound sensor; noise; polyurethane

Received 27-07-2023 | Revised 05-12-2023 | Accepted 09-12-2023 | Published 13-03-2024

### PENDAHULUAN

Kebisingan yang terjadi secara terus-menerus dapat menimbulkan masalah kesehatan, seperti menyebabkan stres, mempengaruhi kualitas tidur, dan memiliki efek negatif pada kesehatan jangka panjang biasanya seperti masalah pendengaran, tekanan darah tinggi, dan depresi. Bunyi dengan frekuensi yang tinggi adalah yang paling berbahaya bagi kesehatan manusia. Frekuensi suara yang dirasakan oleh telinga manusia adalah antara 16 Hz sampai 20.000 Hz [1]. Dalam ilmu Fisika, bunyi dan suara adalah hal yang sama keduanya merupakan getaran yang merambat di udara [2]. Untuk mengukur suatu tingkat kebisingan pada suatu tempat biasanya menggunakan alat ukur yang sering disebut dengan *sound level meter* (SLM) adalah peranti yang mampu memperkirakan intensitas bunyi dalam rentang

30 dB hingga 130 dB dan dari gelombang suara 20 Hz sampai 20.000 Hz [3]. *Polyurethane* adalah bahan yang sangat efektif untuk mengurangi tingkat kebisingan dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi akustik, seperti peredam suara pada mobil, pesawat terbang, dan bangunan [4]. *Polyurethane* terdiri dari komponen kimia A (*polyol*) dan komponen B (*isocyanate*) sebagai pengembang. Campuran kedua bahan ini menghasilkan busa yang sifatnya bervariasi sesuai dengan komposisi yang digunakan. *Polyurethane* bisa menjadi bahan kedap suara yang baik karena memiliki banyak pori dan menyebar merata [5].

*Internet of things* (IoT) adalah sebuah konsep yang bertujuan untuk secara otomatis memperluas koneksi internet antar objek di sekitar kita melalui pertukaran data yang sangat cepat [6]. Mikrokontroler merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk

menjalankan pengontrolan dan pengendalian pada sebuah tugas tertentu secara terprogram dengan mikroprosesor sebagai otak pemrosesan dan *input/output* sebagai pendukung [7]. NodeMCU merupakan perangkat keras berbasis mikrokontroler yang menggunakan modul ESP8266 sebagai inti dari sistemnya yang dikembangkan untuk membuat aplikasi IoT dengan mudah dan cepat [8]. *Blynk* adalah aplikasi yang bisa digunakan pada perangkat keras Android dan diunduh di *playstore* secara gratis, aplikasi ini memiliki fungsi sebagai *controller* Arduino, *raspberry pi*, dan sebagainya melalui internet. *Blynk* dirancang untuk mengatur media jarak jauh, menampilkan data sensor, menyimpan data, menampilkan gambar, dan banyak hal lainnya [9].

Sensor adalah elemen sistem yang terhubung secara efektif ke proses dari mana variabel diukur dan, bergantung pada variabel masukan, menghasilkan keluaran dalam bentuk tertentu yang dapat digunakan oleh bagian lain [10]. Sensor suara adalah perangkat yang mampu mengubah gelombang sinus menjadi gelombang sinus (arus bolak-balik sinus) [11]. Cara kerja sensor suara FC-04 yaitu sebagai mikrofon kondensator bekerja berdasarkan susunan pelat yang terhubung ke listrik membuat *sound – sensitive capacitor*, Frekuensi menuju mikrofon akan menyebabkan komponen diafragma ini bergetar [12].

Berdasarkan latar belakang dan penelitian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian dan inovasi dalam pembuatan alat pengukur kebisingan menggunakan sensor suara dengan harapan persentase keberhasilan yang lebih tinggi dan dapat diaplikasikan pada keadaan sebenarnya sebagai pilihan lain alat ukur kebisingan dengan harga yang cukup terjangkau. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu alat ukur kebisingan menggunakan sensor suara FC-04 berbasis IoT dan membandingkan hasil pengukurannya dengan alat ukur SLM standart pabrik. Serta menguji efektifitas reduksi dari bahan peredam *polyurethane*.

## METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai dalam penelitian ini ialah metode eksperimen untuk membandingkan hasil pembacaan alat ukur kebisingan menggunakan sensor FC-04 berbasis IoT dengan SLM standart pabrik untuk mencari nilai *error* alat ukur kebisingan yang dibuat dengan sampel ruangan yang digunakan ialah ruangan Laboratorium Elektronika FST UIN Sumatera Utara. Selanjutnya diuji efektifitas reduksi bahan peredam *polyurethane* menggunakan alat ukur kebisingan menggunakan sensor FC-04 berbasis IoT dengan SLM standart pabrik.

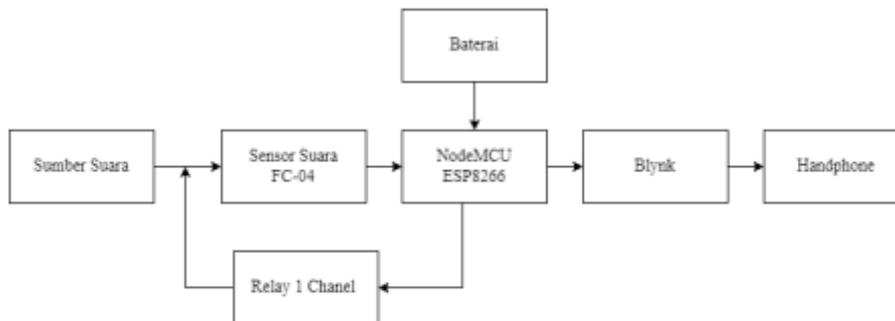
### Perancangan Alat Ukur Kebisingan Berbasis IoT

Gambar 1 menunjukkan sistem diagram blok alat ukur kebisingan menggunakan sensor FC-04 berbasis IoT. Baterai berfungsi sebagai sumber tegangan yang digunakan oleh NodeMCU ESP8266. Sumber suara merupakan suara atau bunyi yang akan diukur intensitasnya dengan sensor suara FC-04. Sensor Suara FC-04 berfungsi sebagai pendeteksi kebisingan. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler yang mengolah data. *Relay 1 channel* berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengontrol sensor suara. *Blynk* berfungsi sebagai aplikasi penghubung antara NodeMCU ESP8266 dengan *handphone*. *Handphone* berfungsi sebagai media yang menampilkan hasil pembacaan alat.

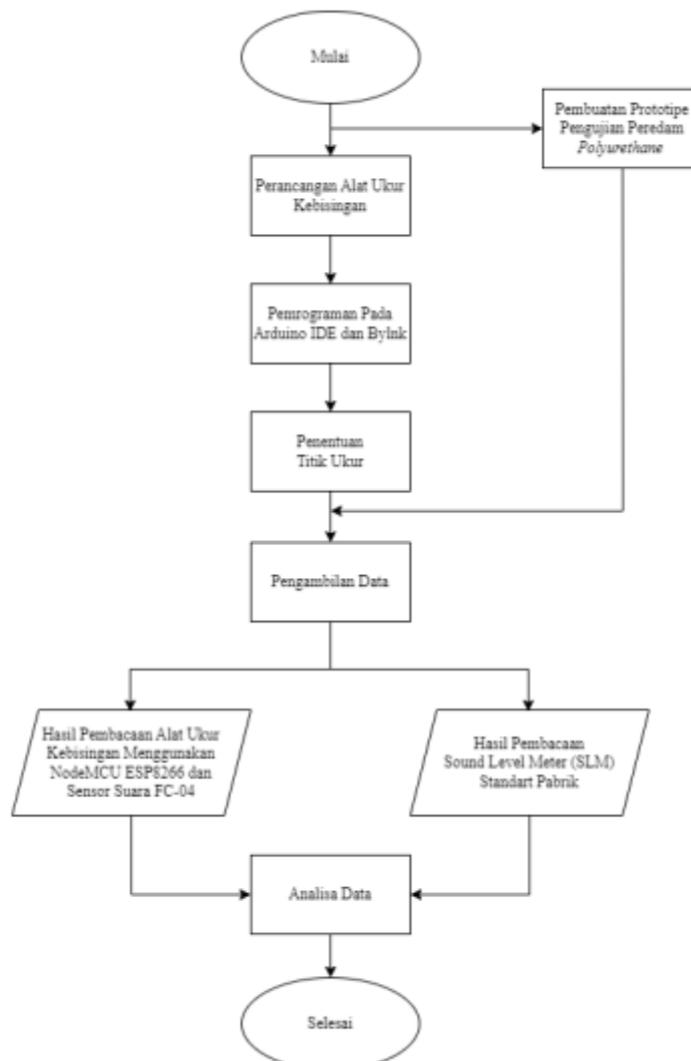
Berlandaskan flowchart alur riset (lihat Gambar 2) dari pembuatan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT untuk bahan peredam *polyurethane* dimulai dari pembuatan prototipe yang terbuat dari kardus untuk pengujian bahan peredam *polyurethane*, kemudian perancangan alat ukur kebisingan yang terdiri dari sensor suara FC-04, *relay 1 channel*, baterai 3,7 V dan mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Selanjutnya pemrograman pada Arduino IDE dan *Blynk*. Arduino IDE digunakan untuk memprogram NodeMCU

ESP8266 agar dapat mengelola data pembacaan sensor suara FC-04 dan aplikasi *Blynk* digunakan untuk menghubungkan dari NodeMCU ESP8266 ke *handphone*. Penentuan titik ukur pada ruangan Laboratorium Elektronika diambil sebanyak 30 titik pengukuran. Pengambilan data intensitas bunyi pada ruangan dilakukan dengan mengukur

kebisingan menggunakan alat ukur yang dirancang dan dibandingkan dengan SLM standar pabrik disetiap titik pengukuran yang telah ditentukan dan pengambilan data pengujian bahan peredam *polyurethane* dilakukan pada sebuah prototipe yang terbuat dari kardus.



**Gambar 1.** Diagram blok alat.

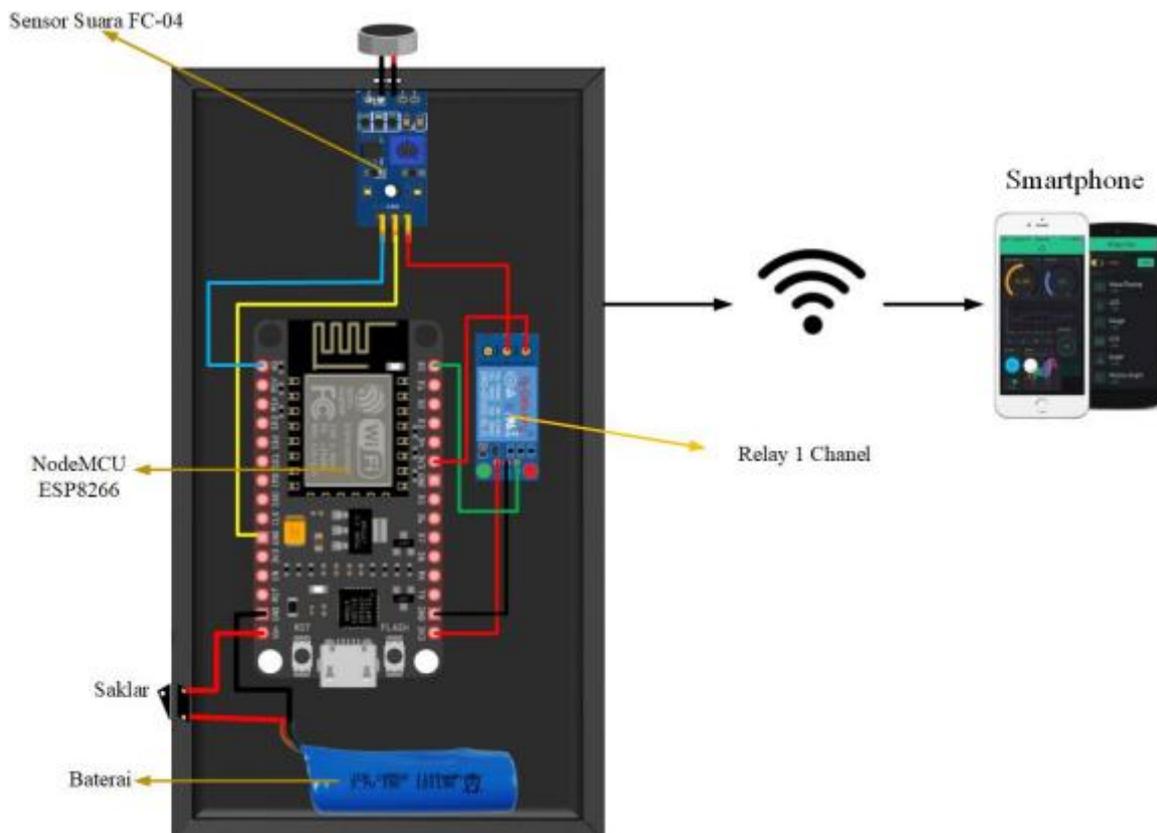


**Gambar 2.** Flowchart penelitian.

## Desain Perancangan Alat

Penelitian ini menggunakan menggunakan sebuah *project box* berbentuk balok berdimensi  $12 \times 6 \times 2 \text{ cm}^3$  berwarna hitam. Komponen yang terletak di dalam *project box* ada NodeMCU ESP8266, sensor suara FC-04, *relay* 1 *channel* dan sebuah baterai dengan tegangan

3,7 V. Hasil pembacaan alat akan ditampilkan pada *smartphone* melalui koneksi aplikasi *Blynk* yang terhubung dengan koneksi Wi-Fi pada NodeMCU ESP8266. Pembacaan sensor diatur oleh *relay*, dimana *relay* berfungsi untuk menghidupkan atau mematikan kinerja sensor suara FC-04.



**Gambar 3.** Desain alat penelitian.

Berdasarkan Gambar 3 di atas, NodeMCU ESP 8266 dihubungkan pada satu *input* sensor suara FC-04 dimana *pin out* pada sensor suara FC-04 dihubungkan pada *pin* A0 NodeMCU ESP8266. *Pin*  $V_{cc}$  pada sensor suara FC-04 terhubung pada *pin* COM *relay* dan *pin* ground sensor terhubung pada *pin* GND NodeMCU ESP 8266. *Pin* NO *relay* 24 dihubungkan ke tegangan 3 V pada NodeMCU ESP8266, lalu *pin* In pada *relay* dihubungkan ke *pin* D1 pada NodeMCU ESP8266, kemudian *pin* GND *relay* dihubungkan ke *pin* GND pada NodeMCU ESP8266 dan *pin*  $V_{cc}$  *relay* dihubungkan ke *pin* 3 V pada NodeMCU ESP8266.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Sensor Suara FC-04

Sensor suara FC-04 diuji menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP 8266. *Pin output* sensor suara FC-04 dihubungkan ke *pin* D1 pada NodeMCU ESP 8266, *pin*  $V_{cc}$  dan *ground* sensor suara FC-04 dihubungkan ke *pin* 3 V dan GND pada NodeMCU ESP 8266. Pengujian dilakukan dengan memberikan sebuah sampel berupa suara dari sebuah *handphone* dihubungkan ke *speaker* dengan frekuensi suara sebesar 500 Hz selama 10 detik. Berikut data hasil pengujian sensor suara FC-04 seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil pengujian sensor suara FC-04.

Detik ke-	Pembacaan sensor
1	Suara terdeteksi
2	Suara terdeteksi
3	Suara terdeteksi
4	Suara terdeteksi
5	Suara terdeteksi
6	Suara terdeteksi
7	Suara terdeteksi
8	Suara terdeteksi
9	Suara terdeteksi
10	Suara terdeteksi

Berdasarkan Tabel 1 tersebut, sensor suara FC-04 dapat mendeteksi suara selama interval waktu 10 detik dengan menampilkan pembacaan sensor pada *serial monitor* berupa

kata “Suara Terdeteksi” seperti pada Gambar 3 dan lampu indikator pada sensor suara FC-04 menyala.

### Pengukuran Kebisingan Menggunakan SLM Standar Pabrik dan Menggunakan Alat Ukur Kebisingan Menggunakan Sensor FC-04 Berbasis IoT

Pengukuran kebisingan pada ruangan Laboratorium Elektronika UIN Sumatera Utara dilakukan dengan menggunakan SLM standar pabrik dan menggunakan alat ukur kebisingan yang dirancang.

**Tabel 2.** Hasil pengukuran kebisingan.

Titik ukur	Hasil pengukuran		Persen deviasi (%)
	SLM (dB)	Alat penelitian (dB)	
1	70,5	67,4	4,3
2	76,5	73,8	3,5
3	68,5	65,2	4,8
4	69,7	66,9	4
5	77,9	74,3	4,6
6	75,9	71,8	5,4
7	78,7	76,2	3,1
8	68,1	65,2	4,2
9	71,3	68,6	3,7
10	79,1	76,2	3,6
11	81,3	78,2	3,8
12	73,1	70,0	4,2
13	75	72,1	3,8
14	66,8	63,2	5,3
15	73,3	70,0	4,5
16	69,4	64,6	6,9
17	74,7	69,0	7,6
18	68,9	63,1	8,4
19	69,5	64,8	6,7
20	68,7	62,9	8,4
21	77,6	70,1	9,6
22	79,2	71,4	9,8
23	65,4	60,1	8,1
24	69,5	62,7	9,7
25	76,1	69,3	8,9
26	71,6	63,7	11
27	72,5	64	11,7
28	73	64,6	11,5
29	73,3	65,4	10,7
30	65	58,4	10,1
<b>Rata-rata</b>	<b>72,67</b>	<b>67,77</b>	<b>6,73</b>

Pengukuran tersebut dilakukan pada 30 titik pengukuran yang telah ditetapkan dengan sumber suara berfrekuensi sebesar 500 Hz dengan jarak 1,5 m terhadap titik ukur paling depan, sedangkan antar titik pengukuran berjarak 1 m. Berikut hasil pengukuran kebisingan pada ruangan Laboratorium Elektronika dengan menggunakan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Berlandaskan Tabel 2 di atas diperoleh nilai kebisingan rata-rata dengan menggunakan SLM standar pabrik sebesar 72,67 dB dan nilai rata-rata kebisingan menggunakan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor 33 suara FC-04 berbasis IoT sebesar 67,77 dB. Dari hasil nilai rata-rata kebisingan kedua alat ukur didapatkan selisih pengukuran sebesar 4,9 dB.

Dari data pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai persentase deviasi pada alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC04 berbasis IoT dengan menggunakan Persamaan (1):

$$\%Deviasi = \left| \frac{X_1 - X_2}{X_1} \right| \times 100\% \quad (1)$$

**Tabel 3.** Hasil pengujian bahan peredam *polyurethane*.

Alat ukur	Hasil pengukuran	
	Sebelum (dB)	Sesudah (dB)
SLM	81,9	69,8
Alat ukur kebisingan buatan	77,7	66,2

Berdasarkan Tabel 3 diatas didapatkan hasil pengukuran taraf intensitas bunyi pada sebuah prototipe kardus sebelum dipasang peredam menggunakan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT sebesar 81,9 dB dan 77,7 dB. Hasil pengukuran taraf intensitas bunyi pada sebuah prototipe kardus sesudah dipasang peredam menggunakan SLM standar pabrik dan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU

Sehingga didapatkan sebesar 6,7%. Nilai persentase deviasi minimum didapatkan pada titik ukur 7 dengan hasil pengukuran menggunakan SLM sebesar 78,7 dB dan hasil pengukuran menggunakan alat ukur kebisingan buatan sebesar 76,2 dB sehingga menghasilkan persentase deviasi sebesar 3,1%. Nilai persentase deviasi maksimum didapatkan pada titik ukur 27 dengan hasil pengukuran menggunakan SLM sebesar 72,5 dB dan hasil pengukuran menggunakan alat ukur kebisingan buatan sebesar 64 dB sehingga menghasilkan persentase deviasi sebesar 11,7%.

### Pengujian Bahan Peredam *Polyurethane*

Pengujian bahan peredam *polyurethane* dilakukan pada sebuah prototipe yang terbuat dari kardus berukuran  $49 \times 39 \times 29 \text{ cm}^3$ . Sumber suara yang digunakan pada pengujian merupakan suara berfrekuensi 500 Hz dari aplikasi *frequency sound generator* yang dihubungkan pada sebuah *speaker*. Dimana jarak prototipe kardus dengan sumber suara sejauh 1,5 m. Berikut data hasil pengujian bahan peredam *polyurethane* seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT sebesar 69,8 dB dan 66,2 dB.

Dari data pengukuran yang telah dilakukan didapatkan nilai efektifitas reduksi dari bahan peredam *polyurethane* dengan menggunakan rumus efektifitas reduksi bahan peredam pada Persamaan (2) berikut:

$$\text{Efektifitas reduksi} = \frac{K_1 - K_2}{K_1} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

$K_1$  = Taraf intensitas kebisingan sebelum dipasang peredam *polyurethane* (dB)

$K_2$  = Taraf intensitas kebisingan sesudah dipasang peredam *polyurethane* (dB)

Pada pengukuran menggunakan SLM standar pabrik didapatkan nilai efektifitas reduksi bahan peredam *polyurethane* sebesar 14,7% dan pada alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT didapatkan nilai efektifitas reduksi bahan peredam *polyurethane* sebesar 14,8%.

## KESIMPULAN

Hasil pengukuran taraf intensitas bunyi pada Laboratorium Elektronika dengan menggunakan SLM standar pabrik pada 30 titik pengukuran didapatkan nilai rata-rata taraf intensitas bunyi sebesar 72,67 dB. Sedangkan hasil pengukuran taraf intensitas bunyi dengan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT pada 30 titik pengukuran didapatkan nilai rata-rata taraf intensitas bunyi sebesar 67,77 dB. Dari hasil kedua 36 alat ukur tersebut memiliki selisih perbandingan sebesar 4,9 dB dan persen deviasi alat sebesar 6,73%. Hasil pengujian bahan peredam *polyurethane* pada prototipe kardus menggunakan SLM standar pabrik sebelum adanya peredam dan setelah adanya peredam didapatkan nilai efektifitas reduksi bahan peredam sebesar 14,7%. Sedangkan pengujian bahan peredam *polyurethane* pada prototipe kardus menggunakan alat ukur kebisingan menggunakan NodeMCU ESP8266 dengan sensor suara FC-04 berbasis IoT sebelum adanya peredam dan setelah adanya peredam didapatkan nilai efektifitas reduksi bahan peredam sebesar 14,8%.

## REFERENSI

1. Kalengkongan, T. S., Mamahit, D. J., & Sompie, S. R. (2018). Rancang bangun alat

deteksi kebisingan berbasis Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, **7**(2), 183–188.

2. Kiswanto, H. (2022). *Fisika Lingkungan: Memahami Alam dengan Fisika*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
3. Hishomudin, M. (2016). *Rancang bangun alat ukur tingkat bunyi (sound level meter) dengan sensor microphone berbasis Arduino dan Android*. Skripsi Fisika, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
4. Ramadhan, A. (2018). *Pemanfaatan busa sebagai media peredam kebisingan untuk ruang perpustakaan di Sekolah Dasar Negeri Widoro Kota Yogyakarta*. Skripsi Fisika, Universitas Islam Indonesia.
5. Perdana, R., Utami, T., Afriani, D., Eveline, E., & Suparno, S. (2019). Pengaruh polyurethan pada kemampuan meredam suara home made foam. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, **15**(2), 50–55.
6. Kristianto, D. (2021). *Internet of things (IoT) dan industri 4.0: Peluang dan tantangan bagi organisasi*. Diakses pada 4 November 2022, URL: <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/artikel/baca/13902/Internet-of-Things-IoTdan-Industri-40-Peluang-dan-Tantangan-Bagi-Organisasi.html>.
7. Simarmata, J., Muttaqin, Karim, A., Rismayani, Angriawan, R., Nurzaenab, ... & Jamaludin. (2022). *Dasar-dasar teknologi internet of things (IoT)*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
8. Heryanto, A., Budiarto, J., & Hadi, S. (2020). Sistem nutrisi tanaman hidroponik berbasis internet of things menggunakan NodeMCU ESP8266. *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, **2**(1), 31–39.
9. Rosanti, N. M., & Harjunowibowo, D. (2022). *Pembuatan thermogun berbasis IoT dengan aplikasi Blynk*. Klaten: Lakeisha.
10. Yusro, M., & Diamah, A. (2019). *Sensor & transduser teori dan aplikasi*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta.

11. Colli, E. F., Paramytha, I. N., & Fithri, N. (2019). Otomatisasi membuka pintu dan menhidupkan lampu pada smart class berbasis mikrokontroler. *Bina Darma Conference on Engineering Science*, 1(1), 98–109.
12. Haris, M. Y., & Putra, A. A. (2017). *Perancangan sistem kontrol lampu berbasis mikrokontroler Arduino Uno R3 dengan sensor suara*. Skripsi Teknik Elektronika dan Komputer, Universitas Muhammadiyah Makassar.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Effect of calorific value on the burning rate of coconut shell briquettes and teak wood powder

Nur Aisah Sagala\*, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [sagalanuraisah@gmail.com](mailto:sagalanuraisah@gmail.com)

### ABSTRACT

Biomass energy can be utilized inside, particularly in coconut shells with pine gum and teak sawdust as an elective fuel that is harmless to the ecosystem. To deliver charcoal briquettes from teak wood sawdust and coconut shells, this study endeavored to decide the qualities, impacts, and structure of varieties in pine tar cement. Pine resin adhesive is mixed with teak sawdust and coconut shells in a ratio of 80% to 20%, with variations of 30%, 40%, and 50%. For briquettes, utilize a size of  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$ . The aftereffects of the briquette test which delivered ideal qualities were gotten in example C with a warming worth of 31,0731 J/gram and a consuming pace of 1.3697 g/minute according to SNI-01-6235-2000 and close to standard.

**Keywords:** Adhesive; briquettes; coconut shell; teak wood powder

Received 05-08-2023 | Revised 11-12-2023 | Accepted 12-12-2023 | Published 13-03-2024

### PENDAHULUAN

Briket yakni suatu padatan yang dihasilkan melalui proses pemampatan dan pemberian tekanan, apabila dibakar akan menghasilkan sedikit asap. Briket dapat diolah menjadi sistem pengepresan dengan menggunakan bahan perekat, sehingga dapat terbentuk menjadi briket yang dipakai guna kebutuhan tiap harinya. Briket cetak memiliki keunggulan dalam ukuran yang dapat disesuaikan, membuatnya mudah dibakar sebagai bahan bakar dan dapat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan tertentu. Nilai kalor biomassa dan sifat bahan baku dapat ditingkatkan melalui pengolahan briket. Briket bisa dipakai jadi bahan bakar secara berkelanjutan guna mengurangi penggunaan bahan bakar fosil serta mengurangi dampak emisi karbon terhadap lingkungan. Salah satu biomassa yang bisa dimanfaatkan adalah serbuk gergaji yaitu serbuk kayu jati, serta tempurung kelapa.

Briket arang berbahan dasar serbuk gergaji masih memiliki kualitas dan sifat yang kurang, sehingga harus ditambahkan bahan baku berkualitas tinggi. Sebagian besar limbah serbuk gergaji sebagian besar hanya dibakar

atau digunakan sebagai bahan bakar untuk tungku, yang dapat berbahaya bagi alam. Apalagi serbuk gergaji yakni biomassa yang belum dimanfaatkannya secara maksimal serta mengandung banyak kalori. Produksi briket dari serbuk gergaji akan meningkatkan nilai pasarnya dan mengurangi pencemaran lingkungan [1].

Diantara tumbuhan serbuk gergaji yang bagus guna menghasilkan bio-oil yakni serbuk gergaji jati. Kayu jati yakni jenisnya kayu yang amat banyaknya digunakan guna beragam kebutuhan. Kayu jati mempunyai kandungannya yang separuh besarnya terdiri atas selulosa (40% – 50%), hemiselulosa (20% – 30%), lignin (20% – 30%), modulus elastis, kadar pentosa, kadar abu, mengandung totalnya kecil bahan anorganik serta silika. Kayu jati memiliki sifat dan kualitas yang menarik. Penggunaan kayu jati yang paling umum adalah dalam konstruksi serta dekorasinya. Sampai keperluan kayu jati lantas menumbuh serta potensi hutan belantara semakin berkurangnya serta mendesak memanfaatkan kayu secara efektif serta hati-hati [2].

Getah Pinus mempunyai karakter *hydrophobic* (tak suka air), bisa dilarutkan pada

pelarut netral ataupun pelarutnya *organic non-polar* (etil eter, *hexane*, serta pelarut minyak). Getah pinus termasuk jenisnya oleoresin (kominasi resin serta minyak pohon) yang mengandung senyawa terpenoid, hidrokarbon serta senyawa netral jika didestilasikannya hendak mewujudkan 15% – 25% terpening ( $C_{10}H_{16}$ ) serta 70% – 80% gondorukem serta 5% – 10% limbah [3].

## TINJAUAN PUSTAKA

### Briket

Untuk rumah, briket yakni pilihan bahan bakar yang layak dan bisa dipercayakan. Briket dapat memasok energi atas jangka panjangnya. Istilah "briket" mengacu pada bahan bakar padat yang terbuat atas sisa-sisanya bahan organik, yang sudah menemui cara pemfaatannya melalui daya terkan tersendiri. Pemanfaatannya briket jadi energi pilihan yakni cara yang benar [4].

### Serbuk Kayu Jati

Sejak zaman dahulu, jati adalah diantara jenisnya kayu yang amat banyaknya digunakan sebab kuat, tahan lama, stabil, dan mudah dikerjakan. Pengterbaik, khususnya kayu jati cepat tumbuhnya yang sering ditanamkan penduduk juga berawal pada pohon yang masih mudah (kurang dari 10 tahun) jadi bahan bakunya, karena ketersediaan kayu jati berkualitas yang sangat terbatas di pasar selama 510 tahun terakhir [5–7].

Kayu jati memiliki serat yang halus dan awalnya berwarna coklat keabu-abuan namun berubah menjadi coklat jika terkena udara serta sinar matahari pada kurun waktunya yang lama. Panjang rata-rata serat kayu adalah 1.316 mm, diameternya 24,8 mm, dan tebal dindingnya 3,3 mm. Serat kayu bisa lurus atau kadang-kadang bercampur menjadi satu. Struktur pori umumnya tunggal dalam rencana bundaran, berukuran 20 – 40  $\mu\text{m}$  dalam pengulangan 3 – 7 untuk setiap  $\text{mm}^2$  [8].

### Tempurung Kelapa

Material dasarnya yang ringan mendapatkannya serta bisa dimanfaatkan bagi warga dengan pembiayaan yang murah membuat batok kelapa dijadikan sumber energi alternatif yang berlimpah melalui kandungannya energi yang tinggi. Batok kelapa bisa dipergunakan untuk membuat bahan bakar yang paling baik bagi sekeliling, layaknya bahan bakar untuk rumahan.

Tempurung yakni pelapisan kokoh yang berisi lignin, selulosa, *methoxyl* serta mineral yang berbeda. Takaran material-material itu berbeda-beda seperti yang ditunjukkan oleh jenis kelapanya. Cangkangnya memiliki banyak silika ( $\text{SiO}_2$ ), yang memberikan struktur kekerasannya. Dimana potongan buah kelapa yang memiliki kemampuan alami, tepatnya sebagai pelindung pusat hasil alam, terletak pada sabut, pada ketebalan antar 3 – 5 mm. Meskipun kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin tempurung kelapa lebih rendah dibandingkan selulosa, namun masih tergolong jenis kayu keras.

### Pinus Merkusii

Pinus (pinus merkusii) yakni kategori hewan tanaman lokal Indonesia melalui persebaran yang khas di Sumatera. Pinus bisa kembang subur dalam ketinggian antara 1.000 m juga 1.500 m di atas tanah pada lokasi yang kurang subur. Kayu pinus mempunyai kadar yang pas guna sejumlah keperluan. Pinus yakni ragam tumbuhan yang cocok untuk membuat getah dalam nominal ekonomi yang besar.

Pembuatan getah pinus berfluktuasi tergantung pada umur tanaman. Lain dari pada itu, tumbuhan pinus merupakan kandidat yang begitu baik dalam pemulihan lahan, tahan api, serta budidaya pada tanah yang kurang subur. Pohon tua bisa menghasilkan antara 30 kg dan 60 kg getah. Sebagian kulitnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Karena mengandung potasium, abunya bisa dicampur dengan pupuk untuk dijadikan campuran.

## METODE PENELITIAN

Teknik yang dipergunakan pada kajian tersebut yakni metodologi eksperimen, serta mengadopsi strategi kuantitatif, material yang dipergunakan yakni serbuk gergaji kayu jati martubung, serta tempurung kelapa yang berasal dari Pasar Padang Bulan serta perekat getah pinus yang berasal dari komersial. Hubungan antara karakteristik fisik dan komposisi material diuji pada sampel.

Pembuatan briket dilaksanakan di Laboratorium Kimia Polimer FMIPA USU dan NRE (*Nanomaterials for Renewable Energy Research Center*).

Alat-alat yang digunakan pada penelitian yaitu:

- Neraca digital
- Thermometer
- Stopwatch
- Jangka sorong
- Cawan porselen
- Beaker glass
- Cetakan sampel berukuran  $5 \times 5 \times 5 \text{ cm}^3$
- Bom kalorimeter

Sedangkan bahan yang digunakan yaitu:

- Serbuk kayu jati
- Tempurung kelapa
- Getah pinus
- Air
- Kapur

## HASIL DAN PEMBAHASAN

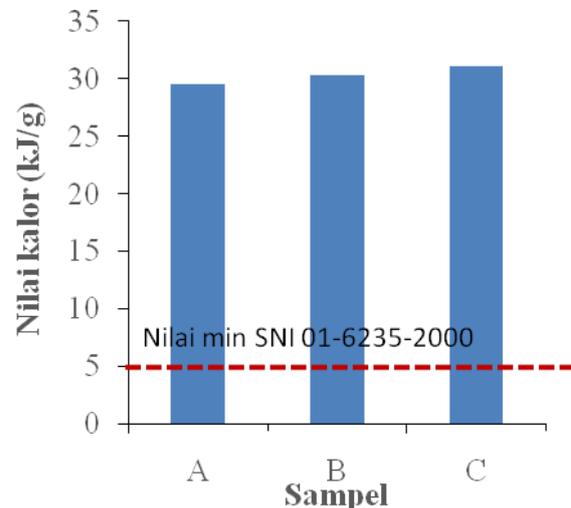
Kajian ini memakai bahan mendasar serbuk gergaji kayu jati Martubung, batok kelapa yang berasal dari Pasar Padang Bulan serta perekat getah pinus yang berasal dari komersial.

### Pengujian Nilai Kalor

Berdasarkan Tabel 1 maka nilai kalor pada sampel A memiliki nilai 29.485 J/gram, sampel B memiliki nilai 30.296 J/gram, sedangkan pada sampel C memiliki nilai 31.073 J/gram. Adapun grafik hubungan antara nilai kalor pada sampel dapat dilihat pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Data hasil kajian besaran kalor.

Sampel	Nilai Kalor (J/gram)	SNI 01-6235-2000 (J/gram)
A	29.485	Minimum 5.000
B	30.296	
C	31.073	



**Gambar 1.** Grafik hasil pengujian nilai kalor.

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan skor kalor makin meningkat, perihalnya dikarenakan atas penambahan perekat yang mengandung unsur karbon sehingga kandungan kalori briket dapat digunakan untuk menilai kualitasnya sebagai briket arang; makin tinggi nilainya bahwa makin tinggi juga sifat briket yang dihasilkannya [9]. Pada nilai kalor memiliki nilai minimum 5.000 J/gram, yang mana memperlihatkan bahwa besaran kalor bagi seluruh sampel briket telah berlandaskan SNI 01-6235-2000.

### Pengujian Laju Pembakaran

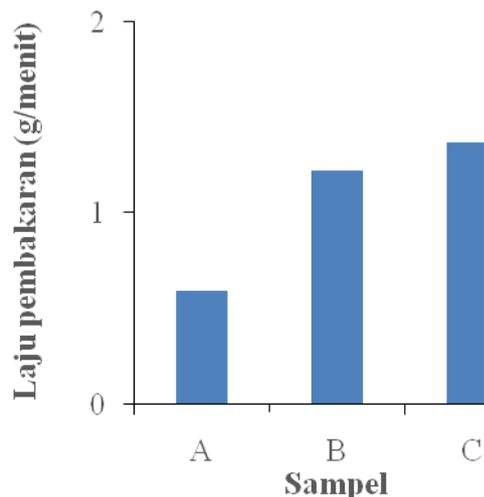
Berdasarkan Tabel 2 maka nilai laju pembakaran pada sampel A memiliki nilai 0,5948 menit, sampel B memiliki nilai 1,2235 menit, sedangkan pada sampel C memiliki nilai 1,3697 menit. Adapun diagram keterkaitan antar nilai laju pembakaran pada sampel bisa diperhatikan pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan nilai laju pembakarannya makin meningkat, perihalnya disebabkan atas penambahan pada perekat dan pada pengujian nilai kalor. Pada

laju pembakaran kerapatannya yang tinggi mempunyai ruang oksigen yang terbakarinya berlebih sedikit diperbandingkan briket yang mempunyai kerapatannya kecil. Dalam laju pembakaran sampel briket dibakar pada suhu 200°C selama 50 menit. Berdasarkan penelitiannya Masthura (2019) pengujian laju pembakaran dilaksanakan guna mendapati efektivitas pemanfaatan atas serupa bahan bakar berbentuk briket [10].

**Tabel 2.** Data hasil pengujian laju pembakaran.

Sampel	Waktu pembakaran (menit)
A	0,5948
B	1,2235
C	1,3697



**Gambar 2.** Pengujian nilai laju pembakaran.

## KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari pengaruh skor kalor atas laju pembakarannya yaitu makin tingginya skor kalor bahwa laju pembakarannya makin lama. Perihalnya dipengaruhi atas kadungannya selulosa serta lignin pada kayu jati dan tempurung kelapa. Kualitas briket arang serbuk kayu jati dserta batok kelapa melalui perekat getah pinus memiliki karakteristik yang maksimal yakni atas sampelnya C melalui nilai kalor 31.073 J/g dan laju pembakaran 1,3697 g/menit serta sudah memenuhi SNI 01-6235-2000.

## REFERENSI

1. Setiawan, A., Andrio, O., & Coniwanti, P. (2012). Pengaruh komposisi pembuatan biobriket dari campuran kulit kacang dan serbuk gergaji terhadap nilai pembakaran. *Jurnal Teknik Kimia*, **18**(2), 9–16.
2. Yudanto, A., & Kusumaningrum, K. (2009). *Pembuatan briket bioarang dari arang serbuk gergaji kayu jati*. Seminar Tugas Akhir S1 Teknik Kimia UNDIP.
3. Batma, M., Simbolon, M. S., & Siregar, R. A. (2004). Transformasi si Bojag (Bonggol Jagung) menjadi Bioetanol sebagai Alternatif Bahan Bakar Tebarukan yang Lebih Ramah Lingkungan, 2–3.
4. Ndraha, N. (2009). *Uji komposisi bahan pembuat briket bioarang tempurung kelapa dan serbuk kayu terhadap mutu yang dihasilkan*. Universitas Sumatera Utara. Departemen Teknologi Pertanian.
5. Kholid, A. (2017). *Analisis fisis briket arang dari sampah berbahan alami kulit buah dan pelepah salak*. Skripsi Fisika, UIN Maulana Malik Ibrahim.
6. Jumiati, E. (2020). Pengaruh sifat mekanik dan laju pembakaran pada briket bioarang kulit durian dengan perekat tepung tapioka. *Journal of Islamic Science and Technology*, **5**(1), 62–70.
7. Jumiati, E. (2021). Karakteristik sifat fisis briket bioarang berbahan dasar kulit durian. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika*, **7**(4).
8. Emi, E., Wahyudi, B. S., Eni, B., & Wawan, K. (2014). Pengaruh Suhu dan Perbandingan Katalis Zeolit terhadap karakteristik produk pirolisis kayu Jati (*Tectona Grandist Lf*). *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains and Teknologi*.
9. Wibowo, S. A. (2009). *Kajian Pengaruh Komposisi Dan Perekat Pada Pembuatan Briket Sekam Padi Terhadap Kalor Yang Dihasilkan Bunches*. Disertasi Ilmu Lingkungan, Universitas Riau.
10. Masthura, M. (2019). Analisis fisis dan laju pembakaran briket bioarang dari bahan pelepah pisang. *Journal of Islamic Science and Technology*, **5**(1), 58–66.



Artikel ini menggunakan lisensi [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Design an automatic trash can using the HC-SR04 ultrasonic sensor based on the Arduino Uno microcontroller

Anggi Kumala Dwi\*, Mulkan Iskandar Nasution, Nazaruddin Nasution

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [anggikumaladwi02@gmail.com](mailto:anggikumaladwi02@gmail.com)

### ABSTRACT

Garbage is one of the biggest problems faced by many cities in the world, the lack of awareness to dispose of waste in its place causes waste to scatter and pollute the surrounding environment. This research aims to design an automatic trash bin based on the Arduino microcontroller and to find out how the automatic trash can works with the HC-SR04 ultrasonic sensor based on the Arduino Uno microcontroller. The design of this system uses Arduino Uno. The results of the input and output tests show that the HC-SR04 ultrasonic sensor has a low error rate of 1.2% at a distance of 25 cm and a high of 6% at a distance of 10 cm. The trash can opens the lid automatically at > 30 cm to detect the capacity of waste that has been disposed of into the trash container with a height of 20 cm., the proximity sensor will detect the type of waste being disposed of, and the LCD will display the type of waste that will be disposed of and the servo motor will activate the mechanical system of this device. If the trash can is full, a warning will be sent via the buzzer and the SIM800L GSM module via SMS. The working system of the automatic trash can as a whole can work well according to the design that has been made.

**Keywords:** Garbage; trash bin; ultrasonic sensor HC-SR04

Received 07-08-2023 | Revised 13-12-2023 | Accepted 14-12-2023 | Published 27-03-2024

### PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh banyak kota di seluruh dunia. Semakin tingginya jumlah penduduk dan aktivitasnya membuat volume sampah terus meningkat, akibatnya untuk mengatasi sampah diperlukan biaya yang tidak sedikit dan lahan yang semakin luas. Di samping itu, tentu saja sampah membahayakan kesehatan dan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik [1]. Di era perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi modern seperti sekarang ini banyak menghasilkan inovasi baru yang bertujuan untuk lebih memudahkan pekerjaan manusia dalam segala kegiatan yang dilakukan manusia agar lebih efektif dan efisien [2].

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan tempat sampah otomatis yang mampu membuka dan menutup secara otomatis, serta mampu memilah sampah organik dan an-organik. Penelitian dilakukan untuk merancang tempat sampah yang dilengkapi dengan

menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai system pengendali dan sensor *ultrasonic* untuk mendeteksi jarak seseorang yang akan membuang sampah, serta sensor *proximity* untuk mendeteksi jenis sampah yang dibuang.

### TINJAUAN PUSTAKA

#### Pengertian Sampah

Sampah secara umum dapat diartikan sebagai bahan buangan yang tidak disenangi dan tidak diinginkan orang, dimana sebagian besar merupakan bahan atau sisa yang sudah tidak dipergunakan lagi dan akan menimbulkan gangguan terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan [3].

Sampah organik atau degradable adalah jenis sampah yang dapat membusuk, dan terurai kembali. Sampah ini dapat dijadikan bahan bakar dengan terlebih dahulu dikeringkan dan dijadikan arang, pupuk kompos yang berguna

menyuburkan tanaman [4]. Sampah anorganik adalah sampah yang tidak mudah membusuk seperti plastik wadah pembungkus makanan, kertas, plastik mainan, botol dan gelas minuman kaleng, kayu, dan lain sebagainya [5].

### **Mikrokontroler Arduino Uno**

Mikrokontroler merupakan chip mikrokomputer yang secara fisik berupa sebuah *integrated circuit* (IC) [5]. Arduino merupakan *prototyping platform* yang bersifat *open-source*, menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak yang mudah digunakan [6]. Arduino Uno mempunyai 14 *pin* digital *input/output* (6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input* analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset*. Arduino Uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang kabel USB atau mensuplainya dengan adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya [7].

### **Sensor Ultrasonik HC-SR04**

Sensor *ultrasonic* merupakan sensor yang bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya serta mendeteksi jarak benda tersebut dari dirinya. Frekuensi kerjanya pada daerah di atas gelombang suara yaitu dari 40 kHz hingga 400 kHz [8].

### **Sensor Proximity**

Sensor *proximity* kapasitif adalah salah satu jenis sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu objek tanpa adanya kontak fisik. Objek yang dapat terdeteksi oleh sensor *proximity* kapasitif yaitu metal maupun non metal misalnya kayu, plastik, kaca, dan lain-lain [8].

Sensor *proximity* induktif adalah salah satu jenis sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu objek tanpa adanya kontak fisik. Objek yang dapat

terdeteksi oleh sensor *proximity* induktif adalah jenis-jenis logam seperti tembaga, baja, aluminium, dan lain-lain [8].

Sensor *infrared* tipe E18-D80NK adalah sensor untuk mendeteksi ada atau tidaknya suatu objek. Sensor ini memiliki penyesuaian untuk mengatur jarak terdeteksi. Sensor ini tidak mengembalikan nilai jarak [9].

### **Motor Servo**

Motor servo adalah motor listrik yang dirancang menggunakan system umpan balik tertutup (*closed loop*). Motor servo pada dasarnya terdiri dari motor DC, rangkaian *gear box*, rangkaian kontrol dan potensiometer rangkaian *gear* terhubung pada as motor DC yang memiliki RPM yang tinggi [7].

### **Modul GSM SIM800L**

Modul GSM SIM800L adalah modul GSM yang bisa untuk *project* mikrokontroler seperti *monitoring* melalui SMS, menyalakan atau mengendalikan saklar listrik berfungsi sebagai SMS *gateway* apabila dihubungkan dengan mikrokontroler [10].

### **Modul GPS uBlox Neo-6M**

*Global positioning system* (GPS) merupakan sebuah *system* navigasi dan posisi yang berbasis satelit yang mengorbit pada bumi dengan ketinggian sekitar 11.000 mil dari bumi. Modul GPS yang digunakan pada perancangan alat ini adalah Modul GPS uBlox Neo-6M. Modul ini sangat mudah digunakan dan dikoneksikan ke mikrokontroler atau dihubungkan langsung dengan PC. Dengan modul GPS ini memungkinkan untuk mengetahui posisi (titik koordinat) dengan bantuan satelit GPS [10].

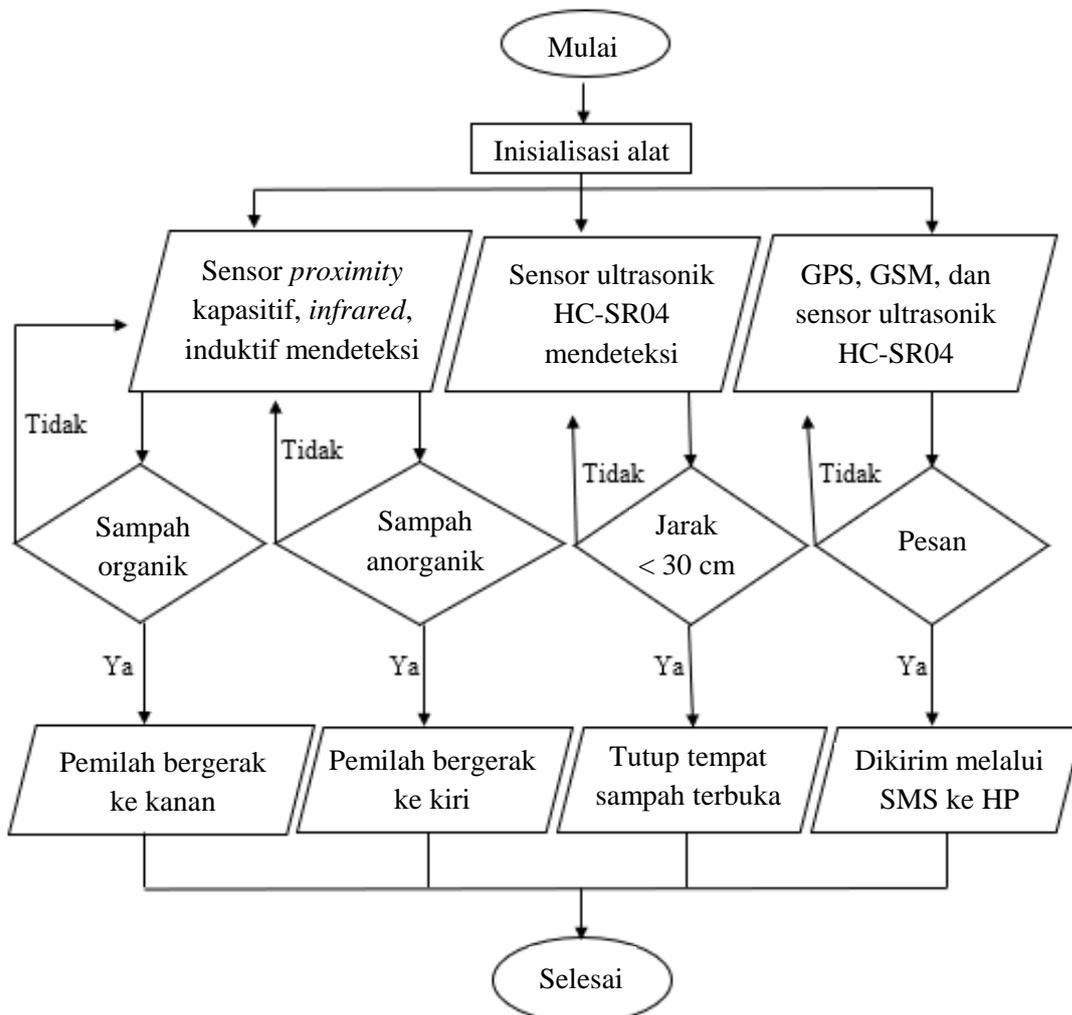
### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya laptop, *handphone*, dan tempat sampah. Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sensor

ultrasonik HC-SR04, sensor *proximity*, motor servo, modul GSM SIM800L, modul GPS uBlox Neo 6M, Arduino Uno.

Penelitian dilakukan dengan merangkai semua bahan dalam suatu rangkaian

elektronika. Semua komponen elektronika dirangkai untuk menghasilkan rangkaian yang mampu bekerja sesuai dengan perintah yang telah diinput pada *software* Arduino IDE.

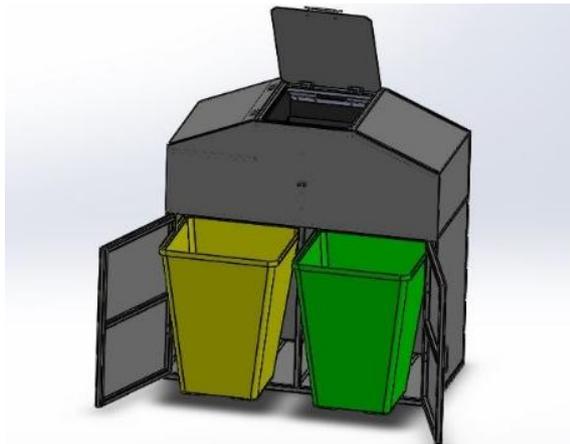


**Gambar 1.** Flowchart kerja alat.

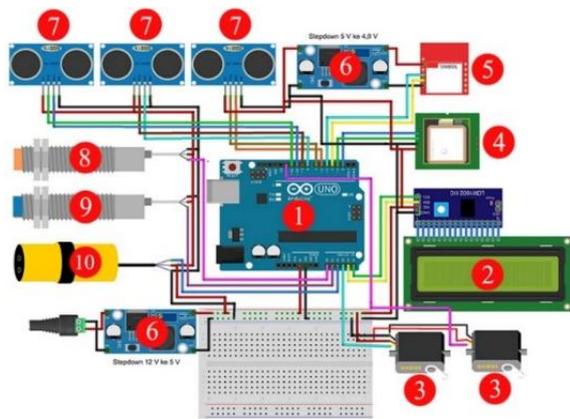
Berdasarkan Gambar 1 *flowchart* kerja alat yang dirangkai sudah diberi perintah melalui *software* Arduino IDE yaitu jika seseorang ingin membuang sampah maka tutup tempat sampah akan terbuka secara otomatis. Ketika sampah dimasukkan ke dalam tempat sampah maka sensor *proximity* akan mendeteksi jenis sampah yang dibuang dan motor servo akan menggerakkan pemilah sampah dan membuangnya ke dalam tempat penampungan sampah sesuai dengan sampah yang dibuang. Pada saat tempat sampah penuh, GSM SIM800L akan mengirimkan pesan kepada petugas. Selain mengirimkan pesan sampah

penuh, GSM juga mengirimkan lokasi tempat sampah berada.

Tempat sampah dibuat dengan menggunakan triplek dengan ukuran  $48 \times 30 \times 60 \text{ cm}^3$  yang mampu untuk diletakkan penampung sampah yang dibuang. Rangkaian elektronika pada Gambar 2 di letakkan pada bagian depan untuk sensor ultrasonik HC-SR04 dan LCD 16x2. Pada bagian belakang di letakkan motor servo yang akan membuka tutup tempat sampah dan di bagian tengah untuk meletakkan sensor *proximity* yang akan mendeteksi sampah. Ilustrasi dari tempat sampah otomatis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain alat keseluruhan.



Gambar 3. Rangkaian alat keseluruhan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 ini adalah untuk mengamati kesesuaian jarak yang diukur dengan jarak yang sebenarnya. Hasil pengujian untuk pengukuran kapasitas sampah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04.

$h_n$ (cm)	$h$ (cm)	Error (%)
5	5,1	2
10	10,6	6
15	15,3	2
20	20,4	2

Pengujian sensor ultrasonik dilakukan untuk mendeteksi jarak *level* sampah pada dua tempat penampungan sampah. Jarak deteksi sensor ultrasonik untuk mengetahui *level* sampah pada dua tempat penampungan dengan jarak 20 cm. Jika tempat penampungan tersebut terindikasi penuh pada jarak 20 cm maka akan mendapat informasi melalui SMS tong sampah penuh. Untuk menghitung nilai kesalahan pada sensor ultrasonik menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$\text{Error} = \left| \frac{\text{Tinggi mistar} - \text{Tinggi sensor}}{\text{Tinggi mistar}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan Tabel 1, sensor ultrasonik bekerja dengan baik karena memiliki tingkat kesalahan dibawah 10%.

### Pengujian Sensor *Proximity*

Hasil pengujian dari ketiga sensor *proximity* dapat dilihat pada Tabel 2 dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sensor dalam mendeteksi jenis bahan sampah yang telah dibuang ke dalam tempat sampah tersebut. Pengujian dilakukan dengan cara menempatkan beberapa jenis sampah di atas sensor *proximity* yang terdapat pada penampang tempat sampah. Nilai hasil pengujian oleh sensor *proximity*.

Tabel 2. Pengujian sensor *proximity*.

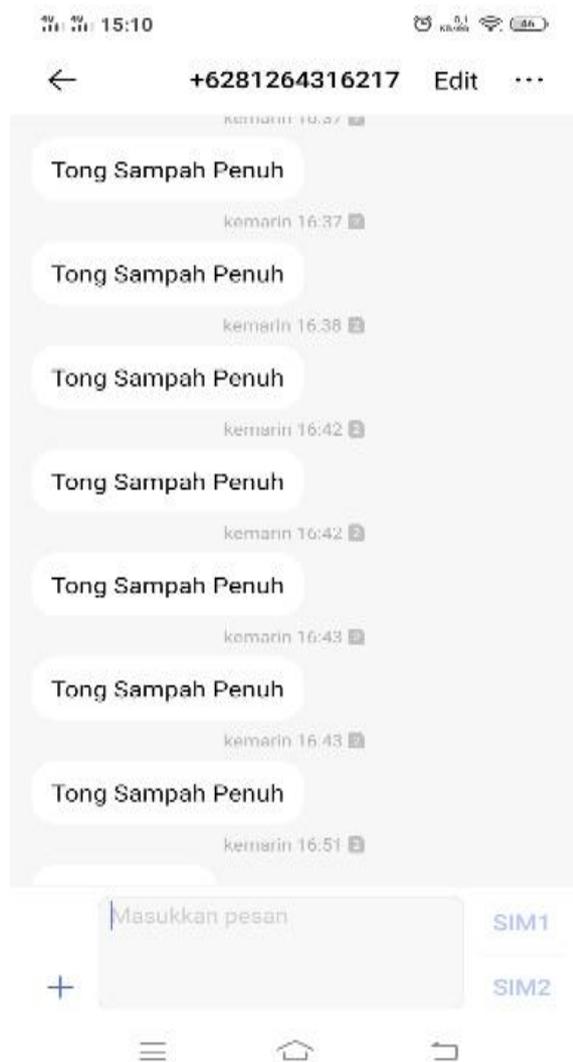
Jenis sampah	Nilai sensor <i>proximity</i> kapasitif	Nilai sensor <i>proximity</i> induktif	Nilai sensor <i>proximity</i> infrared	Hasil baca jenis sampah	Keterangan
Seng	1	1	0	Anorganik	Sesuai
Tisu	1	0	1	Organik	Sesuai
Sendok	1	1	0	Anorganik	Sesuai
Daun kering	1	0	1	Organik	Sesuai
Kotak lem	1	0	1	Organik	Sesuai
Plastik	0	0	0	Anorganik	Sesuai
Kertas	1	0	1	Organik	Sesuai
Kulit buah	1	0	1	Organik	Sesuai
Botol plastik	0	0	0	Anorganik	Sesuai

## Pengujian Servo

Pada penelitian ini untuk mengetahui keadaan dari motor servo, dengan menggunakan program yang sudah dibuat dan ketika dicoba motor servo berputar sebesar  $180^\circ$  sehingga dikatakan baik karena sesuai perintah atau program yang sudah di upload. Pada penelitian ini motor servo berfungsi sebagai pembuka dan penutup tutup tempat sampah secara otomatis serta sebagai penggerak untuk memilah jenis sampah yang dibuang ke dalam tempat sampah.

**Tabel 3.** Pengujian motor servo.

Kondisi	Sudut ( $^\circ$ )
Normal	90
Sampah organik	180
Sampah anorganik	0



**Gambar 4.** Tampilan SMS yang dikirim.

Berdasarkan Tabel 3 pengujian motor servo untuk penggerak pemilah sampah motor servo memiliki tiga kondisi sudut yaitu pertama pada kondisi normal dimana motor servo akan tetap tegak lurus dengan sudut  $90^\circ$  sebelum bergerak. Kedua, jika motor servo bergerak pada sudut  $180^\circ$  maka servo akan bergerak ke kanan ke wadah sampah anorganik. Ketiga, jika motor servo bergerak pada sudut  $0^\circ$  maka motor servo akan bergerak ke kiri ke wadah sampah organik.

## Pengujian SMS

Pengujian SMS yang diterima oleh petugas kebersihan apabila tempat sampah sudah penuh terlihat seperti pada Gambar 4. Apabila sensor ultrasonik sudah mendeteksi penuh maka modul GSM akan mengirimkan pesan kepada petugas kebersihan agar segera mengangkat sampah yang sudah penuh.

## KESIMPULAN

Merancang tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno terdiri dari beberapa komponen penting diantaranya Arduino Uno, sensor *proximity* digunakan untuk mendeteksi jenis sampah yang dibuang, sensor ultrasonik HC-SR04 sebagai pendeteksi jarak seseorang yang ingin membuang sampah dan kapasitas sampah yang telah dibuang, buzzer dan modul GSM SIM800L sebagai peringatan tempat sampah penuh, modul GPS untuk memberikan informasi lokasi tempat sampah yang dikirim melalui via SMS, dan LCD 16x2 untuk menampilkan jenis sampah yang telah dibuang. Cara kerja tempat sampah otomatis dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 bekerja dengan baik. Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki tingkat *error* yang rendah sebesar 2% pada jarak 5 cm, 15 cm, 20 cm, dan yang tinggi sebesar 6% pada jarak 10 cm. Tempat sampah akan membuka tutupnya secara otomatis pada jarak  $> 30$  cm dan untuk mendeteksi kapasitas sampah yang sudah dibuang ke dalam penampung sampah dengan ketinggian 20 cm.

## REFERENSI

1. Nisak, F., Pratiwi, Y. I., & Gunawan, B. (2019). *Pemanfaatan biomas sampah organik*. Uwais Inspirasi Indonesia.
2. Suyono, A., & Haryanti, M. (2018). Perancangan tempat sampah otomatis berbasis mikrokontroler arduino dan GSM SIM 900. *Jurnal Teknik Industri*, 5(2).
3. Rohim, M. (2020). *Teknologi tepat guna pengolahan sampah*. Jawa Timur: CV. Penerbit Qiara Media.
4. Putrawan, I. N. A. (2022). *Sampah dalam persepektif hukum lingkungan hindu: Telaah sampah pada DAS tukad bindu Bali*. Nilacakra.
5. Mustiadi, L., Astuti, S., & Purkuncoro, A. E. (2019). *Buku ajar mengubah sampah organik dan anorganik menjadi bahan bakar pelet partikel arang*. Malang: CV. IRDH.
6. Dharmawan, H. A. (2017). *Mikrokontroler: konsep dasar dan praktis*. Universitas Brawijaya Press.
7. Prayetno, A. (2021). *Perancangan Tempat Sampah Pintar Berbasis Arduino Uno*. Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Bengkalis.
8. Sendari, E. S., Wirawan, I. M., & Nasrulloh, M. (2021). *Sensor Transduser*. Ahlimedia Book.
9. Mayang Sari, S. (2015). *Aplikasi Sensor Ultrasonik Srf04 Dan Sensor Proximity Pada Level Pengisian Tangki Air Berbasis Atmega8535*. Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya.
10. Gusmanto, G. (2016). *Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Dan Pelacakan Pada Kendaraan Sepeda Motor Dengan Menggunakan Mikrokontroler Arduino Nano*. Doctoral dissertation, Tanjungpura University.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## An internet of things-based monitoring system for agricultural land suitability for oil palm planting

Amriansyah Simatupang\*, Mulkan Iskandar Nasution, Muhammad Nuh

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [amriansyahsima@gmail.com](mailto:amriansyahsima@gmail.com)

### ABSTRACT

Oil palm is the most productive type of plant in producing vegetable oil. The development of the industrial revolution led to an explosion in demand for vegetable oil so palm oil was a major contributor to the country's foreign exchange. Indonesia is one of the countries with the largest oil palm plantations in the world. However, the yields produced are still not optimal due to several factors, namely the condition of soil pH, soil moisture, and the surrounding temperature. Soil contains nutrients such as nitrogen (N), potassium (K), and phosphorus (P) which oil palm plants need in certain amounts to grow. To find out the quality of the soil, several methods are carried out by taking a soil sample and using a soil pH meter, however, this method requires a long time and the measurement is only limited to measuring soil pH. This research produced a system for detecting soil pH, soil moisture, and temperature around the soil on an IoT-based land that will be planted with oil palm, as the controller is NodeMCU ESP32. This tool displays soil pH, soil moisture, and air temperature on the LCD screen and the Blynk application page so that it can be accessed anytime and anywhere. This will make it easier for oil palm farmers to obtain accurate information before planting oil palm on vacant land. After testing and data collection, the soil pH sensor has a good correlation with an error rate of 1.71%, soil moisture of 1.23%, and air temperature of 4.04%. So that this sensor can be implemented on vacant land before planting oil palm.

**Keywords:** Air temperature (DHT 11); ESP32; IoT; palm oil; soil moisture; soil pH

Received 08-08-2023 | Revised 14-12-2023 | Accepted 15-12-2023 | Published 28-03-2024

### PENDAHULUAN

Kelapa sawit adalah salah satu komoditas perkebunan yang memiliki pengaruh dalam pertumbuhan ekonomi Indonesia. Data Statistik Perkebunan Kementerian Pertanian (Kementan) menunjukkan, estimasi produksi kelapa sawit dalam bentuk minyak sawit (*crude palm oil*, CPO) mencapai 45,58 juta ton pada 2022. Jumlahnya meningkat 1,02% dibandingkan pada 2021 yang sebesar 45,12 juta ton [1]. Sehingga penanaman budidaya sawit semakin berkembang disetiap daerahnya. Namun, masih banyak hasil produksi kelapa sawit yang masih belum optimal, karena salah satu faktornya adalah ketersediaan unsur hara tanah pada lahan yang tidak sesuai [2, 3]. Penelitian sebelumnya oleh Utomo *et al.* (2021), dengan judul sistem monitoring pembibitan kelapa sawit berbasis *internet of things* (IoT), dalam hal ini beliau

memaparkan tentang *monitoring* dalam pembibitan sawit dalam polibek atau dalam skala lahan yang kecil [4]. Oleh Jauhary (2018) dengan judul aplikasi sistem monitoring tanaman berbasis android [5], kemudian oleh Wigena *et al.* (2009) dengan judul karakteristik tanah dan iklim serta kesesuaiannya untuk kebun kelapa sawit plasma di Sei Pagar, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau [6], bahwa dari beberapa penelitian terdahulu tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan dan mengkomplitkan proses mempermudah petani dan perusahaan dalam mengetahui informasi lahan yang sesuai untuk tanaman kelapa sawit dengan memanfaatkan perkembangan teknologi IoT dan *machine learning*. IoT adalah infrastruktur global untuk masyarakat infomasi, memungkinkan layanan yang canggih, dengan menghubungkan objek (*things*) baik fisik maupun virtual berdasarkan

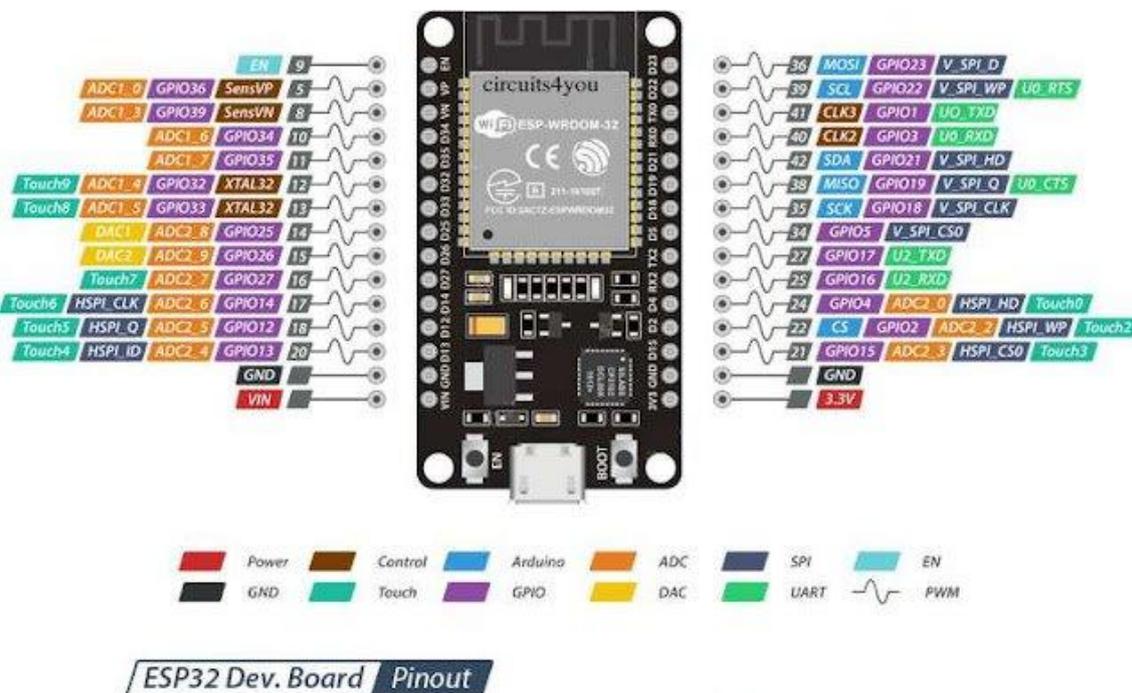
teknologi pertukaran informasi saat ini dan perkembangannya serta teknologi komunikasi [7]. Dengan mikrokontroler *board* NodeMCU membuat sistem *monitoring* untuk kesesuaian lahan dalam penanaman kelapa sawit. Adapun beberapa sensor yang dimanfaatkan adalah sensor pH tanah, sensor kelembaban beserta komponen elektronika pendukung lainnya. Kemudian penelitian ini juga menggunakan *web server* dan *database server* sebagai informasi dan *monitoring* dalam menentukan kualitas tanah dan perubahan iklim pada sebuah lahan tersebut.

### TINJAUAN PUSTAKA

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) adalah tanaman yang berasal dari benua afrika. Tanaman ini dapat tumbuh dengan curah hujan yang ideal sekitar 2.000 mm/tahun dan suhu rata-rata untuk produksi buah pertahun berkisar antara 22°C – 23°C serta dapat hidup di tanah gambut, pasang surut, dan mineral. Kelapa sawit akan tumbuh baik pada daerah dengan curah hujan yang stabil yang turun merata sepanjang tahun (2.500 – 3.000 mm) dengan

kelembaban yang tinggi (80% – 90%). Pola curah hujan tahunan sangat mempengaruhi perilaku pada proses pembungaan dan produksi buah sawit. Variasi suhu yang tidak terlalu tinggi yaitu berkisar antara 25°C – 27°C sangat cocok untuk pertumbuhannya. Sementara untuk jenis tanah yang sesuai adalah jenis tanah latosol, podsolik merah kuning, tanah aluvial, dan cocok juga pada tanah organosol atau tanah gambut [8]. Dalam hal ini pH tanah untuk kelapa sawit optimum antara 5,0 – 5,5 meskipun dapat tumbuh pada toleransi pH antara 4,0 sampai dengan 6,5.

IoT merupakan struktur berbasis internet yang menghubungkan benda fisik atau virtual melalui komunikasi dengan sensor dan terkoneksi dengan ke jaringan internet. Pada penelitian ini sendiri perangkat IoT yang digunakan adalah mikrokontroler NodeMCU ESP 32 (lihat Gambar 1). Mikrokontroler ini akan mentransmisikan data hasil pengukuran sensor dan *output* ke *web server*. *Web server* akan menyimpan data tersebut ke dalam sistem *database*. Hasil data akan ditampilkan dengan *user interface* [9].



Gambar 1. NodeMCU ESP32.

NodeMCU ESP32 merupakan model turunan pengembangan dari modul platform

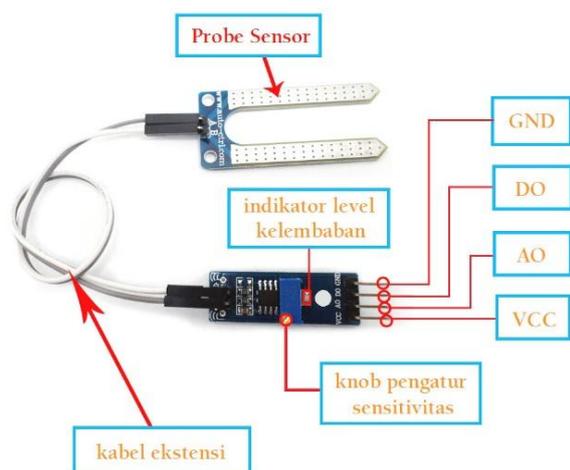
NodeMCU ESP 32. ESP 32 dikenal dengan Espressif *System* yaitu sebagai penerus dari

mikrokontroler ESP 8266. Kelebihan ESP 32 sudah terdapat Wi-Fi dan *bluetooth* di dalamnya, sehingga akan sangat memudahkan untuk membuat sistem IoT yang memerlukan *wireless* [10].



**Gambar 2.** Sensor pH tanah.

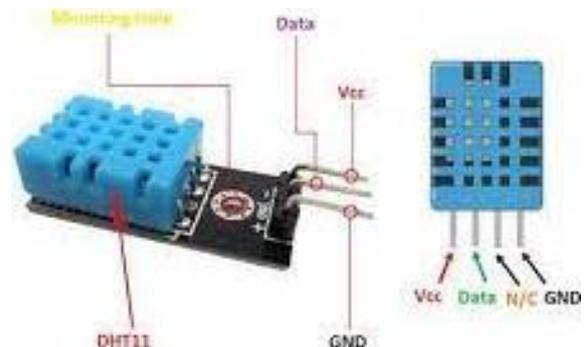
Sensor pH tanah yaitu sensor yang mendeteksi tingkat konsentrasi tanah atau tingkat keasaman tanah (lihat Gambar 2). Sensor ini dapat merubah nilai keluaran dari sensor menjadi analog berbentuk sinyal *voltage*. Skala pH yang dapat diukur oleh sensor pH tanah ini memiliki *range* 3,5 hingga 8. Sensor ini dapat langsung disambungkan dengan *pin* analog Arduino maupun *pin* analog mikrokontroler lainnya, tanpa harus memakai modul penguat tambahan.



**Gambar 3.** Sensor kelembaban tanah.

Sensor kelembaban tanah merupakan sensor yang mampu mendeteksi intensitas air didalam air di dalam tanah (*moisture*) (lihat Gambar 3). Sensor ini terdiri dari 2 *probe* untuk melewati arus melalui tanah, kemudian

membaca resistansinya untuk mendapatkan nilai tingkat kelembaban tanah tersebut. Sensor menghantarkan tegangan analog atau tegangan listrik dengan nilai 3,3 – 3,5 V. Cara kerja sensor ini dengan memasukkan sensor ke dalam media tanam dan akan diukur nilai kelembaban tanah pada sebuah lahan.

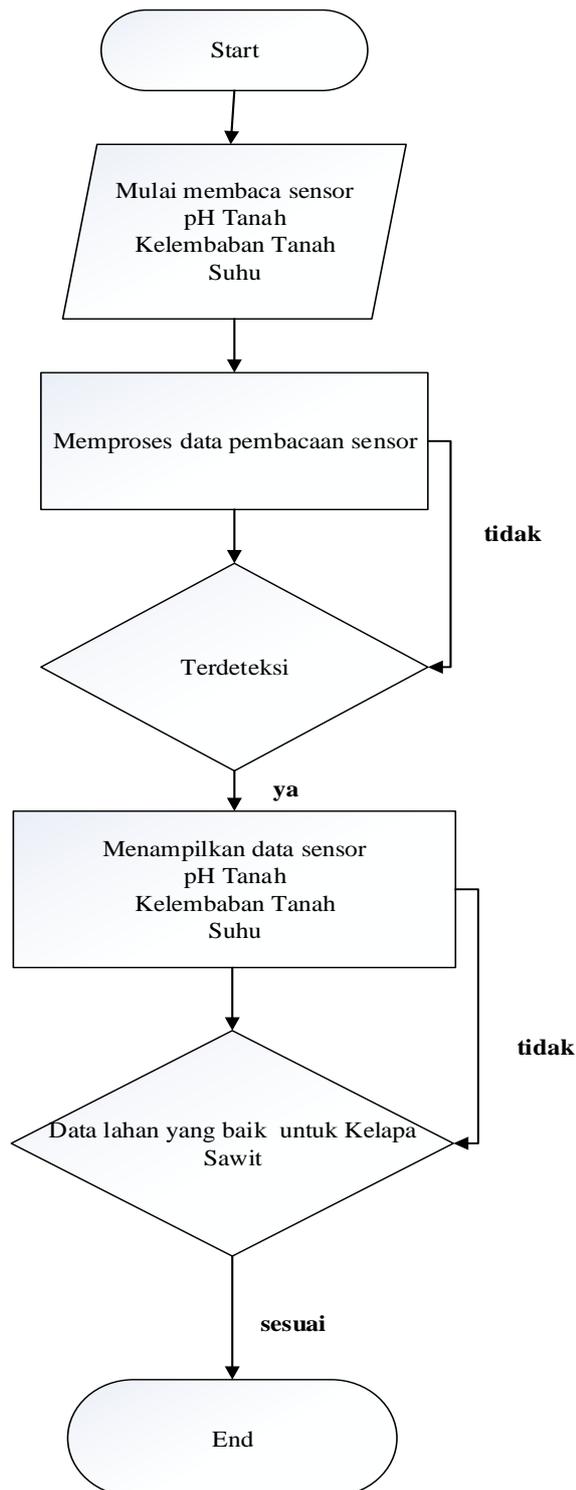


**Gambar 4.** Sensor suhu DHT 11.

Sensor DHT 11 adalah *module* sensor yang berfungsi untuk mendeteksi objek suhu dan kelembaban yang memiliki output tegangan analog yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan mikrokontroler. Cara DHT11 mengukur kelembaban adalah dengan mendeteksi uap air dengan mengukur resistansi antara dua elektroda. Komponen pendeteksi kelembaban yang digunakan adalah berupa substrat penahan kelembaban dengan elektroda.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini divisualisasikan melalui *flowchart* alur penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 5. Metode penelitian ini dimulai dengan mencari data lahan yang baik untuk penanaman kelapa sawit dengan mengumpulkan informasi berupa teori dan referensi yang digunakan pada penelitian. Selanjutnya pembuatan alat secara mekanik, elektrik, dan program. Kemudian pembuatan kode program dilakukan untuk sistem *monitoring* yang berisikan *rest API* dan *user interface*, lalu dilanjutkan dengan kode program mikrokontroler. Setelah kode program dibuat maka dilakukan kalibrasi elektrik dan mekanik, yaitu seluruh sensor dan *ouput*.



**Gambar 5.** Flowchart sistem kerja alat.

Tahap selanjutnya ketika berhasil melakukan kalibrasi pada sensor dan *output* sudah akurat, maka dilakukan prototipe secara keseluruhan. Jika sistem berhasil bekerja sesuai dengan kondisinya maka dilakukan analisa. Diuji hasil pembuatan prototipe secara utuh. Hasil yang ditampilkan pada alat akan

dibandingkan dengan data lahan yang baik dalam proses penanaman kelapa sawit.

### Perancangan Diagram Blok Sistem

Perancangan dan pembuatan alat pada penelitian ini berisi tentang rencana pembuatan dan pemodelan pengontrol tingkat salinitas secara detail mulai dari perancangan mekanik hingga perancangan sistem kendali. Perancangan dan pembuatan alat pada penelitian ini berisi tentang rencana pembuatan dan pemodelan pengontrol tingkat salinitas secara detail mulai dari perancangan mekanik hingga perancangan sistem kendali.

Sesuai dengan *diagram blog* diatas pada Gambar 6 proses berjalannya Sistem Monitoring yaitu :

- Pengukur yang dilakukan seperti suhu, kelembaban, dan pH tanah yang dihasilkan dari sensor merupakan blok masukan. Keluaran yang dihasilkan akan diubah kebesaran tegangan, arus, maupun hambatan.
- Hasil pembacaan sensor dikirim dan dibaca oleh mikrokontroler (Arduino) pada saat bersamaan nilai pengukuran yang dihasilkan dan pembacaan tersebut di kirim ke *App server* dengan bantuan modul Wi-Fi yang terhubung dengan Internet.
- Dari hasil pembacaan parameter ukur dapat diamati dalam sebuah *smartphone* yang terpasang aplikasi (Blynk).
- Pada bagian *output* menampilkan hasil pembacaan menggunakan LCD.

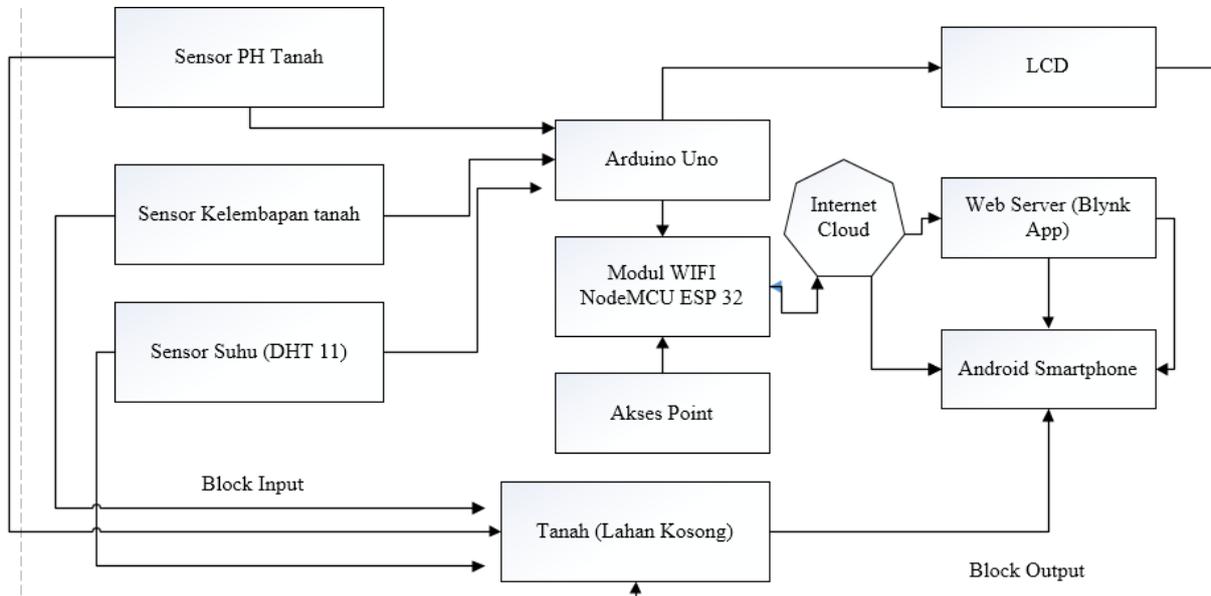
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengujian Sensor pH Tanah

Dari hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan data menghasilkan nilai yang hampir sama. Nilai *error* yang didapatkan berjumlah 7,11% yang berarti pendekatan nilai yang dihasilkan alat ukur dengan alat pembanding (*pH meter digital*) dikatakan cukup baik. Kesalahan pada proses kalibrasi data dapat mengakibatkan nilai

*error* yang cukup besar. Hal tersebut bisa disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya yaitu sensor yang digunakan tidak dibersihkan dengan baik sehingga *probe* pada sensor mengalami *error* data yang didapatkan kurang

akurat, sehingga dapat dikatakan pengujian ini berhasil dan sensor yang digunakan dalam keadaan baik dan tidak memiliki perbedaan *error* yang terlalu jauh.



Gambar 6. Perancangan diagram blok sistem.

Tabel 1. Hasil pengujian sensor pH tanah.

Hasil nilai sensor pH tanah alat	Hasil nilai pH tanah pembandingan <i>pH meter digital</i>	<i>Error (%)</i>
6,16	6,50	5,23
6,20	6,50	4,61
6,35	6,50	2,30
6,53	6,50	0,46
6,54	6,50	0,61
6,55	6,50	0,76
6,55	6,50	0,76
6,55	6,50	0,76
6,55	6,50	0,76
6,56	6,50	0,92
<b>Total error</b>		<b>7,11</b>

$$\text{Nilai error} = \frac{\text{Nilai pembandingan} - \text{Nilai ukur}}{\text{Nilai pembandingan}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Total error} = \frac{\text{Jumlah persen error}}{\text{Jumlah data}} \times 100\% \quad (2)$$

### Pengujian Sensor Kelembaban Tanah (*Soil Moisture*)

Pengujian sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) dilakukan pada sebuah pot bunga

yang terdapat tanah didalamnya. Dengan menancapkan sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) untuk mengukur persentase dan perbandingan nilai pengukuran sensor kelembaban tanah pada alat dengan *soil moisture analog* sebagai pembandingan alat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Sebanyak 10 kali pengulangan didapatkan nilai dari hasil sensor kelembaban tanah (*soil moisture*) alat yang berkisar antara 57% – 59%, Sedangkan nilai dari alat pembandingan

kelembaban tanah (*soil moisture analog*) berkisar antara 56% – 58% yang menunjukkan bahwa perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh.

Hal ini dibuktikan dengan persen *error* yang berkisar antara 0% – 1,7% sehingga total *error* yang didapat adalah 12,31%.

**Table 2.** Hasil pengujian sensor kelembaban tanah.

Hasil nilai sensor kelembaban tanah <i>soil moisture</i> (%)	Hasil nilai kelembaban tanah pembeding <i>soil moisture analog</i> (%)	<i>Error</i> (%)
57	56	1,78
57	56	1,78
57	56	1,78
57	57	0,00
58	57	1,75
58	57	1,75
59	58	1,72
58	57	1,75
57	57	0,00
57	57	0,00
<b>Total error</b>		<b>12,31</b>



**Gambar 7.** Pengujian sensor *soil moisture*.

### Pengujian Sensor DHT 11

Dari hasil pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali pengulangan terlihat bahwa sensor DHT 11 pada alat bernilai 31°C, Sedangkan nilai yang dihasilkan dari alat pembeding *thermometer hygrometer* bernilai 30°C perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh diantara kedua alat tersebut. Dapat dilihat dari persentase nilai *error* yang berjumlah 40,48%.

Maka dapat dikatakan bahwa alat sensor DHT11 pada alat berfungsi dengan baik.

### Hasil Sistem *Monitoring* pada Lahan

Setelah mendapatkan media tanam dalam arti lokasi yang akan ditanami pohon kelapa sawit maka tahap selanjutnya Pembuatan lubang bisa dilakukan secara manual menggunakan alat cangkul atau *hole digger*, sedangkan untuk pengujian ini menggunakan 2 lubang dengan kedalaman yang sama yaitu 20 cm. Jarak antara yang pertama dengan lubang yang kedua adalah 2 meter. Pengukuran dilaksanakan selama 2 hari dengan keadaan pagi hari pukul (10.00 – 11.00 WIB) dan sore hari pukul (15.00 – 16.00 WIB).

Pengukuran kondisi pH tanah, suhu, dan kelembaban tanah dilakukan selama 2 hari pada pagi dan sore hari menggunakan 2 lubang yang kedalamannya sama. Pengukuran ini menghasilkan perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh antara lubang pertama dengan lubang yang kedua. Hal ini menunjukkan bahwa lahan yang diukur sesuai untuk ditanami kelapa sawit, dikarenakan pH tanah berkisar antara 6 – 7 pada pagi dan sore hari. Pengukuran pada suhu berkisar antara 30°C – 31°C pada pagi dan sore hari berkisar antara 32°C – 35°C. Pengukuran kelembaban tanah berkisar antara 70% – 75%.

**Tabel 3.** Hasil pengujian sensor DHT11.

Hasil nilai sensor DHT11 pada alat (°C)	Hasil nilai sensor suhu pembanding thermometer hygrometer (%)	Error (%)
31,80	30,09	5,68
31,80	30,09	5,68
31,60	30,07	5,08
31,60	30,07	5,08
31,00	30,05	3,16
31,00	30,05	3,16
31,00	30,05	3,16
31,00	30,05	3,16
31,00	30,05	3,16
31,00	30,05	3,16
<b>Total error</b>		40,48

**Tabel 4.** Hasil sistem *monitoring* lubang ke-1.

Waktu	pH tanah	Kelembaban tanah (%)	Suhu (°C)
10/07/2023 (Pagi)	6,79	75,00	33,80
	6,51	75,00	33,80
	6,59	75,00	33,80
	6,53	75,00	33,80
	6,55	75,00	33,80
10/07/2023 (Sore)	7,70	73,00	35,60
	6,98	73,00	35,60
	6,97	73,00	35,60
	7,01	72,00	35,60
	7,01	73,00	36,50
7,01	73,00	35,60	

**Tabel 5.** Hasil sistem *monitoring* lubang ke-2.

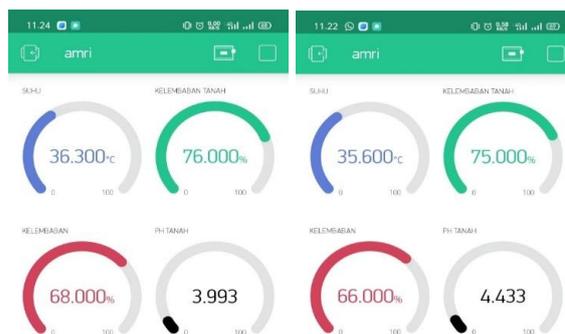
Waktu	pH tanah	Kelembaban tanah (%)	Suhu (°C)
10/07/2023 (Pagi)	6,16	76,00	33,80
	6,57	76,00	33,80
	6,50	75,00	33,80
	6,51	75,00	33,80
	6,58	75,00	33,80
6,48	75,00	33,80	
10/07/2023 (Sore)	7,71	73,00	35,20
	6,98	72,00	35,30
	7,02	74,00	35,20
	7,03	73,00	35,30
	7,02	73,00	35,20
7,01	74,00	35,20	

Secara *default* sistem akan bekerja dan melakukan pengontrolan secara otomatis sesuai dengan program yang diberikan. Sistem akan menampilkan hasil dari sensor pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu pada aplikasi Blynk. Jika nilai pH tanah diatas > 5, nilai

kelembaban tanah diatas > 70% dan nilai suhu diatas > 25°C, maka sistem dan tampilan pada LCD menunjukkan informasi bahwa lahan sesuai untuk ditanami kelapa sawit dan apabila pH tanah dibawah < 5, nilai kelembaban tanah dibawah < 70% dan nilai suhu dibawah < 25°C LCD menunjukkan lahan tidak sesuai. Esp32 digunakan juga sebagai pengkoneksi antara jaringan Wi-Fi dengan *smartphone* untuk menghubungkan serta menjalankan aplikasi Blynk. Tampilan LCD dapat dilihat seperti Gambar 8 dan 9.



**Gambar 8.** Tampilan pada LCD.



**Gambar 9.** Tampilan aplikasi Blynk.

## KESIMPULAN

Kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah direncanakan dan dirancang peralatan, maka diperoleh beberapa kesimpulan bahwa kelapa sawit dapat tumbuh dengan keadaan variasi suhu yang tidak terlalu tinggi yaitu berkisar antara 25°C – 27°C. Sementara untuk jenis tanah yang sesuai adalah jenis tanah latosol, podsolik merah kuning, tanah *alluvial*, dan bisa juga pada tanah organosol atau tanah gambur. pH tanah untuk kelapa sawit 5 – 5,5 meskipun dapat tumbuh pada toleransi pH antara 4,0 sampai dengan 6,5. Pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa alat akan mendeteksi sebuah lahan kosong. Jika nilai pH tanah terdeteksi diatas 5, nilai kelembaban tanah diatas 70% dan suhu di atas 25°C maka alat menginformasikan “lahan sesuai” apabila sebaliknya nilai pH tanah dibawah 5, nilai kelembaban tanah dibawah 70% dan suhu dibawah 25°C maka alat menginformasikan “lahan tidak sesuai”. Dari hasil penelitian yang dilakukan di daerah Desa Asahan Mati, Kecamatan Tanjungbalai, Kabupaten Asahan alat mendeteksi bahwa “lahan sesuai” untuk ditanami kelapa sawit. Alat yang dirancang ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Alat ini dapat mengukur nilai pH tanah, kelembaban tanah, dan suhu udara dengan otomatis. Akan tetapi alat ini memiliki batas jarak informasi yang diterimanya dikarenakan bergantung pada jaringan Wi-Fi.

## REFERENSI

1. Alatas, A. (2015). Trend produksi dan ekspor minyak sawit (CPO) Indonesia. *AGRARIS: Journal of Agribusiness and Rural Development Research*, **1**(2), 114–124.
2. Nugroho, T. C., Oksana, O., & Aryanti, E (2013). Analisis sifat kimia tanah gambut yang dikonversi menjadi perkebunan. *Jurnal Agroteknologi*, **4**(1), 25–30.
3. Afrizon, A. (2017). Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) Dengan Pemberian Pupuk Organik dan Anorganik. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, **4**(1), 95–105.
4. Utomo, G. D., Triyanto, D., & Ristian, U. (2021). Sistem monitoring dan kontrol pembibitan kelapa sawit berbasis internet of things. *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, **9**(02), 176–185.
5. Jauhary, T. (2018). *Aplikasi Sistem Monitoring Tanaman Berbasis Android*. Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia.
6. Wigena, I. G. P., Sudradjat, S. R. P., & Sitorus, H. S. (2009). Karakterisasi tanah dan iklim serta kesesuaiannya untuk kebun kelapa sawit plasma di Sei Pagar, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. *Jurnal Tanah dan Iklim*, **30**, 1–16.
7. Wang, C., Daneshmand, M., Dohler, M., Mao, X., Hu, R. Q., & Wang, H. (2013). Guest Editorial-Special issue on internet of things (IoT): Architecture, protocols and services. *IEEE Sensors Journal*, **13**(10), 3505–3510.
8. Pahan, I. (2012). *Panduan teknis budidaya kelapa sawit*. Penebar Swadaya Grup.
9. Juniardy, V. R., Triyanto, D., & Brianorman, Y. (2014). Prototype alat penyemprot air otomatis pada kebun pembibitan sawit berbasis sensor kelembaban dan mikrokontroler AVR ATMEGA8. *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, **2**(3).
10. Wicaksono, A. W., Widasari, E. R., & Utamingrum, F. (2017). Implementasi Sistem Kontrol dan Monitoring pH pada Tanaman Kentang Aeroponik secara Wireless. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, **1**(5), 386–398.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Morphology test of activated charcoal from oil palm fronds with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH activators

Debby Marantika\*, Masthura, Ratni Sirait

Department of Physics, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Deli Serdang 20371, Indonesia

\*Corresponding author: [debbymarantika00@gmail.com](mailto:debbymarantika00@gmail.com)

### ABSTRACT

Activated charcoal has been investigated by utilizing oil palm fronds using the addition of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH activators. The purpose of this study was to determine the microstructure of the effect of activated charcoal using H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH activator at a carbonization temperature of 500°C for 60 minutes. The method used in this research is a method with a quantitative approach. The characterization used was scanning electron microscopy to determine the surface morphology of activated charcoal. The results of the tests carried out for the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH activators showed that the best results were found in the NaOH activator which had larger pores than the H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activator, with a particle diameter size range of 0.432 – 1.564 μm which was analyzed using software Digimizer.

**Keywords:** Activated charcoal; palm midrib; SEM

Received 09-08-2023 | Revised 15-12-2023 | Accepted 16-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu Negara yang memiliki sumber daya alam berlimpah, salah satunya tanaman kelapa sawit. Dimana tanaman tersebut masih ada yang kurang pemanfaatannya, sehingga dibiarkan begitu saja. Menurut Nasution *et al.* (2014), tanaman kelapa sawit merupakan salah satu tanaman yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat untuk dijadikan minyak industri, minyak makan, dan bahan bakar [1]. Kurangnya pemanfaatan pada tanaman sawit terdapat pada bagian pelepahnya. Salah satu pemanfaatan pelepah sawit yaitu dapat dijadikan sebagai arang aktif untuk menambah nilai ekonomi.

Menurut Desmi *et al.* (2019), pelepah kelapa sawit merupakan salah satu bagian dari tanaman pelepah kelapa sawit yang memiliki helai daun yang didalamnya mengandung lamina, *midrib*, ruas tengah, *petiole*, dan kelopak pelepah [2]. Setiap helai daun yang terdapat pada pelepah kelapa memiliki ukuran sekitar 55 cm hingga 65 cm, serta lebar dengan ukuran 2,5 cm hingga 4 cm. Jumlah helai daun

yang terdapat pada pelepah kelapa sawit lebih kurang dari 100 pasang helai daun.

Berdasarkan penelitian Lempeng (2014), arang aktif merupakan salah satu material yang memiliki nilai karbon serta memiliki kemampuan daya serap yang baik [3]. Arang aktif dihasilkan dari proses karbonisasi dengan menggunakan suhu yang relatif tinggi.

Seiring meningkatnya perkembangan industri dari tahun ke tahun, kebutuhan arang aktif akan semakin meningkat kebutuhannya, sehingga penelitian ini dilakukan dengan pemanfaatan pelepah kelapa sawit untuk dijadikan arang aktif dengan penambahan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M dan NaOH 0,2 M.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan aktivasi kimia dengan bahan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH. Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu pisau, wadah, *glass beaker*, corong, aluminium, Erlenmayer, kertas saring, spatula, *furnance*, oven, neraca digital, dan SEM. Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu aquades, pelepah kelapa sawit, dan bahan aktivator

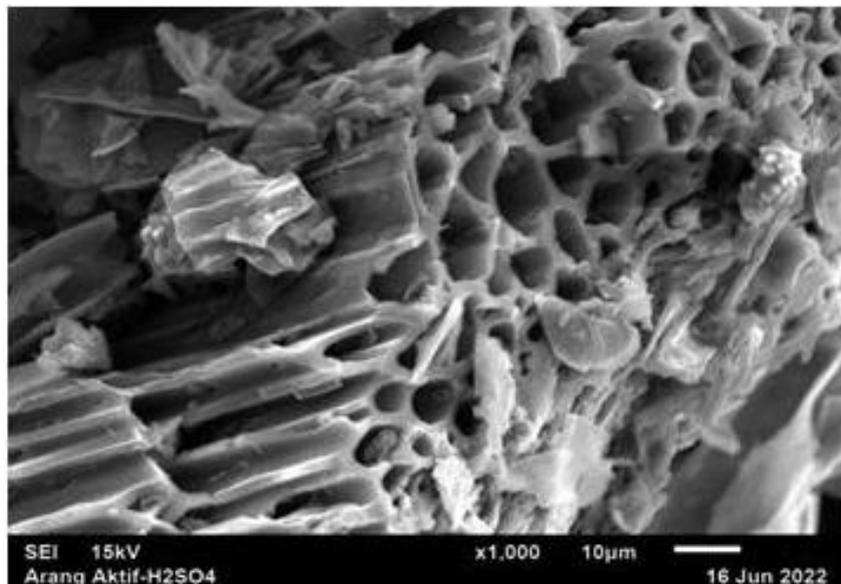
H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M dan NaOH 0,2 M. Prosedur yang dilakukan meliputi:

1. Pelepah kelapa sawit dicacah, kemudian di cuci, lalu dikeringkan di bawah sinar matahari selama 5 hari.
2. Kemudian dikarbonisasi selama 500°C selama 60 menit.
3. Diaktivasi selama 24 jam, dengan bahan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M dan NaOH 0,2 M.
4. Dikeringkan dengan menggunakan oven

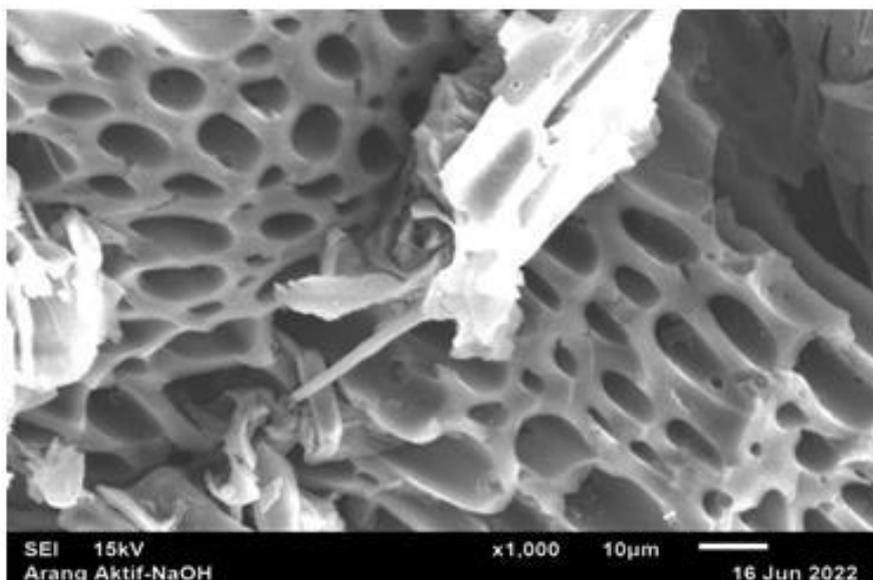
selama 115°C selama 3 jam, kemudian diuji mikrostruktur dengan menggunakan karakterisasi SEM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis karakterisasi SEM pada aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,2 M dan NaOH 0,2 M dengan proses aktivasi selama 24 jam pada suhu pemanasan 500°C selama 60 menit.



**Gambar 1.** Hasil karakterisasi SEM pada aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.



**Gambar 2.** Hasil karakterisasi SEM pada aktivator NaOH.

Berdasarkan hasil karakterisasi SEM menunjukkan bahwa terbukanya luas permukaan pori-pori arang aktif pada Gambar 1

dan 2, sehingga menunjukkan bahwa aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH dapat dijadikan arang aktif yang baik. Hal ini karena adanya lama waktu

aktivasi yang digunakan yaitu selama 24 jam. Menurut Masthura (2013) Semakin lama waktu perendaman pada saat proses aktivasi, maka luas permukaan pori-pori arang aktif akan semakin terbuka dan banyak [4]. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa terdapat luas pori-pori yang lebih besar dan sedikitnya gumpalan zat-zat pengotor didalamnya dibandingkan dengan Gambar 1, menurut Manurung (2019) mengatakan bahwa melarutnya zat pengotor pada arang aktif akan meningkatkan kualitas arang aktif [5], sehingga hasil karakterisasi terbaik terdapat pada Gambar 1 yaitu aktivator NaOH.

Untuk melihat rentang ukuran partikel diameter arang aktif pelepah kelapa sawit pada aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH, maka ditambah

dengan *software* Digimizer, bertujuan untuk mengetahui arang aktif pelepah kelapa sawit yang terbaik dari pengujian arang aktif dan mikrostruktur. Hasil pengukuran rentang partikel diameter terdapat pada Tabel 1.

Berdasarkan pada Tabel 1 menunjukkan hasil ukuran diameter yang terkecil pada aktivator NaOH yaitu dengan ukuran diameter partikel 0,7890 sedangkan ukuran diameter partikel pada H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,1481. Menurut Yanti (2019) semakin kecil ukuran diameter partikel pada arang aktif, maka semakin terbukanya pori-pori luas permukaan pada arang aktif, maka arang aktif tersebut akan memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Sehingga hasil analisis yang terbaik terdapat pada aktivator NaOH.

**Tabel 1.** Hasil pengukuran diameter partikel arang aktif pelepah kelapa sawit.

Aktivator	Rentang ukuran diameter partikel	Diameter partikel rata-rata
	( $\mu\text{m}$ )	( $\mu\text{m}$ )
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,502 – 1,905	1,1481
NaOH	0,432 – 1,564	0,7890

## KESIMPULAN

Pada penelitian arang aktif pelepah kelapa sawit dengan aktivator H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaOH dapat disimpulkan bahwasanya berdasarkan hasil analisis uji morfologi dengan karakterisasi SEM serta hasil analisis pengukuran diameter partikel arang aktif terdapat arang aktif yang terbaik pada arang aktif pelepah kelapa sawit dengan activator NaOH dengan ukuran partikel yaitu 0,7890.

## SARAN

Disarankan untuk penelitian selanjutnya dalam pembuatan arang aktif pelepah kelapa sawit dengan menggunakan karakterisasi lainnya seperti XRD dan FTIR.

## REFERENSI

- Nasution, S. H., Hanum, C., & Ginting, J. (2014). Pertumbuhan bibit kelapa sawit (*Elaeis Guineensis Jacq.*) pada berbagai perbandingan media tanam solid decanter

dan tandan kosong kelapa Sawit pada sistem single stage. *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, **2**(2), 98564.

- Desmi, N. F., Hilda, F., & Ridho, F. (2019). *Rancang bangun mesin pencacah pelepah daun kelapa sawit*. Doctoral dissertation, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Lempang, M. (2014). Pembuatan dan kegunaan arang aktif. *Info Teknis Eboni*, **11**(2), 65–80.
- Masthura. (2013). *Peningkatan Daya Serap Filter Air dari Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Memvariasikan Suhu Pemanasan*. Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara.
- Manurung, M., Ratnayani, O., & Prawira, R. A. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Arang dari Limbah Bambu dengan Aktivator ZnCl<sub>2</sub>. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, **7**(2), 122–129.

6. Yanti, N. (2019). *Pengaruh Ukuran Partikel Arang Aktif Tempurung Kelapa (Cocos Nucifera) Sebagai Alternatif Home*

*Bleaching Terhadap Perubahan Kecerahan Gigi (In Vitro)*. Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Fabrication of carbon electrodes from young coconut fiber by varying the carbonization temperature as a supercapacitor application

**Sri Ulina Karo Sekali, Awitdrus\***

Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [awitdrus@lecturer.unri.ac.id](mailto:awitdrus@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Supercapacitors are electrochemical energy storage devices that can provide a higher energy density than conventional dielectric capacitors. The most important component of a supercapacitor cell is the electrodes. In this study, the supercapacitor cell electrodes used are based on young coconut fiber with carbonization temperature variations of 500°C, 600°C, and 700°C. The pre-carbonization process is operated using a temperature of 200°C for 90 minutes, chemical activation using an activating agent  $ZnCl_2$  0.5 M, carbonization using  $N_2$  gas at various temperatures, and physical activation using  $CO_2$  gas at 800°C. The highest density value is the CNL-600 sample with a density loss percentage value of 50.96%. Analysis of electrochemical properties showed that samples with a carbonization temperature of 600°C had the highest specific capacitance values, namely 190.3 F/g using method of the cyclic voltammetry. This shows that the best sample is the sample with a carbonization temperature of 600°C.

**Keywords:** Carbon electrode; carbonization temperature; supercapacitor; young coconut fiber

Received 21-07-2023 | Revised 07-12-2023 | Accepted 08-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Bahan Energi adalah salah satu kebutuhan dasar untuk menopang peradaban dunia, sehingga pasokannya harus aman dan berlimpah. Energi sangat penting untuk kehidupan sehari-hari, kesehatan manusia, komunikasi dan kemajuan teknologi. Pada tahun 2010, bahan bakar fosil menyediakan sekitar 80% dari semua energi primer diseluruh dunia [1]. Perangkat penyimpanan energi elektrokimia seperti baterai dan superkapasitor akan memainkan peran penting dalam bidang ini [2]. Superkapasitor atau sering disebut sebagai kapasitor elektrokimia lapis ganda merupakan piranti penyimpan energi yang terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus, dan pemisah atau separator. Elektroda dan elektrolit dianggap sebagai komponen aktif, sedangkan pemisah dan pengumpul arus adalah komponen pasif superkapasitor [3]. Superkapasitor adalah perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang dapat memberikan kepadatan daya yang lebih tinggi dan kepadatan energi yang lebih tinggi daripada kapasitor

dielektrik konvensional [4]. Kandungan yang terdapat dalam sabut kelapa yaitu selulosa 37,9%, hemiselulosa 15,5%, dan lignin 33,5%. Sabut kelapa pada umumnya dipakai untuk keperluan berkebun, namun karena memiliki kandungan karbon yang tinggi, sabut kelapa baik dimanfaatkan sebagai prekursor untuk elektroda karbon superkapasitor [5].

Komponen-komponen yang terdapat pada superkapasitor merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi kinerja perangkat penyimpanan superkapasitor secara keseluruhan. Bahan karbon berpori sebagai elektroda memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan luas permukaannya yang besar [6]. Ada dua perlakuan aktivasi dalam pembuatan karbon aktif yaitu aktivasi kimia dan juga aktivasi fisika. Aktivasi kimia digunakan untuk membersihkan pori dari karbon dengan bahan kimia yang disebut aktivator. Aktivator pada penelitian serabut kelapa muda menggunakan aktivator  $ZnCl_2$  (*zinc chloride*) yang digunakan untuk mengaktifkan zat kimia saat membuat elektroda karbon aktif [7]. Karbonisasi adalah proses pembakaran sampel yang dengan

temperatur yang relatif tinggi dengan dialiri gas N<sub>2</sub> guna untuk membuka pori-pori karbon. Suhu dari aktivasi fisika dapat mempengaruhi keadaan suatu karbon yang dihasilkan. Semakin tinggi temperatur aktivasi fisika maka semakin murni pula karbon yang didapat dan juga semakin tinggi jumlah ikatan organik yang terlepas [8].

## METODE PENELITIAN

Biomassa yang digunakan pada penelitian ini adalah serabut kelapa muda (*young cocofiber*). Biomassa serabut kelapa muda diperoleh dari Desa Bukit Kesuma, Kecamatan Pangkalan Kuras, Kabupaten Pelalawan, Provinsi Riau. Tahap pertama yaitu memisahkan serabut kelapa dengan gabus hingga seperti benang, kemudian dilakukan proses penjemuran sampel dibawah sinar matahari langsung. Tahap selanjutnya yaitu proses pra-karbonisasi dengan suhu 200°C selama 90 menit. Sampel tersebut dihaluskan menggunakan mortal dan alu, kemudian sampel yang sudah halus akan diayak. Tahap selanjutnya dilakukan proses aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif kimia yaitu ZnCl<sub>2</sub> 0,5 M. Setelah itu dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi fisika menggunakan gas N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Proses karbonisasi dilakukan pada variasi suhu 500°C, 600°C, dan 700°C. Kemudian proses aktivasi fisika dilakukan pada suhu 800°C yang ditahan selama 1 jam. Setelah itu, elektroda karbon direndam dalam aquades hingga pH mencapai 7 dan dikeringkan. Tahap selanjutnya yaitu pemolesan sampel hingga memiliki diameter sebesar 7 – 8 mm dan ketebalan sebesar 0,2 – 0,3 mm, kemudian direndam elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M.

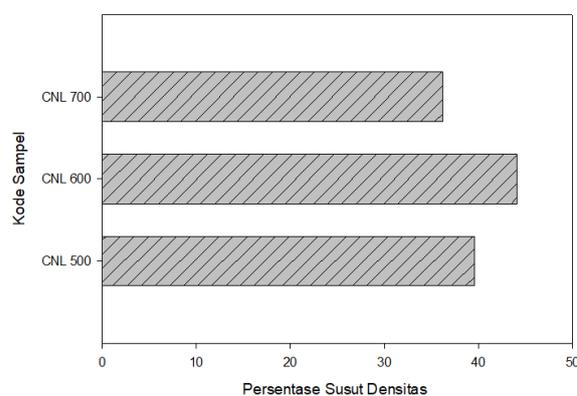
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyusutan Densitas

Pengukuran densitas dilakukan dengan mengukur massa, diameter dan ketebalan dari elektroda karbon sebelum dan sesudah proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Serbuk karbon

yang sudah dicetak menjadi pelet diukur diameter dan ketebalan memakai jangka sorong dan massa pelet ditimbang menggunakan timbangan digital, kemudian dapat dihitung nilai densitasnya. Nilai kapasitansi dari superkapasitor dapat dipengaruhi oleh nilai dari densitas. Nilai densitas berbanding terbalik dengan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda sel superkapasitor. Persamaan yang digunakan untuk menghitung densitas yaitu:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$



**Gambar 1.** Persentase susut densitas elektroda karbon.

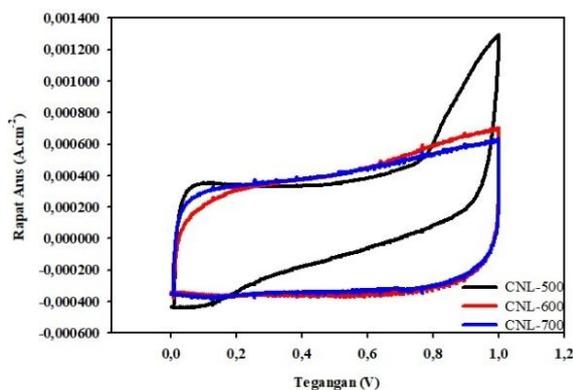
Gambar 1 memperlihatkan persentase penyusutan densitas elektroda karbon CNL-500, CNL-600, dan CNL-700 setelah mengalami proses karbonisasi dan aktivasi fisika yang besarnya masing-masing 39,58%, 46,53%, dan 36,17%. Persentase susut densitas tertinggi yaitu pada suhu 600°C disebabkan pada suhu tersebut ikatan antara unsur oksigen (O<sub>2</sub>), hidrogen (H), dan karbon menjadi lemah. Ikatan yang lemah membuat gas nitrogen (N<sub>2</sub>) akan mudah mereduksi unsur oksigen dan hidrogen terpisah dari karbon [9].

### Siklik Voltametri (*Cyclic Voltammetry*, CV)

Pengujian CV ini bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dari elektroda karbon berbasis serabut kelapa muda. Laju pemindaian yang digunakan adalah 1 mV/s, 2 mV/s, dan 5 mV/s dengan tegangan sebesar 1 V. Kurva yang

dihasilkan dari pengujian CV menampilkan hubungan antara tegangan (V) terhadap rapat arus ( $A/cm^2$ ). Arus yang dihasilkan yaitu arus *charge* dan *discharge*, di mana arus *charge* yaitu ketika elektroda superkapasitor mengalami pengisian muatan yang ditandai oleh daerah yang ada pada bagian atas kurva. Sedangkan, arus *discharge* yaitu ketika elektroda superkapasitor mengalami pengosongan muatan yang ditandai oleh daerah yang ada pada bagian bawah kurva. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitansi spesifik dari elektroda karbon [10]:

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \cdot m} \quad (2)$$



**Gambar 2.** Kurva CV dengan laju pemindaian 1 mV/s untuk semua sampel.

Gambar 2 menunjukkan kurva hasil pengujian CV dengan laju pemindaian 1 mV/s pada sampel CNL-500, CNL-600, dan CNL-700. Siklus berulang dengan bentuk melengkung mendekati bentuk persegi panjang menunjukkan sifat ideal superkapasitor elektrokimia lapis ganda listrik berbasis biomassa. Laju pemindaian yang dipilih yaitu 1 mV/s dikarenakan untuk mempermudah ion berdifusi merata ke permukaan elektroda karbon dan difusi yang sempurna mengisi pori-pori pada elektroda karbon. Proses pengisian elektroda superkapasitor menggunakan tegangan yang dinaikkan dari 0 – 1 V, sedangkan proses pengosongan menggunakan tegangan yang diturunkan hingga 0 V. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa CNL-700 memiliki luas kurva CV paling kecil

dan CNL-600 memiliki kurva CV paling besar. Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel CNL-600 memiliki nilai kapasitansi paling tinggi yaitu sebesar 169,17 F/g. dan CNL-700 memiliki nilai kapasitansi terkecil yaitu sebesar 113,30 F/g.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa CNL-500 pada daerah tegangan sekitar 0,8 – 1 V terjadi peningkatan rapat arus yang signifikan yang menyebabkan semakin sedikit ion elektrolit yang dapat menempati ruang pada elektroda karbon aktif, hal tersebut dapat mengakibatkan penurunan penyimpanan muatan atau kapasitansi spesifik.

**Tabel 1.** Nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor serabut kelapa muda.

Kode Sampel	$C_{sp}$
CNL-500	134,40
CNL-600	169,17
CNL-700	113,30

Tabel 1 menunjukkan sampel CNL-600 memiliki nilai kapasitansi tertinggi yaitu 169,17 F/g. Hal tersebut dikarenakan semakin tinggi suhu karbonisasi maka akan semakin besar susut massa elektroda karbon setelah terjadi proses pirolisis. Pengaruh agen pengaktif  $ZnCl_2$  dengan suhu karbonisasi mencapai  $600^\circ C$  dapat menghasilkan elektroda karbon aktif yang dominan pori berukuran mikro dan meso yang dapat meningkatkan kinerja dari superkapasitor dan menaikkan nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon superkapasitor [11].

## KESIMPULAN

Pembuatan elektroda karbon aktif berbasis biomassa serabut kelapa muda telah dilakukan. Berdasarkan data hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa suhu karbonisasi  $600^\circ C$  merupakan suhu optimal dalam proses fabrikasi elektroda karbon aktif berbasis serabut kelapa muda sebagai aplikasi superkapasitor, dengan persentase susut densitas tertinggi yaitu sebesar 46,53% dan nilai kapasitansi spesifik tertinggi yaitu sebesar 169,17 F/g.

## REFERENSI

1. Halkos, G. E. & Gkampoura, E. C. (2020). Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*, **13**(11), 2906.
2. Abas, N., Kalair, A., & Khan, N. (2015). Review of fossil fuels and future energy technologies. *Futures*, **69**, 31–49.
3. Samantara, A. K., Ratha, S., Samantara, A. K., & Ratha, S. (2018). Materials development for active/passive components of a supercapacitor: Background, present status and future perspective. *Springer Briefs in Materials*, 11–39.
4. Kuzmenko, V., Bhaskar, A., Staaf, H., Lundgren, P., & Enoksson, P. (2015). Sustainable supercapacitor components from cellulose. *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*, 456–458.
5. Kondo, Y. & Arsyad, M. (2018). Analisis kandungan lignin, sellulosa, dan hemisellulosa serat sabut kelapa akibat perlakuan alkali. *INTEK: Jurnal Penelitian*, **5**(2), 94–97.
6. Zhang, L. L., Zhou, R., & Zhao, X. S. (2010). Graphene-based materials as supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Chemistry*, **20**(29), 5983–5992.
7. Hsu, L. Y. & Teng, H. (2000). Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bituminous coal. *Fuel Processing Technology*, **64**(1-3), 155–166.
8. Taer, E., Taslim, R., Aini, Z., Hartati, S. D., & Mustika, W. S. (2017). Activated carbon electrode from banana-peel waste for supercapacitor applications. *AIP Conference Proceedings*, **1801**(1).
9. Apriyani, I. & Farma, R. (2021). Pembuatan elektroda karbon aktif dari tandan kosong buah aren dengan variasi suhu karbonisasi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 58–63.
10. Awitdrus, A., Suwandi, D. A., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2021). The production of supercapacitor carbon electrodes based on sugar palm fronds using chemical and physical activation combination. *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(3), 66–69.
11. Yorgun, S., Vural, N., & Demiral, H. (2009). Preparation of high-surface area activated carbons from Paulownia wood by  $ZnCl_2$  activation. *Microporous and Mesoporous Materials*, **122**(1-3), 189–194.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Identification of hot springs in Sungai Pinang using the Schlumberger configuration geoelectric method

Lily Wandari\*, Usman Malik

Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [lily.wandari4445@student.unri.ac.id](mailto:lily.wandari4445@student.unri.ac.id)

### ABSTRACT

One of the hot spring tourist attractions in Riau Province is Sungai Pinang Village, Hulu Kuantan District, Kuantan Singingi Regency. The geothermal system at that location originates from a geological structure where faults and fractures are pathways for the transfer of geothermal fluids, so it is necessary to identify hot springs. This study aimed to determine the resistivity value of rock layers and to find out the test results for hot water sample content using pH and temperature parameters. The method used is the Schlumberger configuration geoelectric method. Data processing was carried out using progress software with the one-dimensional data type. The resistivity value of the rocks obtained in line 1 has a resistivity range of 39.77 – 594.04  $\Omega\text{m}$  with a depth of 0 – 23.02 m. Track 2 has resistivity values ranging from 28.41 – 2585.18  $\Omega\text{m}$  with a depth of 0.29 – 1.06 m. Track 3 has resistivity values ranging from 2.76 – 856.53  $\Omega\text{m}$  with a depth of 0 – 7.82 m. Interpretation results on tracks 1 and 2 found no hot water because the track's position is far from the hot springs. Hot water is found on track 3 with depths ranging from 0 – 0.04 m and 3.76 – 7.82 m.

**Keywords:** Hot water; resistivity; Schlumberger configuration; software progress; water quality

Received 07-03-2023 | Revised 21-12-2023 | Accepted 28-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Panas bumi merupakan sebuah sumber energi panas yang terdapat dan terbentuk pada kerak bumi. Manifestasi panas bumi berupa mata air panas merupakan penanda keberadaan sistem panas bumi [1, 2]. Mata air panas merupakan mata air yang dihasilkan akibat keluarnya air tanah dari sumber air panas seperti kerak bumi setelah dipanaskan secara *geothermal* [3]. Struktur batuan memberikan gambaran bahwa air panas mengalir melalui rekahan-rekahan batuan atau batuan permeabel. Keragaman sifat batuan dalam mengalirkan air panas dan merambatkan panas menentukan karakteristik mata air panas [4].

Salah satu potensi panas bumi di Indonesia ditandai dengan adanya wisata kolam air panas yang terdapat di daerah Kuantan Singingi lebih tepatnya berada di Desa Sungai Pinang, Kecamatan Hulu Kuantan, Provinsi Riau, hal tersebut dibuktikan dengan adanya penelitian yang dilakukan oleh Sidiq (2019), dimana

keberadaan air panas tersebut benar adanya dan dibuktikan dengan data yang bersumber dari Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Kuantan Singingi pada Tahun 2018 [5]. Menurut Nurohman *et al.* (2016), potensi panas bumi dapat diidentifikasi dari adanya manifestasi panas bumi yang muncul di permukaan. Salah satu pengontrol munculnya manifestasi tersebut adalah keberadaan media keluarnya atau zona permeabel [6].

Salah satu indikasi zona permeabel yang dapat menyebabkan air panas dapat mengalir ke permukaan yang kemudian dapat membentuk manifestasi panas bumi menurut Saptadji (2001) adalah disebabkan karena adanya struktur geologi yaitu berupa patahan atau rekahan [7]. Keberadaan patahan dan rekahan merupakan jalur untuk proses migrasi fluida panas bumi. Zona rekahan merupakan salah satu indikasi adanya zona *outflow* (aliran keluaran) atau aliran keluarnya fluida ke permukaan sebagai manifestasi mata air panas di sekitar. Untuk memperkirakan mata air panas

yang terdapat di Sungai Pinang termasuk dalam zona *outflow* diperlukan penyelidikan.

Penyelidikan karakteristik mata air panas dapat dilakukan dengan menentukan struktur patahan yang dapat diketahui dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas. Melalui metode ini, struktur patahan permukaan bumi diprediksi dengan baik melalui nilai resistivitasnya. Metode geolistrik resistivitas menggunakan dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial yang disusun dengan aturan tertentu, sehingga dapat menggambarkan lapisan batuan di bawah permukaan bumi. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Fitriani & Musa (2012) dan berhasil mengidentifikasi jalur patahan dengan metode geolistrik hambatan jenis di wilayah Palu Barat [8]. Selanjutnya Mende & Ferdy (2017) mengidentifikasi patahan Manado dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger [9].

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode geolistrik Konfigurasi Schlumberger. Menurut Utiya & Tongkukut (2015), metode geolistrik konfigurasi Schlumberger dapat memberikan gambaran kondisi bawah permukaan dengan lebih akurat dibandingkan konfigurasi lainnya [10].

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Aki, digunakan sebagai sumber arus.
2. Elektroda, digunakan sebagai alat untuk menginjeksikan arus dan potensial.
3. *Global position system* (GPS), sebagai penentu koordinat lokasi penelitian.
4. Kabel, sebagai alat untuk menghubungkan elektroda-elektroda.
5. Laptop, sebagai alat untuk mengolah data.
6. Meteran, alat untuk mengukur panjang lintasan yang akan diteliti.
7. Palu besi, digunakan sebagai alat untuk menanamkan elektroda.

8. Pacakan, digunakan sebagai alat untuk penanda titik pusat pada lintasan.
9. Penjepit, digunakan sebagai alat untuk menghubungkan antara kabel dengan alat resistivitymeter.
10. *Resistivity* meter, digunakan sebagai alat untuk mengukur nilai resistivitas di bawah permukaan bumi.
11. *Software* Progress, sebagai alat untuk mengolah data 1D.
12. Tabel pengukuran, digunakan sebagai alat untuk mencatat besar dari harga arus dan beda potensial.

### Metodologi dan Eksperimen

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger. Metode ini merupakan suatu metode yang berfungsi untuk mendeskripsikan atau mendapatkan gambaran struktur bawah permukaan yang diteliti dengan didasarkan pada model penampang sebaran resistivitas bawah permukaan.

Pada proses akuisisi data, konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Schlumberger, dengan lintasan yang digunakan sebanyak tiga lintasan dan variasi ukuran panjang yang berbeda-beda.

Penelitian ini menggunakan ukuran spasi antar elektroda yang bervariasi. Elektroda arus dan potensial diatur dengan jarak yang tetap, dimana elektroda yang digunakan berjumlah sebanyak empat buah. Selanjutnya elektroda-elektroda tersebut secara simultan dipindahkan sesuai dengan jarak yang telah ditentukan.

Pemrosesan data resistivitas dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak (*software*) Progress, dengan jenis data yang diproses adalah data 1D. Hasil dari penggunaan *software* ini adalah gambaran/citra tampilan bawah permukaan yang disajikan secara vertikal, kurva sesuai dengan nilai resistivitas yang sebenarnya, dan jumlah lapisan bawah permukaan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

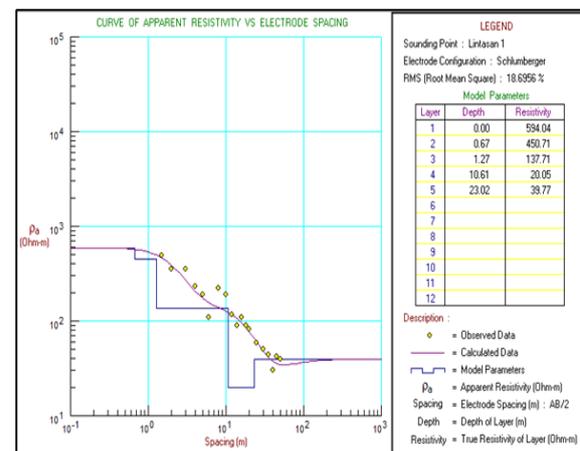
Penelitian dilakukan dengan mengukur resistivitas di tiga lintasan, dimana pada lintasan 1 dan 2 ukuran lintasannya sepanjang 100 m, dan lintasan tiga sepanjang 70 m. Metode yang digunakan adalah metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger, sehingga didapatkan hasil pengukuran berupa data nilai perbedaan potensial dan arus dari masing-masing lapisan tanah.

### Hasil Pengukuran Geolistrik Resistivitas Lintasan 1

Lintasan satu memiliki ukuran panjang 100 m dengan bentang arah dari selatan ke timur serta titik koordinat  $0^{\circ}35'9''$  LU dan  $101^{\circ}24'55''$  BT, dengan jarak spasi antar elektroda potensial ( $\Delta V$ ) dan arus listrik ( $I$ ). Hasil pengukuran yang didapat berupa beda potensial dan arus, maka diperoleh data berupa nilai faktor geometri ( $k$ ) dan resistivitas semu ( $\rho_a$ ). Interpretasi hasil perhitungan dan pengolahan data yang didapatkan melalui *software* Progress dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1 dapat terlihat adanya kurva resistivitas semu dan jarak elektroda serta tabel model parameter kedalaman dan nilai resistivitas. Titik-titik berwarna kuning pada grafik *resistivity* merupakan data pengukuran di

lapangan, kurva berwarna merah muda menunjukkan pemodelan dari data lapangan, sedangkan grafik berwarna biru merupakan parameter model yaitu kedalaman dan resistivitas semu. Lengkungan ke arah bawah yang terlihat pada kurva di atas disebabkan adanya penurunan nilai resistivitas yang terbaca dari masing-masing lapisan, ketika nilai resistivitas dari sebuah lapisan kecil maka pergerakan kurva akan cenderung bergerak ke arah bawah. Penentuan jenis batuan dari lapisan bawah permukaan disesuaikan dengan hasil resistivitas pengamatan lapangan dan peta geologi daerah penelitian. Interpretasi data lintasan satu mengenai lapisan-lapisan tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



**Gambar 1.** Interface Progress hasil pengolahan data lintasan 1.

**Tabel 1.** Interpretasi data lintasan 1.

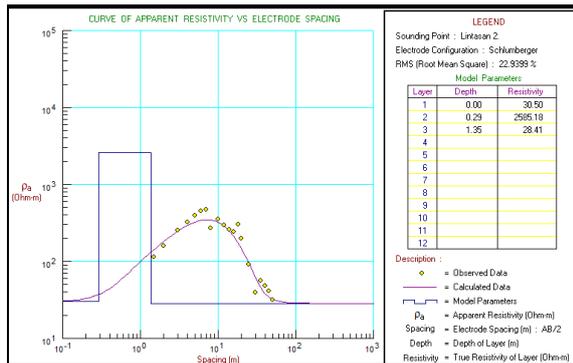
Lapisan	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega m$ )	Jenis Batuan
1	0 – 0,67	0,67	594,04	Batu pasir
2	0,67 – 1,27	0,6	450,71	Pasir dan kerikil
3	1,27 – 10,61	9,34	137,71	Kerikil
4	10,61 – 23,02	12,41	20,05	Lempung
5	> 23,02	-	39,77	Lempung

Dari Tabel 1 dapat dilihat lapisan pertama dari pengukuran didapatkan bahwa kedalaman berada pada 0 – 0,67 m dengan nilai resistivitas 594,04  $\Omega m$  dan dapat diinterpretasikan sebagai lapisan batu pasir. Lapisan kedua terletak pada kedalaman 0,67 – 1,27 m dengan besar nilai resistivitas 450,71  $\Omega m$  diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil. Lapisan ketiga berada

pada kedalaman 1,27 – 10,61 m dengan nilai resistivitas sebesar 137,71  $\Omega m$  dan diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil. Lapisan keempat dan kelima terletak pada kedalaman 10,61 – 23,02 m dengan nilai resistivitas sebesar 20,05  $\Omega m$  dan 39,77  $\Omega m$  diinterpretasikan sebagai lapisan lempung.

## Hasil Pengukuran Geolistrik Resistivitas Lintasan 2

Lintasan 2 memiliki panjang lintasan 100 meter dengan bentang arah dari selatan ke timur serta titik koordinat 0°35'10" LU dan 101°24'34" BT. Interpretasi hasil perhitungan dan pengolahan data yang didapatkan melalui *software* Progress dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Interface* Progress hasil pengolahan data lintasan 2.

**Tabel 2.** Interpretasi data lintasan 2.

Lapisan	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega$ m)	Jenis Batuan
1	0 – 0,29	0,29	30,50	Lempung
2	0,29 – 1,35	1,06	2585,18	Pasir dan kerikil
3	>1,35	-	28,41	Lempung

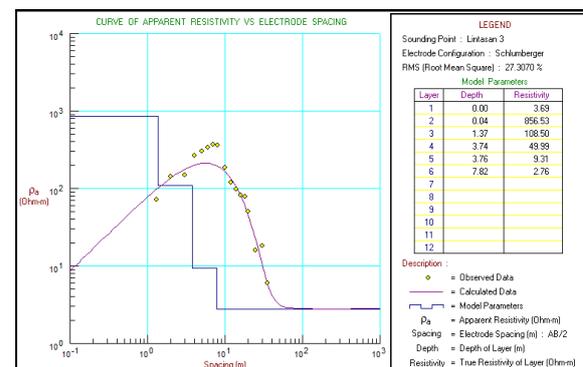
Lapisan pertama dari pengukuran didapatkan bahwa kedalaman berada pada 0 – 0,29 m dengan nilai resistivitas 30,50  $\Omega$ m dan dapat diinterpretasikan sebagai lapisan lempung. Lapisan kedua dan ketiga terletak pada kedalaman 0,29 – 1,35 m dengan besar nilai resistivitas 2585,18  $\Omega$ m dan 28,41  $\Omega$ m diinterpretasikan sebagai lapisan pasir kerikil dan lempung. Berdasarkan hasil interpretasi lintasan 2 ini tidak ditemukan adanya air panas, hal tersebut dikarenakan lintasan dua posisinya sedikit jauh dari sumber air panas.

## Hasil Pengukuran Geolistrik Resistivitas Lintasan 3

Lintasan ketiga memiliki panjang lintasan 70 meter dengan bentang arah dari selatan ke timur serta titik koordinat 0°35'10" LU dan

Terlihat pada Gambar 2 kurva yang bergerak dari arah bawah menuju atas dan kembali lagi ke bawah disebabkan adanya penurunan dan kenaikan nilai resistivitas yang terbaca dari masing-masing lapisan, ketika nilai resistivitas dari sebuah lapisan kecil maka pergerakan kurva akan cenderung bergerak ke arah bawah dan ketika nilai resistivitas besar maka secara otomatis kurva tersebut akan bergerak ke arah atas. Nilai resistivitas rendah pada lapisan satu membuat kurva bergerak dari arah bawah sedangkan pada lapisan kedua nilai resistivitas naik membuat kurva bergerak ke atas, kemudian turun lagi saat di lapisan ketiga karena adanya penurunan nilai resistivitas. Penentuan jenis batuan dari lapisan bawah permukaan disesuaikan dengan hasil resistivitas pengamatan lapangan dan peta geologi daerah penelitian. Interpretasi data lintasan dua mengenai lapisan-lapisan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

101°24'57" BT. Interpretasi hasil perhitungan dan pengolahan data yang didapatkan melalui *software* Progress dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** *Interface* Progress hasil pengolahan data lintasan 3.

Kurva yang bergerak dari arah bawah menuju atas dan kembali lagi ke bawah disebabkan adanya penurunan dan kenaikan

nilai resistivitas yang terbaca dari masing-masing lapisan, ketika nilai resistivitas dari sebuah lapisan kecil maka pergerakan kurva akan cenderung bergerak ke arah bawah dan ketika nilai resistivitas besar maka secara otomatis kurva tersebut akan bergerak ke arah

atas. Penentuan jenis batuan dari lapisan bawah permukaan disesuaikan dengan hasil resistivitas pengamatan lapangan dan peta geologi daerah penelitian. Interpretasi data lintasan 3 mengenai lapisan-lapisan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Interpretasi data lintasan 3.

Lapisan	Kedalaman (m)	Ketebalan (m)	Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Jenis Batuan
1	0 – 0,04	0,04	3,69	Air panas
2	0,04 – 1,37	1,33	856,53	Pasir dan kerikil
3	1,37 – 3,74	2,37	108,50	Kerikil
4	3,74 – 3,76	0,02	49,99	lempung
5	3,76 – 7,82	4,06	9,31	Air panas
6	> 7,82	-	2,76	Air panas

Lapisan pertama dari pengukuran didapatkan bahwa kedalaman berada pada 0 – 0,04 m dengan nilai resistivitas 3,69  $\Omega\text{m}$  dan dapat diinterpretasikan sebagai air panas. Lapisan kedua terletak pada kedalaman 0,04 – 1,37 m dengan besar nilai resistivitas 856,53  $\Omega\text{m}$  diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil. Lapisan ketiga berada pada kedalaman 1,37 – 3,74 m dengan nilai resistivitas sebesar 108,50  $\Omega\text{m}$  dan diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil. Lapisan keempat terletak pada kedalaman 3,74 – 3,76 m dengan nilai resistivitas sebesar 49,99  $\Omega\text{m}$  dan diinterpretasikan sebagai lapisan lempung. Lapisan kelima dan keenam terletak pada kedalaman 3,76 – 7,82 m dengan nilai resistivitas sebesar 9,31  $\Omega\text{m}$  dan 2,76  $\Omega\text{m}$  dan diinterpretasikan sebagai lapisan air panas. Berdasarkan hasil interpretasi diatas, ditemukan bahwa air panas ditemukan pada lapisan satu, lapisan lima dan lapisan enam dengan rentang kedalaman 0 – 0,04 m dan 3,76 – 7,82 m di bawah permukaan, hal tersebut disebabkan lintasan ini berada sangat dekat dengan sumber air panas.

### KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian maka kesimpulan yang dapat diambil adalah lintasan 1 memiliki rentang kedalaman 0 – 23,02 meter, dengan nilai resistivitas 39,77 – 594,04  $\Omega\text{m}$ .

Lintasan 2 memiliki kedalaman 0 – 1,35 m dengan nilai resistivitas 28,41 – 2585,18  $\Omega\text{m}$ . Sedangkan lintasan 3 memiliki kedalaman 0 – 7,82 m dengan nilai resistivitas 2,76 – 856,53  $\Omega\text{m}$ .

### REFERENSI

- Herlinda, R. N. & Malik, U. (2023). Identifikasi lapisan bawah tanah dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner di area wisata air panas sungai pinang Kabupaten Kuantan Singingi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(2), 153–158.
- Zulkarnain, Z., Kurniawati, R., Triwulandari, T., Syahputra, R. F., Husein, I. R., & Kurniawan, R. (2023). Water seepage rate in composted soil. *Science, Technology and Communication Journal*, **3**(3), 91–96.
- Malik, U., Defrianto, D., Zulfa, Z., Saputra, Y. D., & Muhammad, J. (2023). One-dimensional analysis of underground water using geoelectric methods. *Science, Technology and Communication Journal*, **4**(1), 11–14.
- Saputra, F., Baskoro, S. A., Supriyadi, S., & Priyantari, N. (2020). Aplikasi metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner dan Wenner-Schlumberger pada daerah mata air panas Kali Sengon di Desa

- Blawan-Ijen. *Berkala Sainstek*, **8**(1), 20–24.
5. Sidiq, S. S. (2019). Potensi pengembangan objek wisata pemandian air panas Sungai Pinang Kecamatan Hulu Kuantan Kabupaten Kuantan Singingi. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Ilmu Sosial dan Ilmu Politik*, **6**(2), 1–12.
  6. Nurohman, H., Bakti, H., Indarto, S., Yuliyanti, A., Abdulah, A. A. K., Permana, H., & Gaffar, E. Z. (2016). Zona permeabel di Kawah Gunung Papandayan berdasarkan gas radon dan thoron. *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, **26**, 131–140.
  7. Saptadji, N. M. (2001). *Teknik panas bumi*. Bandung: Penerbit ITB.
  8. Fitriani, Z. R. & Musa, M. D. T. (2012). Identifikasi jalur patahan dengan metode geolistrik hambatan jenis di wilayah Palu Barat. *Natural Science: Journal of Science and Technology*, **1**(1), 7–16.
  9. Mende, C. & Ferdy, F. (2017). Identifikasi Patahan Manado dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner-Schlumberger di Airmadidi Minahasa Utara. *Jurnal MIPA*, **6**(1), 13–16.
  10. Utiya, J., & Tongkukut, S. H. (2015). Metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger dan konfigurasi dipole-dipole untuk identifikasi Patahan Manado di Kecamatan Paaldua Kota Manado. *Jurnal Ilmiah Sains*, **15**(2), 135–141.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Identify coal distribution based on resistivity values using the Wenner configuration geoelectric method in Petai Village, Singingi Hilir District, Kuantan Singingi Regency

Hijrah Septia Anisa, Usman Malik\*, Krisman Sabar, Sherly Mutiara

Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [usman.malik@lecturer.unri.ac.id](mailto:usman.malik@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Research has been conducted on the distribution of coal using the Wenner configuration electric resistivity method. This research was conducted in Petai Village, Singingi Hilir District, Kuantan Singingi Regency, Riau Province. Data were collected using a resistivity meter. The data obtained are current data and potential differences. Data processing using Res2Dinv software whose result is in the form of resistivity of subsurface 2D images. The resistivity value of rocks on track 1 ranges from 28 – 23,584  $\Omega\text{m}$  with a depth of up to 12.4 meters. The resulting layers on track one include sand, sandstone, and conglomerate rocks. The resistivity values of the second trajectory range from 12.2 – 17,447  $\Omega\text{m}$  with a depth of up to 12.4 meters. The first layer has resistivity values ranging from 12.2 – 97.4  $\Omega\text{m}$  identifying the presence of sand. A second layer with resistivity values ranging from 97.4 – 275  $\Omega\text{m}$  identified the presence of anthracite-grade coal. A third layer with a resistivity value of 776 – 2,191  $\Omega\text{m}$  identified the presence of sandstone. A fourth layer with resistivity values 6,182 – 17,447  $\Omega\text{m}$  identified the presence of conglomerate rocks. The result of the interpretation of tracks one and two is that the distribution of coal is found on the second trajectory with a distribution pattern to the east. The distribution of coal spreads laterally on the trajectory of two research sites.

**Keywords:** Coal; geoelectric; Res2Dinv; resistivity; Wenner configuration

Received 21-07-2023 | Revised 07-12-2023 | Accepted 08-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Batubara merupakan salah satu sumber potensi kenaikan pendapatan asli daerah perekonomian untuk sebuah lingkungan di Desa Petai, Kabupaten Kuantan Singingi Hilir, Kabupaten Singingi Hilir [1]. Batubara adalah bahan mineral yang terdiri dari karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen yang menjadi bahan bakar fosil yang merupakan jenis batuan sedimen yang mudah terbakar. Pembentukannya melalui proses pelapukan dan pembusukan kemudian mengalami proses pematubaraan [2, 3].

Sumber daya alam seperti batubara dapat dimanfaatkan untuk mengakomodasi permintaan di masa yang akan datang [4, 5]. Sehingga untuk mengetahui cadangan batubara yang terdapat di daerah tersebut dapat menggunakan metode geolistrik. Cara kerjanya

yaitu dengan menginjeksikan dua elektroda arus kedalam bumi dan beda potensial kemudian diukur nilai yang diperoleh. Pengukurannya menggunakan konfigurasi Wenner karena memiliki keunggulan dengan sinyal yang kuat sehingga dapat dilakukan pada daerah dengan *noise* yang tinggi dan keakuratan dalam pembacaan tegangan nya baik meskipun jarak antar elektrodanya besar akan tetapi tidak dapat membedakan kehomogenan batuan yang terdapat di permukaan karena meningkatnya jarak elektroda dan hanya dapat mengeksplorasi pada kedalaman 300 – 500 m di bawah permukaan [6, 7].

### TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu kabupaten yang terdapat di Provinsi Riau adalah Kuantan Singingi. Kabupaten Kuantan Singingi secara geografi

beriklim tropis dan terdiri dari dataran rendah dan dataran tinggi. Dataran tinggi yang terdapat di daerah ini cenderung berbukit dengan ketinggian 400 – 800 m di atas permukaan laut yang merupakan bagian dari jajaran Bukit Barisan. Wilayah Kabupaten Kuantan Singingi melintasi dua sungai besar yang diantaranya Sungai Kuantan dan Sungai Singingi. Lokasi daerah penelitian ini terletak di Desa Petai, Kecamatan Singingi Hilir, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau yang terletak diantara koordinat  $0^{\circ}19'7,51''$  LS dan  $101^{\circ}14'12''$  BT.

Batuan padat yang membentuk batu bara merupakan bahan bakar alami yang mudah terbakar. Proses pembentukannya dari endapan organik, terutama limbah tumbuhan dan pembentukannya melalui proses pembatubaraan [2, 8]. Pembentukan batu bara ada dua proses, diantaranya ada proses penggabutan (*peatification*) dan ada proses pembatubaraan (*coalification*). Tahap awal dalam pembentukan batubara adalah tahap penggabutan. Proses perubahan gambut akan terhenti karena proses alam, seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan sedimen, sehingga mengakibatkan tekanan pada lapisan gambut meningkat sehingga mengakibatkan tekanan pada lapisan gambut, dan terjadi kenaikan *temperature* serta penurunan porositas, sehingga terjadi peralihan dari gambut menjadi lignit [9, 10]. Kemudian apabila terjadi peningkatan suhu dan tekanan dalam kurun waktu yang lama, maka lignit akan berubah menjadi batu bara *subbituminous* dan *bituminous* [11, 12].

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner. Penelitian dilaksanakan di Desa Petai, Kecamatan Singingi Hilir, Kabupaten Kuantan Singingi, Provinsi Riau. Pengambilan data geolistrik dilakukan sebanyak dua lintasan. Pengambilan data geolistrik menggunakan alat *resistivity* meter. Perolehan data dari pengukuran di lapangan berupa nilai kuat arus dan beda potensial sedangkan untuk nilai resistivitas dan faktor geometrinya di cari

terlebih dahulu kemudian data diolah dengan menggunakan *software* Res2Dinv yang diperoleh berupa pemodelan 2D. Pengolahan data ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

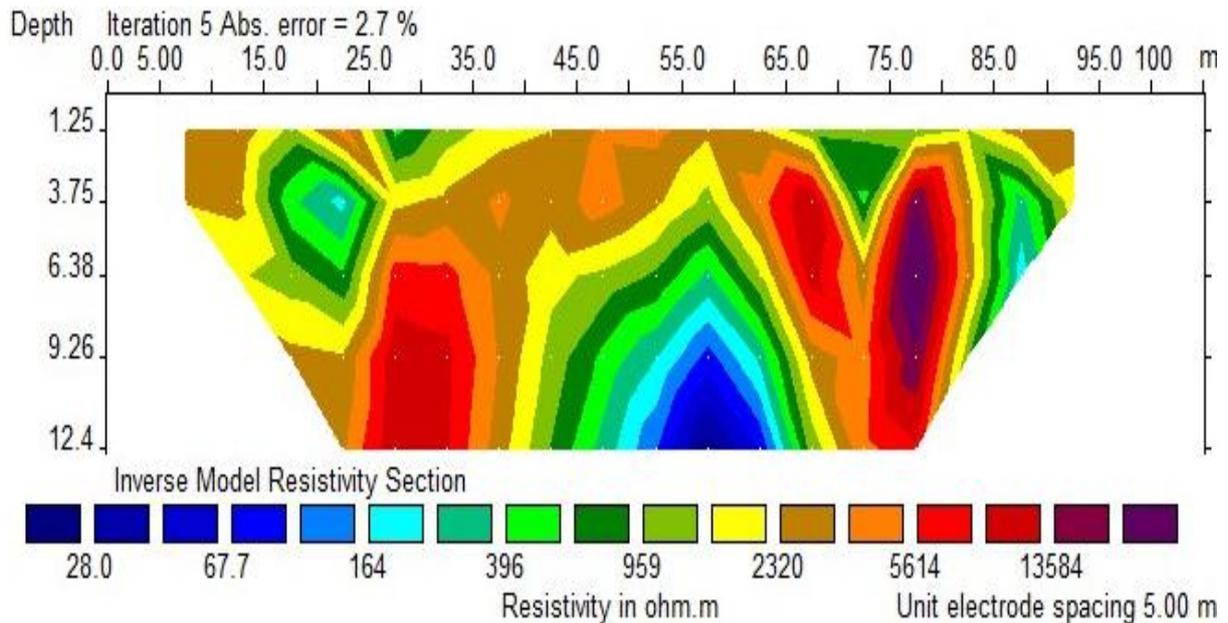
Hasil dari data pengukuran yang di peroleh dari lapangan kemudian diolah dengan menggunakan metode optimasi *least-square non-linear* yang terdapat pada *software* Res2Dinv. Hasil pengolahannya berupa nilai resistivitas dari struktur bawah permukaan secara 2D dengan berbagai citra warna yang berbeda dengan kedalaman yang didapat berdasarkan dengan panjang lintasannya yaitu 100 m, pengukuran yang dilakukan sebanyak 2 lintasan. Metode yang digunakan untuk menginterpretasikan struktur lapisan bawah permukaan serta mengetahui sebaran batu bara dan kedalaman batu bara menggunakan metode geolistrik resistivitas. Penulisan ini berkaitan dengan hasil dan pembahasan dari identifikasi sebaran batu bara, litologi lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai resistivitas yang diperoleh dari *software* Res2Dinv berdasarkan penelitian yang berlokasi di Desa Petai, Kecamatan Singingi Hilir, Kabupaten Kuantan Singingi.

### Interpretasi Lintasan 1

Pengambilan data pada lintasan 1 dilakukan dengan panjang lintasan 100 m dengan spasi elektroda yang bervariasi. Lintasan 1 berada di jalan akses menuju lokasi pertambangan batu bara milik PT. Manunggal Inti Artamas. Lintasan ini membentang dari arah timur ke barat dengan titik koordinat  $0^{\circ}31'18''$  LN dan  $101^{\circ}33'31''$  BT dengan rata-rata ketinggian 212 m di atas permukaan laut. Hasil yang didapatkan dari lintasan 1 dapat dilihat pada Gambar 1 yang diperoleh dari hasil perhitungan dan pengolahan data dengan *software* Res2Dinv untuk metode geolistrik konfigurasi Wenner dan diperoleh nilai *error* sebesar 2,7% dengan

iterasi 5. Perbedaan dari nilai resistivitas digambarkan dengan citra warna yang berbeda. Nilai resistivitas terendah sebesar 28  $\Omega\text{m}$  ditandai dengan warna biru tua sedangkan nilai

resistivitas tertinggi sebesar 13.584  $\Omega\text{m}$  ditandai dengan warna ungu. Model penampang 2D pada lintasan 1 dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Penampang 2D lintasan 1.

Lintasan 1 terdapat berbagai jenis batuan yang didominasi oleh warna biru, biru muda, hijau, *tosca*, kuning, coklat, merah, dan ungu untuk mewakili nilai resistivitas material atau batuan yang terdapat di bawah permukaan. Lapisan pertama ditandai dengan warna biru hingga hijau memiliki nilai resistivitas 28 – 396  $\Omega\text{m}$  yang diidentifikasi kandungan lapisannya adalah pasir. Lapisan kedua ditandai dengan warna hijau hingga kuning memiliki nilai resistivitas 959 – 2.320  $\Omega\text{m}$  yang diidentifikasi kandungan lapisannya adalah batu pasir. Lapisan ketiga ditandai dengan warna merah hingga ungu memiliki nilai resistivitas 5.614–

13.584  $\Omega\text{m}$  diidentifikasi kandungan lapisannya adalah batu konglomerat. Interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan pemodelan yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil interpretasi diperoleh bahwa pada lapisan satu diidentifikasi kandungan lapisannya adalah pasir. Lapisan dua diidentifikasi kandungan lapisannya adalah batu pasir dan lapisan ketiga diidentifikasi kandungan lapisannya adalah batu konglomerat. Gambar 1 terlihat bahwa pada lintasan 1 dengan kedalaman yang terbaca mencapai 12,4 m dan terlihat bahwa tidak ditemukan lapisan batu bara pada setiap lapisan.

**Tabel 1.** Interpretasi litologi pada lintasan 1.

Lapisan	Nilai resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Jenis batuan
1	28.0 – 396	Pasir
2	959 – 2.320	Batu pasir
3	5.614 – 13.584	Batu konglomerat

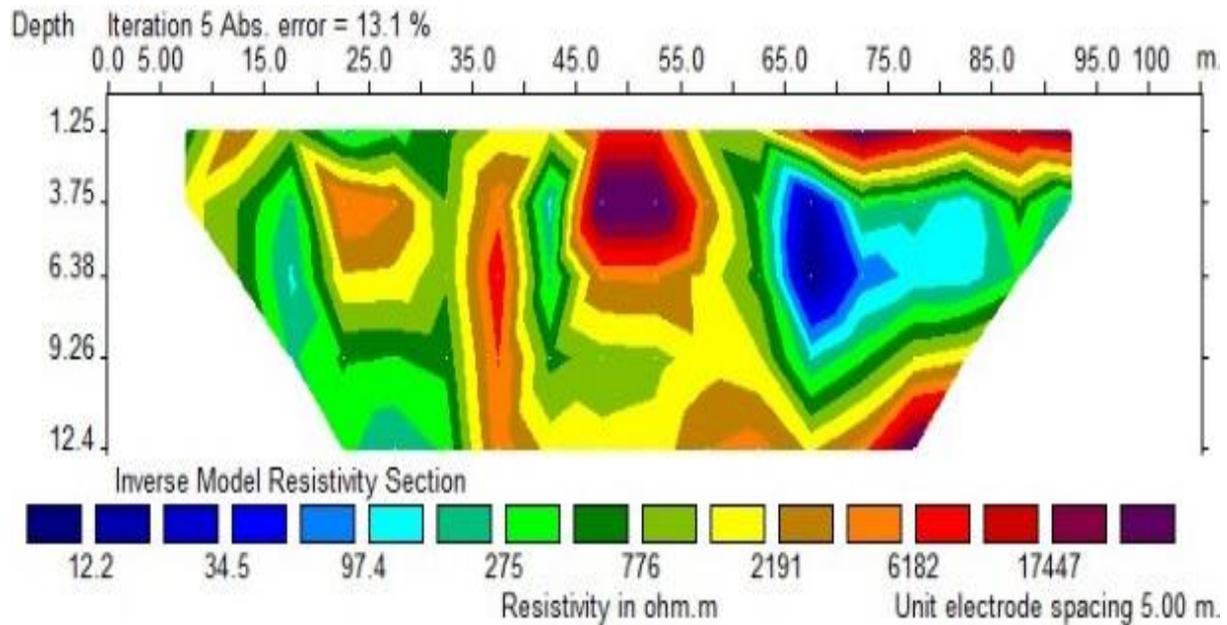
### Interpretasi Lintasan 2

Lintasan 2 menggunakan lintasan sepanjang 100 m. Lokasi lintasan 2 berada di pintu masuk

tempat wisata Pualin *Park* Desa Petai. Lintasan ini membentang dari arah utara ke selatan dengan titik koordinat 0°17'38,29" LS dan 101°13'48,28" BT dengan rata-rata ketinggian

sekitar 224 m di atas permukaan laut. Hasil yang didapatkan dari lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil pengolahan data dengan *software* Res2Dinv untuk metode geolistrik konfigurasi Wenner diperoleh nilai *error* sebesar 13.1% dengan iterasi 5. Kedalaman pola sebaran yang terbaca mencapai 12,4 meter

di bawah permukaan dengan pola sebaran yang tidak menentu. Perbedaan dari nilai resistivitas digambarkan dengan citra warna yang berbeda, dengan rentang nilai resistivitas antara 12,2 – 17.447  $\Omega\text{m}$  berwarna biru tua hingga ungu. Model penampang 2D lintasan 2 dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Penampang 2D lintasan 2.

Gambar 2 merupakan model penampang 2 dimensi resistivitas bawah permukaan lintasan 2. Lintasan 2, terdapat berbagai jenis batuan yang didominasi oleh warna biru, biru muda, hijau, *tosca*, kuning, coklat, merah, dan ungu untuk mewakili nilai resistivitas material atau batuan yang terdapat di bawah permukaan. Lapisan pertama ditandai dengan warna biru pada kedalaman 1,25 – 9,20 m memiliki nilai resistivitas 12,2 – 97,4  $\Omega\text{m}$  yang diidentifikasi kandungan lapisannya adalah material pasir. Lapisan kedua ditandai dengan warna *tosca* hingga hijau terdapat pada kedalaman 3,75– 9,26 m dengan nilai resistivitas 97,4 – 275  $\Omega\text{m}$

yang diidentifikasi kandungan sebarannya adalah batu bara dengan tingkatan trasit. Lapisan ketiga ditandai dengan warna hijau hingga kuning terdapat pada kedalaman 1,25 – 12,4 m dengan nilai resistivitas dari 776 – 2.191  $\Omega\text{m}$  yang diidentifikasi kandungan lapisannya berupa batu pasir. Lapisan keempat berwarna merah hingga ungu pada kedalaman 1,25 – 12,4 m dengan nilai resistivitas 6.182 – 17.447  $\Omega\text{m}$  yang diidentifikasi kandungan lapisannya berupa batu konglomerat. Interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan pemodelan yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

**Tabel 2.** Hasil interpretasi litologi pada lintasan 2.

Lapisan	Nilai resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Jenis batuan
1	12,2 – 97,4	Pasir
2	97,4 – 275	Batu bara ( <i>anthracite</i> )
3	776 – 2.191	Batu pasir
4	6.182 – 17.447	Batu konglomerat

Berdasarkan hasil interpretasi pada Gambar 2 terlihat lapisan batu bara dengan tingkatan trasit yang terdapat di lintasan pada panjang ke 65 – 85 m di kedalaman 1,25 – 9,26 m di bawah permukaan dengan ketebalan dengan kisaran 5 m memiliki nilai resistivitas sebesar 97,4 – 275  $\Omega$ m. Terlihat sebaran batu bara pada lintasan kedua tersebar ke arah timur secara tidak merata di sepanjang lintasannya. Batu bara tingkatan *thracite* merupakan group batu bara yang memiliki kualitas yang cukup baik sehingga dapat digunakan untuk sumber energi pembangkit listrik tenaga uap.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di Desa Petai Kecamatan Singing Hilir Kabupaten Kuantan Singingi diinterpretasikan untuk lintasan 1 nilai resistivitas bawah permukaan berkisar 28 – 13.584  $\Omega$ m dengan kedalaman yang terbaca mencapai 12,4 m dibawah permukaan. Sedangkan untuk lintasan 2 nilai resistivitas bawah permukaan berkisar 12,2 – 17.447  $\Omega$ m dengan kedalaman 12,4 m. Adapun litologi yang terdapat di lokasi penelitian berupa material pasir, batu pasir dan lempung. Berdasarkan hasil interpretasi dari lintasan 1 dan 2 terlihat bahwa lapisan batu bara ditemukan pada lintasan 2 dan lapisan kedua dengan jenis batu bara tingkatan trasit yang terdapat di kedalaman 1,25 – 9,26 m di bawah permukaan dengan ketebalan kisaran 5 m dan nilai resistivitas sebesar 97,4 – 275  $\Omega$ m. Sebaran batu bara pada lintasan 2 tersebar ke arah timur secara tidak merata di sepanjang lintasannya.

## REFERENSI

1. Santoso, E. (2021). *Implementasi Peraturan Bupati Kuantan Singingi Nomor 57 Tahun 2017 Tentang Sistem Informasi Desa di Kabupaten Kuantan Singingi (Studi di Desa Suka Damai Kecamatan Singing Hilir)*. Skripsi Ilmu Pemerintahan, Universitas Islam Riau.
2. Afrari, I. (2016). *Identifikasi limbah batubara pada struktur bawah permukaan tanah dengan menggunakan metode geolistrik*. Skripsi Fisika, Universitas Negeri Semarang.
3. Herlinda, R. N. & Malik, U. (2023). Identifikasi lapisan bawah tanah dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner di area Wisata Air Panas Sungai Pinang Kabupaten Kuantan Singingi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(2), 153–158.
4. Samanlangi, A. I. (2018, March). Coal layer identification using electrical resistivity imaging method in Sinjai area south Sulawesi. *Journal of Physics: Conference Series*, **979**(1), 012048.
5. Mutiara, S., Malik, U., & Anisa, H. S. (2024). Identification of the thickness and depth of coal seams using the Schlumberger configuration geoelectric method in Petai Village, Singingi Hilir District, Kuantan Singingi Regency. *Science, Technology and Communication Journal*, **4**(2).
6. Nurfalaq, A. (2013). *Modul pelatihan geolistrik*. Makasar: Universitas Hasanudin.
7. Pangesti, W. & Muhammad, J. (2024). Determination of underground water quality using geochemical methods in densely populated settlements in Kubang Jaya Village, Siak Hulu District, Kampar Regency. *Science, Technology and Communication Journal*, **4**(2).
8. Noviardi, K. (2021). *Aplikasi metode geolistrik tahanan jenis untuk menentukan resistivitas pasir, batubara, dan lempung berdasarkan miniatur model*. Skripsi Teknik Geofisika, Universitas Jambi.
9. Telford, W. M. (1990). *Applied geophysics second edition*. Cambridge: University Press Cambridge.
10. Suknawati, I. & Malik, U. (2023). Identifikasi intrusi air laut pada akuifer menggunakan metode geolistrik. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 55–60.

11. Saroh, M. & Malik, U. (2023). Identifikasi air laut terhadap air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di Kelurahan Mundam Kota Dumai. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 61–68.
12. Malik, U. & Priandani, A. (2022). Analisis pengaruh intrusi air laut terhadap air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di Kelurahan Tanjung Kapal. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(3), 146–153.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Analysis of temperature patterns in Pekanbaru City using fractals and artificial neural networks based on monthly temperature data

Reynal Nur Razzaq, Defrianto

Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [reynal.nur2335@student.unri.ac.id](mailto:reynal.nur2335@student.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Climate and global warming play a crucial role in the lives of living organisms on Earth. Temperature, varying in each region, is a vital aspect in climate observation. This study analyzed temperature fluctuations in Pekanbaru from 2016 to 2022 using fractal analysis and backpropagation artificial neural networks. The research findings revealed that temperature prediction with backpropagation artificial neural networks was quite accurate. However, errors during testing or validation could impact the comparison with the target values. Fractal analysis indicated a persistent tendency in temperature fluctuations in Pekanbaru, with a Hurst exponent of 0.7993 and a fractal dimension of 1.2007. Nevertheless, temperature fluctuations were also influenced by other factors, leading to varying levels of stability over certain periods. Thus, the temperature in Pekanbaru can be considered a complex system with diverse fluctuation patterns and varying levels of complexity.

**Keywords:** Backpropagation; exponent hurst; fluctuation; fractal dimension

Received 30-07-2023 | Revised 08-12-2023 | Accepted 09-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Pemanasan global telah menjadi salah satu ancaman utama di dunia. Pemanasan global yang disebabkan oleh aktivitas manusia seperti emisi gas rumah kaca, mengakibatkan perubahan suhu [1]. Efek yang ditimbulkan dari pemanasan global seperti naiknya suhu di permukaan bumi, naiknya permukaan laut, dan berubahnya cuaca secara ekstrim di beberapa wilayah di dunia. Berdasarkan dari hasil penelusuran data bencana internasional [2], perubahan iklim yang signifikan akan terjadi di beberapa titik. Hal ini disebabkan oleh faktor alam dan aktivitas manusia yang merusak alam. Cuaca adalah bentuk keadaan atmosfer di suatu daerah setiap hari, dan variasi jangka pendeknya berlangsung dari menit hingga minggu, terutama jika menyangkut kehidupan dan aktivitas manusia. Sebagian besar tempat, cuaca dapat bervariasi dari menit ke menit, jam ke jam, hari ke hari, dan musim ke musim. Iklim adalah rata-rata peristiwa cuaca selama periode waktu yang lama dimana biasanya membutuhkan 30 tahun atau lebih [3].

Iklim adalah cuaca rata-rata di suatu wilayah dan periode waktu tertentu, ditentukan melalui analisis data seperti curah hujan, ketinggian air danau, waduk, dan data satelit. Komponen cuaca meliputi sinar matahari, hujan, awan, angin, hujan es, salju, dan fenomena cuaca lainnya. Sedangkan iklim mencakup faktor seperti hujan, suhu, kelembapan, radiasi matahari, kecepatan angin, dan fenomena cuaca dalam jangka waktu yang lama [4].

Suhu adalah aspek penting dalam pengamatan iklim karena nilainya bervariasi di setiap daerah. Faktor lokal seperti kebakaran hutan dan curah hujan besar juga berpengaruh pada nilai suhu. Perubahan iklim yang terjadi seiring kenaikan atau penurunan suhu akan mempengaruhi kehidupan dan aktivitas di bumi dalam jangka panjang. Indonesia, sebagai negara yang berada di garis khatulistiwa dengan iklim tropis, memiliki dua musim, yaitu musim panas dan musim hujan, yang dipengaruhi oleh berbagai macam sirkulasi atmosfer seperti sirkulasi Walker dan sirkulasi Hadley. Interaksi sirkulasi ini menghasilkan karakteristik khusus pada cuaca dan iklim di Indonesia, meskipun

proses pembentukannya masih belum sepenuhnya dipahami. Indonesia sebagai daerah tropis ekuatorial memiliki variasi suhu yang kecil [5]. Fraktal adalah grafik geometris dengan pola berulang dalam skala yang menurun. Metode analisis fraktal diterapkan dalam geofisika, dan dimensi fraktal yang lebih tinggi menunjukkan perilaku dinamis data yang berbeda dari dimensi yang lebih rendah [6].

Prediksi suhu adalah tugas penting dan menantang dalam meteorologi. Makalah ini meneliti prakiraan cuaca menggunakan dataset historis. Sistem kompleks dan nonlinier dalam pola atmosfer membuat metode tradisional tidak efektif [7]. Penelitian ini mengusulkan menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) dengan berbagai konfigurasi untuk memprediksi suhu selama 365 hari dalam setahun. Penilaian model menggunakan kriteria *mean square error* (MSE). Hasilnya menunjukkan bahwa model dan alur kerja yang diusulkan menghasilkan prediksi suhu yang lebih akurat dengan kompleksitas komputasi yang lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [8].

## TINJAUAN PUSTAKA

### Perubahan Iklim

Perubahan iklim adalah perubahan jangka panjang pada pola cuaca rata-rata di Bumi. Ini meliputi perubahan suhu rata-rata, pola curah hujan, tingkat peningkatan permukaan laut, dan frekuensi kejadian cuaca ekstrem seperti banjir, kekeringan, badai, dan gelombang panas. Perubahan iklim dipengaruhi oleh faktor alamiah dan aktivitas manusia, tetapi dalam beberapa dekade terakhir, aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, deforestasi, dan produksi industri telah menjadi penyebab utama peningkatan gas rumah kaca, yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim yang lebih cepat dari yang pernah terjadi sebelumnya. Perubahan iklim memiliki dampak besar pada lingkungan, ekonomi, kesehatan manusia, dan ekosistem di seluruh dunia [9].

Perubahan iklim dapat menyebabkan anomali suhu, yang merupakan penyimpangan dari kisaran suhu yang diharapkan untuk lokasi dan waktu tertentu dalam setahun. Anomali ini dapat berupa anomali positif (suhu lebih tinggi dari yang diharapkan) atau anomali negatif (suhu lebih rendah dari yang diharapkan). Dampak perubahan iklim terhadap anomali suhu dapat dilihat dari peningkatan frekuensi dan keparahan kejadian cuaca ekstrem, seperti gelombang panas, kekeringan, dan banjir [10].

Adanya anomali perubahan suhu adalah fenomena variabilitas iklim yang terjadi di samudra pasifik wilayah tropis, yang dikenal dengan istilah El Niño dan La Niña. El Niño merupakan anomali positif suhu muka laut, yang dapat menyebabkan kemarau ekstrem. Sementara itu, La Niña adalah anomali negatif suhu muka laut, yang dapat menyebabkan musim hujan berkepanjangan di sebagian besar wilayah Indonesia [11].

### Suhu Udara

Suhu udara adalah derajat dari aktivitas molekul dalam atmosfer yang berupa energi kinetik rata-rata dari pergerakan molekul-molekul. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tinggi rendahnya suhu udara suatu daerah adalah lama penyinaran matahari, sudut pandang sinar matahari, sudut datang sinar matahari, relief permukaan bumi, jumlah awan, dan letak lintang. Untuk menghitung suhu rata-rata suatu tempat di bumi dapat menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$T_x = T_o - \frac{0,6h}{100} \quad (1)$$

Konstanta 0,6°C dan 100 m didapat dari vertikal *gradient* suhu atau *lapse rate*, tiap kenaikan bertambah 100 m maka suhu udara akan berkurang (turun) rata-rata 0,6°C [12].

Suhu udara mengalami fluktuasi signifikan dalam periode 24 jam karena terkait dengan pertukaran energi di atmosfer. Pada siang hari, radiasi matahari diserap oleh gas dan partikel di atmosfer, menyebabkan peningkatan suhu

udara. Suhu maksimum biasanya terjadi setelah puncak intensitas cahaya matahari, yaitu saat tengah hari. Suhu udara rata-rata harian dihitung dari beberapa pengamatan setiap 3 jam sekali, mulai dari tengah malam hingga 8 kali. Suhu maksimum dan minimum diukur menggunakan termometer maksimum dan minimum [13].

### Analisis Fraktal

Pengukuran fraktal digunakan sebagai indikator untuk menguji model dinamis data. Fraktal memiliki bentuk yang mirip dengan dirinya sendiri, dimana setiap bagian dianggap sebagai salinan kecil dari keseluruhan bentuk. Metode *box-counting* dan metode eksponensial. Hurst adalah beberapa metode untuk menghitung dimensi fraktal dari data deret waktu, yang dapat digunakan untuk menganalisis data seperti suhu. Fraktal memiliki dua ciri utama yaitu *self-similarity*, dimana objek tersebut dibangun ulang dengan citra yang semakin mirip dan lebih kecil dari citra aslinya, dan *infinity detail*, dimana bentuk fraktal tampak tak berujung jika diperhatikan. Dimensi fraktal biasanya dinyatakan dalam bilangan pecahan, misalnya dimensi 2,7 atau dimensi 1,5 sebagai cara untuk menggambarkan kompleksitas bentuk fraktal tersebut [14].

### Metode Eksponen Hurst

Metode eksponen Hurst adalah metode yang diperkenalkan pertama kali oleh H. E. Hurst pada Tahun 1951. Metode ini digunakan untuk menganalisis data deret waktu dengan baik. Nilai eksponen Hurst berada dalam rentang antara 0 dan 1, yang digunakan untuk menentukan dimensi fraktal dari data deret waktu sebagai indikator untuk menguji prediktabilitas pola dinamis pada data tersebut [15]. Eksponen Hurst dihitung dengan mempertimbangkan ketergantungan rasio antara panjang jangkauan data (R) terhadap nilai standar deviasi data (S) pada rentang tertentu (n). Data diukur menggunakan metode R/S, dan nilai eksponen Hurst (H) diestimasi dengan

mengplot  $\log(R/S)$  dengan  $\log(n)$ . Berdasarkan nilai H, data deret waktu dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1.  $H = 0.5$ : Data deret waktu bersifat acak.
2.  $0 < H < 0.5$ : Data deret waktu bersifat anti-persistence, yaitu peningkatan atau penurunan nilai data pada waktu tertentu cenderung diikuti oleh penurunan atau peningkatan nilai pada waktu berikutnya.
3.  $0.5 < H < 1$ : Data deret waktu bersifat persistence, yaitu peningkatan atau penurunan nilai data pada waktu tertentu cenderung diikuti oleh peningkatan atau penurunan nilai pada waktu berikutnya.

Hubungan antara nilai eksponen Hurst (H) dengan dimensi fraktal (D) dinyatakan dengan persamaan  $D = 2 - H$ . Jika dimensi fraktal bernilai 1.5, maka proses perubahan nilai data dalam waktu bersifat acak dan tidak dapat diprediksi. Jika nilai dimensi fraktal berada pada rentang 1 – 1,5, proses perubahan data dapat diprediksi. Nilai yang mendekati 1 menunjukkan prediktabilitas yang lebih tinggi. Jika dimensi fraktal berada direntang 1,5 – 2, proses perubahan data bersifat *anti-persistence*, artinya penurunan nilai pada waktu tertentu cenderung diikuti oleh peningkatan nilai pada waktu berikutnya dan sebaliknya [16].

### JST

JST pertama kali dikembangkan oleh Warren McCulloch dan Walter Pitts pada tahun 1943. JST menggunakan banyak neuron sederhana yang dikombinasikan menjadi sebuah sistem syaraf untuk meningkatkan kemampuan komputasi. Setiap neuron memiliki bobot yang disesuaikan sehingga neuron dapat melakukan fungsi logika sederhana. Neuron-neuron ini disusun menjadi sebuah jaringan untuk menghasilkan berbagai macam *output* melalui kombinasi fungsi logika yang berbeda [17]. Meskipun JST secara umum sangat baik untuk pengenalan pola, namun pola cuaca seperti suhu tidak dapat dipelajari dengan mudah karena banyaknya faktor dan aturan yang mempengaruhi suhu di suatu daerah. Meski demikian, penggunaan JST

memungkinkan sistem untuk mempelajari hubungan antara faktor-faktor yang mempengaruhi suhu berdasarkan data historis. JST memiliki kemampuan beradaptasi yang baik dan toleransi kesalahan yang tinggi sehingga cocok untuk digunakan pada data yang bersifat *noisy* [18].

JST memiliki tiga lapisan utama, yaitu lapisan *input*, *hidden*, dan *output*. Ketiga lapisan ini saling terhubung dan memiliki bobot nilai. *Input layer* menangani parameter yang akan digunakan, dan nilai-nilai ini akan dikirim ke lapisan tersembunyi melalui jalur dengan bobot tertentu. Lapisan *input* memiliki *node* sesuai dengan jumlah parameter yang digunakan. *Hidden layer* bertindak sebagai penambahan operasi logika dalam JST. Jumlah *hidden layer* tidak selalu menentukan kinerja jaringan, karena tergantung pada kompleksitas masalah. Masing-masing lapisan memiliki *node* sesuai dengan kebutuhannya. *Output layer* merupakan lapisan yang mengeluarkan hasil akhir dari perhitungan dalam jaringan. Lapisan ini mengeluarkan nilai keluaran yang sesuai dengan tujuan dari perhitungan tersebut [19].

### Metode Backpropagation

Algoritma *backpropagation* adalah metode terbaik untuk menghasilkan *output* dengan lebih sedikit kesalahan. Algoritma ini digunakan untuk analisis prakiraan cuaca selama satu bulan dengan tiga set data. Laporan cuaca harus memberikan pengetahuan yang akurat bagi pengguna, sehingga memberikan data cuaca dengan kesalahan yang lebih sedikit sangat bermanfaat. Meskipun ada banyak cara untuk memprediksi data cuaca, menerapkan metode terbaik seperti *backpropagation* akan memberikan hasil terbaik. *Neural network* memiliki berbagai algoritma seperti *radial basis function networking*, algoritma *neural network* regresi umum, *fuzzy clustering*, dan lain-lain. Namun, *backpropagation* dianggap sebagai algoritma terbaik karena mengurangi jumlah kesalahan. Algoritma *backpropagation* bekerja dengan pendekatan *bottom-up* dan menggunakan proses mundur untuk

menyelesaikan bobot setiap *node* berdasarkan persamaan diferensial. Banyak analisis menyatakan bahwa algoritma *backpropagation* merupakan yang terbaik di antara yang lain dalam hal mengurangi kesalahan [7].

Pelatihan *backpropagation* terdiri dari tiga fase. Fase pertama adalah *feed forward*, dimana pola masukan dihitung maju dari lapisan masukan hingga lapisan keluaran menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan. Fase kedua adalah fase mundur (*backpropagation*), di mana kesalahan antara keluaran jaringan dan target yang diinginkan dihitung. Kesalahan ini dipropagasikan mundur, dimulai dari garis yang menghubungkan langsung dengan unit-unit pada lapisan keluaran. Fase ketiga adalah modifikasi bobot untuk menurunkan kesalahan yang terjadi, dengan cara menyesuaikan bobot berdasarkan perbedaan output dan target yang diinginkan. *Backpropagation* adalah algoritma pembelajaran yang bertujuan untuk memperkecil tingkat *error* dalam jaringan dengan melakukan penyesuaian bobot. Algoritma ini termasuk dalam kategori *multilayer network*, yang merupakan perkembangan dari *single layer network* [20].

### MATLAB

*Matrix laboratory* atau yang biasa dikenal sebagai MATLAB adalah sebuah program yang bertujuan untuk melakukan analisis dan komputasi numerik. Selain itu, MATLAB juga merupakan salah satu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang didasarkan pada konsep matriks. Saat ini, MATLAB telah berkembang menjadi sebuah pemrograman yang menyediakan berbagai fungsi *built-in*, tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya [21].

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode komputasi dengan menggunakan Matlab. Program MATLAB ini untuk menganalisis fraktal temperatur dan JST global

Kota Pekanbaru untuk mengidentifikasi pola pemanasan. Berdasarkan data sekunder yang diambil dari BMKG Kota Pekanbaru. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis suhu bulanan Kota Pekanbaru yaitu:

1. Pengambilan data, data yang diambil merupakan data curah hujan bulanan kota Pekanbaru dari tahun 2016 – 2022.
2. Analisis data, metode yang digunakan untuk menganalisa data dengan metode eksponen Hurst. Berikut langkah-langkahnya:
  - a. Mengukur tingkat keteraturan dari data atau sinyal dengan analisis R/S untuk menentukan eksponen Hurst.
  - b. Membuat plot nilai-nilai  $\log(R/S)$  dengan  $\log(N)$ .
  - c. Membuat persamaan regresi linier sederhana berdasarkan nilai-nilai  $\log(R/S)$  dengan  $\log(N)$ .
  - d. Nilai eksponen Hurst (H) diperoleh berdasarkan kemiringan dari garis regresi yang diaproksimasi. Dimana pada grafik ditunjukkan  $\log(R/S)$  versus  $\log(N)$ .
  - e. Dimensi fraktal didapat sesuai dengan persamaan berikut  $\log(R/S) = (\log(c) + \log(n))H(2)$
3. Analisa JST, berikutnya menggunakan penyelesaian JST dengan metode *backpropagation* hingga menghitung MSE.

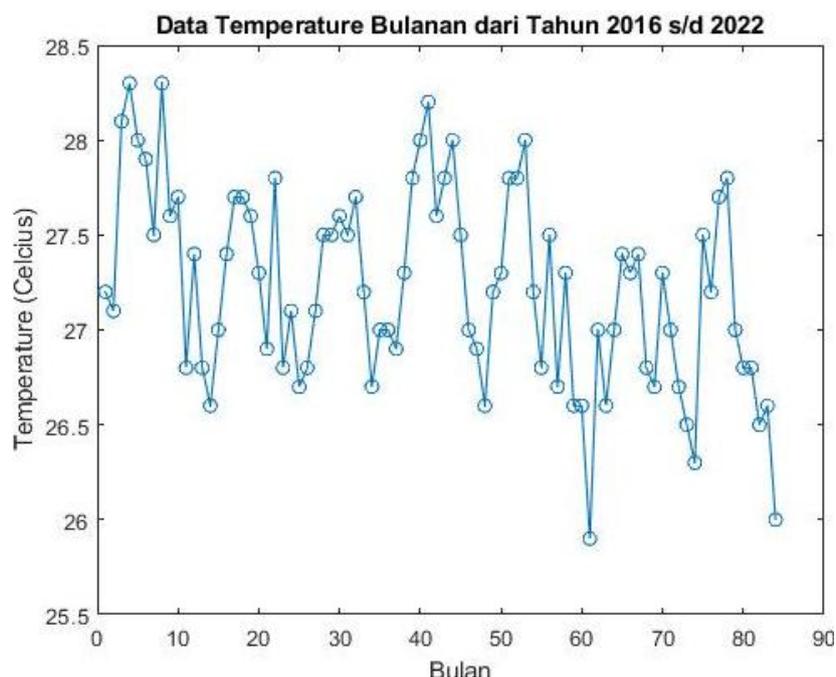
4. Pembuatan program, pembuatan program ini untuk menerapkan metode eksponen Hurst dan *backpropagation* pada studi kasus perubahan pola temperatur menggunakan software Matlab. Hasil dari program ini adalah dimensi fraktal dan bobot nilai dari prediksi *backpropagation* yang berguna untuk identifikasi pola perubahan temperatur.
5. Simulasi program.
6. Analisa hasil dan membuat kesimpulan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian ini berupa analisis data temperatur bulanan Kota Pekanbaru pada interval 7 tahun dari 2016 hingga 2022 yang di dapat dari BMKG Stasiun Meteorologi Sultan Syarifkasim II Kota Pekanbaru.

### Analisis Fraktal Temperatur Tahun 2016 – 2022

Gambar 1 berikut merupakan grafik data temperatur bulanan Kota Pekanbaru tahun 2016 – 2022, dimana data yang diinput memiliki 84 variasi data temperatur yang terjadi tiap bulannya.



**Gambar 1.** Grafik temperatur Kota Pekanbaru tahun 2016 - 2022.

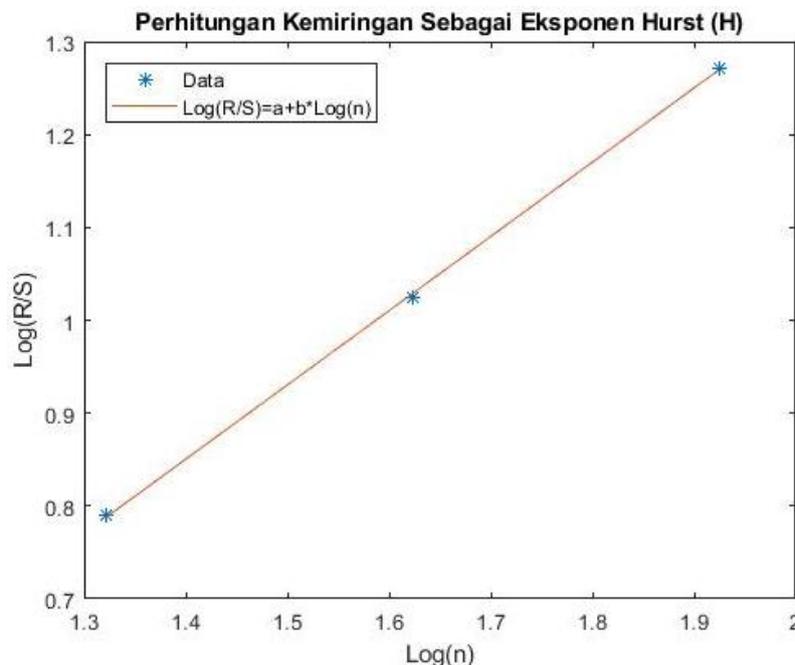
**Tabel 1.** Nilai distribusi nilai log(R/S) terhadap nilai log(n) 3 subinterval.

Interval (n)	log(n)	log(R/S)
84	1,9243	1,2719
42	1,6232	1,0243
21	1,3222	0,7906

Hasil dari pengolahandata temperatur bulanan pekanbaru tahun 2016 – 2022 pada Gambar 1 menghasilkan nilai distribusi nilai log(R/S) terhadap nilai log(n) sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa fluktuasi temperatur selama rentang waktu 2016 sampai 2022 memiliki pola tertentu. Dalam penelitian ini,

digunakan metode eksponen Hurst untuk memahami fluktuasi tersebut. Terdapat tiga subinterval data yang dianalisis, yaitu dengan panjang 84, 42, dan 21.

Hasilnya menunjukkan bahwa fluktuasi temperatur pada subinterval 84 bulan memiliki rentang yang lebih besar dibandingkan dengan standar deviasinya. Ini menandakan adanya kecenderungan fluktuasi yang lebih stabil dan berkelanjutan dalam rentang waktu yang lebih panjang. Sementara itu, pada subinterval yang lebih pendek (42 dan 21 bulan), fluktuasi temperatur cenderung lebih acak dan tidak terlalu stabil.



**Gambar 2.** Grafik perhitungan nilai kemiringan sebagai eksponen Hurst (H) temperatur bulanan Kota Pekanbaru Tahun 2016 – 2022.

Berdasarkan gambar 2 diperoleh persamaan regresi sebagai berikut  $\log R/S = -0,2685 + 0,7993 \log(n)$ . Kemiringan dari garis regresi yang diaproksimasi sebagai nilai H diperoleh sebesar 0,7993. Dimensi fraktal di hitung menggunakan persamaan (2.2) dan nilai yang diperoleh sebesar 1,2007. Hal ini menunjukkan bahwa data temperatur bulanan di Kota Pekanbaru tahun 2016 – 2022 bersifat persistence, dimana meningkat atau menurunnya amplitudo nilai data pada suatu waktu tertentu akan cenderung diikuti oleh data berikutnya.

### Arsitektur Jaringan

Dalam pembuatan JST untuk memprediksi temperatur, arsitektur jaringan yang tepat perlu dikembangkan. Arsitektur ini bertanggung jawab untuk mengambil data masukan, yaitu data temperatur historis, dan menghasilkan prediksi temperatur di masa depan. Dalam program arsitektur jaringan dibangun dengan menggunakan beberapa parameter yang telah ditentukan. Pertama, jumlah input layer ditentukan berdasarkan jumlah fitur yang digunakan. Dalam kasus ini, hanya satu fitur

yang digunakan, yaitu data temperatur bulanan historis, sehingga jumlah input layer adalah 1.

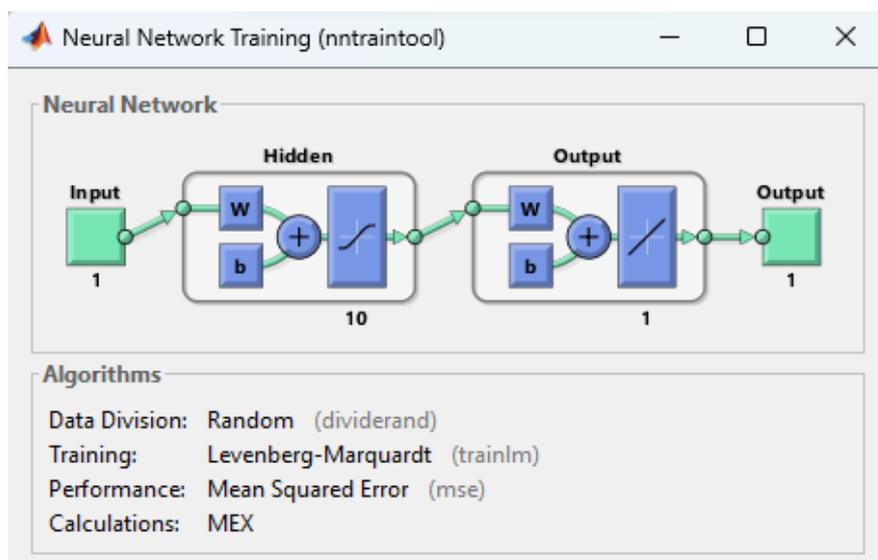
Selanjutnya, jumlah hidden layers dan jumlah neuron dalam setiap hidden layer perlu ditentukan. Pada program sebelumnya, dipilih satu hidden layer dengan 10 neuron, yang sudah disesuaikan sesuai dengan kompleksitas data. Jumlah output layer ditentukan berdasarkan jenis output yang diinginkan. Dalam hal ini, output yang dihasilkan adalah prediksi temperatur di masa depan, sehingga jumlah output layer adalah 1.

Dan fungsi aktivasi juga perlu ditentukan. Fungsi ini digunakan untuk memperkenalkan non-linearitas ke dalam jaringan. Dalam program sebelumnya, tidak ada penentuan fungsi aktivasi yang spesifik, sehingga fungsi aktivasi default pada layer output, dan menggunakan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt ('trainlm'). Dengan menggunakan

parameter-parameter ini arsitektur jaringan dapat dibangun. Setelah selesai, jaringan yang telah dilatih disimpan dalam file 'trained\_network.mat'.

### Pelatihan Jaringan

Untuk mendapatkan JST yang mampu memprediksi temperatur dengan akurat, diperlukan proses pelatihan. Proses pelatihan dilakukan dengan menggunakan data temperatur dari tahun 2016 hingga 2022. Data temperatur tersebut telah dinormalisasi ke rentang [0,1] sebelum digunakan dalam pelatihan. Parameter pelatihan yang digunakan yaitu Hidden layer size 10, Learning rate 0.01 Dan Max epochs 1000. JST yang telah dilatih sebelumnya dimuat dari file Pelatihan JST dapat dilihat pada Gambar 3.

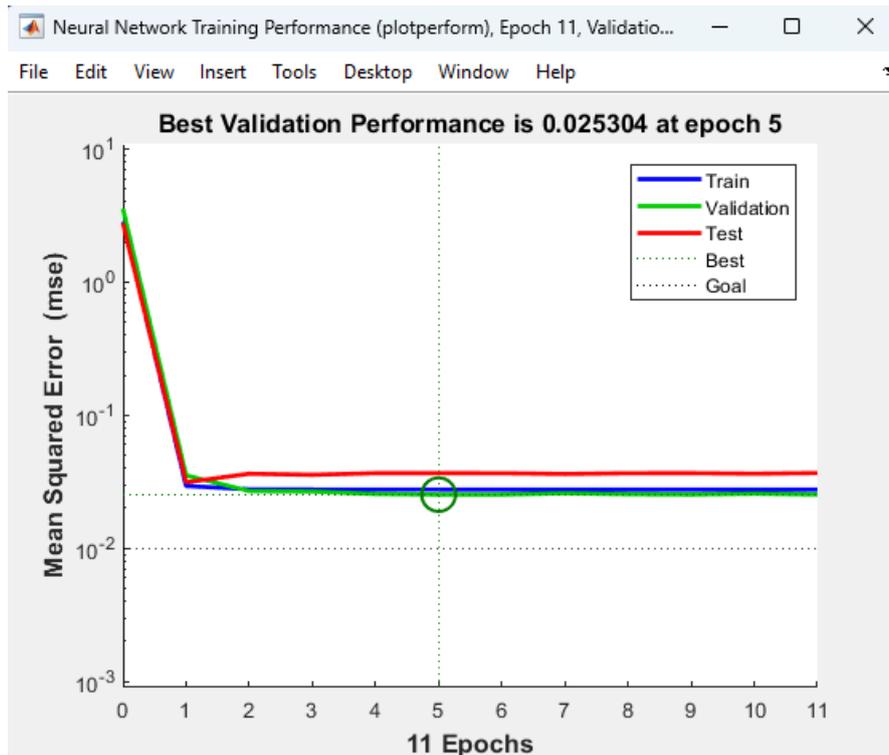


**Gambar 3.** Arsitektur jaringan JST pada program MATLAB.

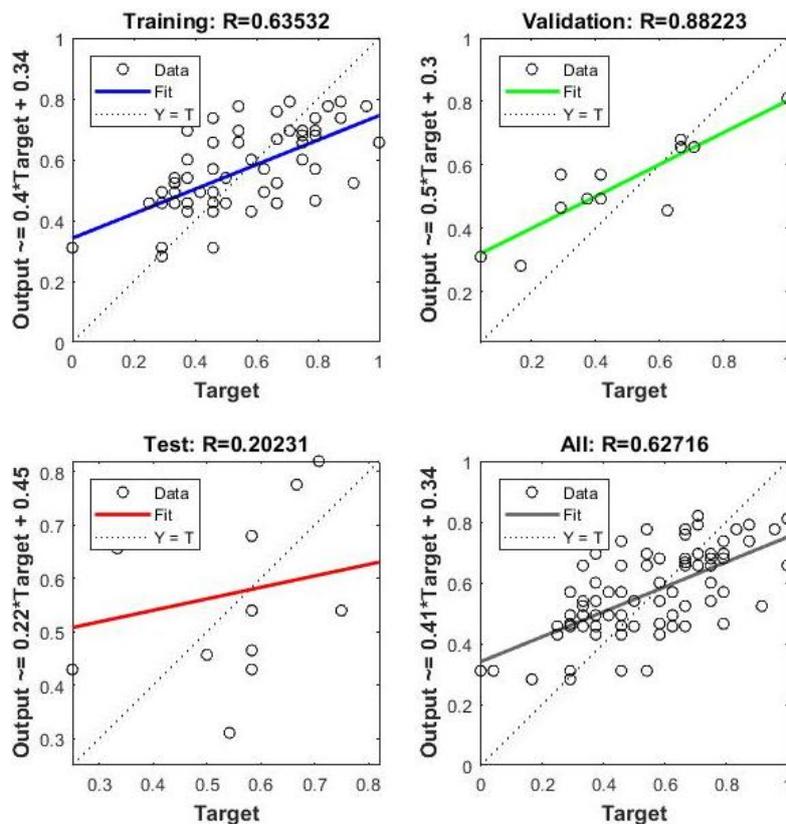
JST tersebut telah mengalami proses pelatihan sebelumnya menggunakan data temperatur yang tersedia, menghasilkan best validation 0.025304 pada epoch ke 5. Grafik fungsi pelatihan dapat dilihat pada Gambar 4.

Pada plot progresi yang dihasilkan dari program sebelumnya, terdapat beberapa garis yang mewakili skor korelasi (R) untuk setiap tahap dalam pelatihan dan pengujian jaringan. Nilai R tersebut menyatakan sejauh mana hasil prediksi dari jaringan mendekati data asli. Pada

garis training dengan  $R = 0,63532$ , nilai R tersebut menunjukkan tingkat korelasi yang cukup baik antara hasil prediksi dan data asli pada data latih. Garis validation dengan  $R = 0,88223$ . Garis *test*  $R = 0,20231$  menunjukkan tingkat korelasi yang lebih rendah pada data uji. Secara keseluruhan, garis all dengan  $R = 0,62716$  mengindikasikan adanya korelasi yang cukup baik antara data pelatihan (target) dan hasil prediksi JST. Namun, masih terdapat variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh JST.



Gambar 4. Grafik kinerja MSE.



Gambar 5. Grafik regression (plotregression) JST.

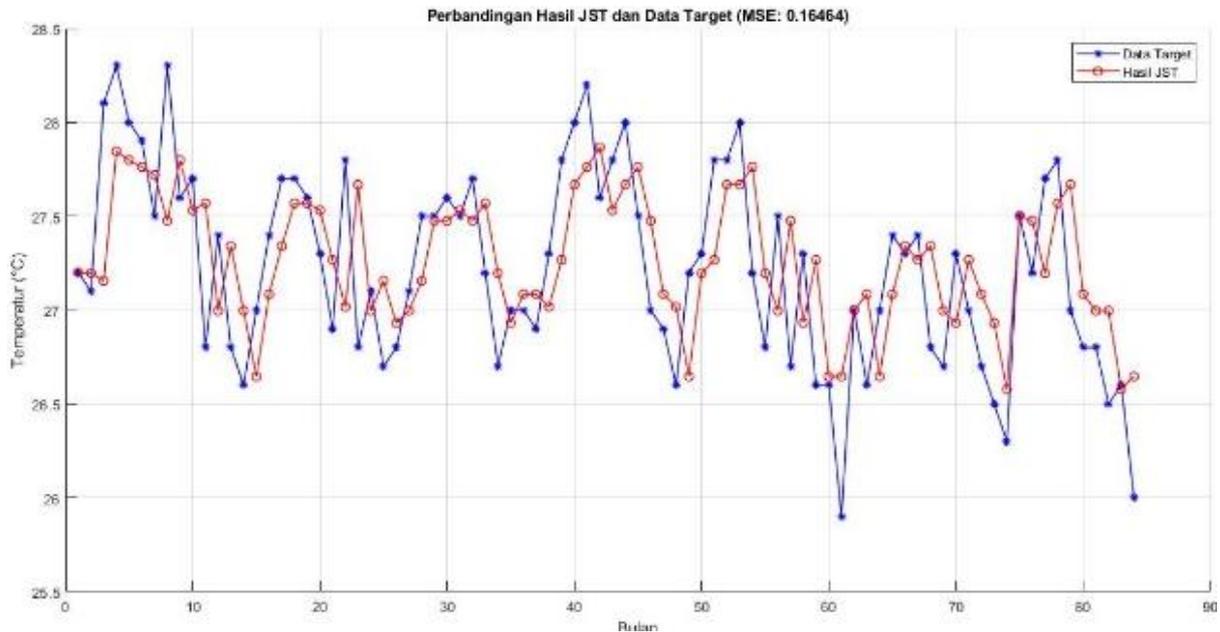
### Pengujian JST

Tahap pengujian pada model JST dilakukan dengan memberikan pola data yang baru. Data

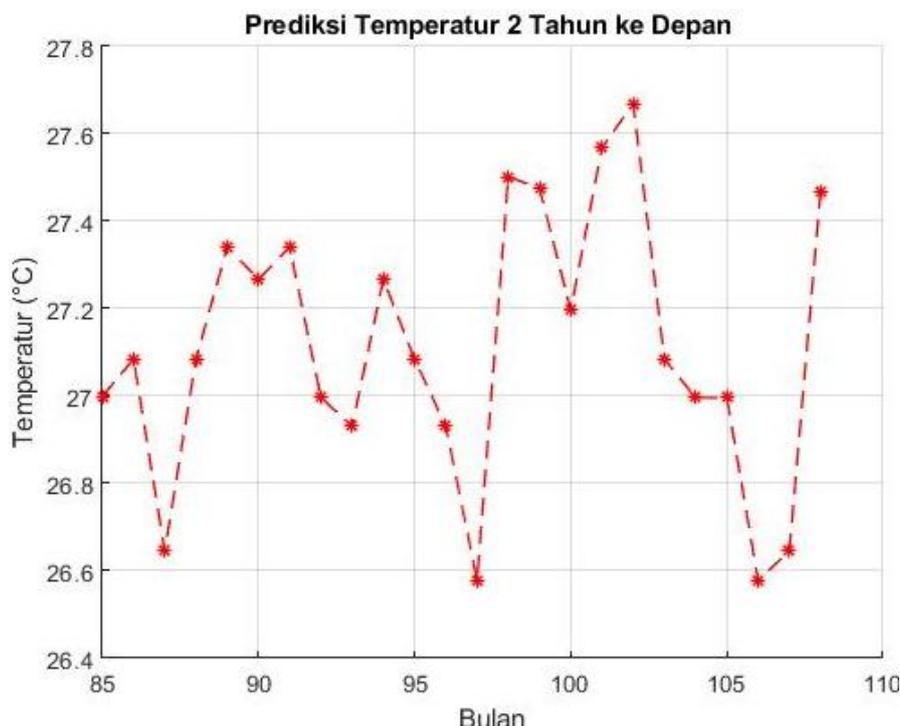
yang dimasukkan ke JST adalah data temperatur tahun 2016 – 2022 sebanyak 84 data sebagai input dan data temperatur tahun 2023 – 2024 sebanyak 24 data sebagai output. Di mana

tahap awal program secara otomatis memisahkan berberapa data sebagai training dan sebagian lagi sebagai target hingga mendapatkan hasil prediksi seperti grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa kedua titik

memiliki posisi berbeda di setiap garis bulan, sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian tidaklah sama dengan data target. Perbedaan nilai di setiap bulan tersebut dideskripsikan pada nilai MSE sebesar 0.16464.



**Gambar 6.** Grafik hubungan data temperatur BMKG dan hasil prediksi JST.



**Gambar 7.** Grafik Hasil prediksi JST.

Selanjutnya, dari program JST tersebut dilanjutkan dengan menjalankan program JST untuk praprediksi temperatur untuk 2 tahun kedepan.

### Pembahasan

Tabel 1 menunjukkan nilai eksponen Hurst data temperatur pada Tahun 2016 – 2022

sebesar 0,7993 ( $D = 1,2007$ ). Hasil ini menunjukkan bahwa pola data temperatur pekanbaru bersifat persistence dimana menunjukkan kecenderungan untuk mempertahankan pola atau tren dalam jangka waktu tertentu, Ketidakselarasan antara grafik keluaran JST dengan nilai target yang sebenarnya dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, prediksi yang dihasilkan oleh JST merupakan estimasi berdasarkan pola dan tren yang terlihat pada data latih. Namun, terdapat faktor-faktor eksternal yang sulit diprediksi sepenuhnya, seperti perubahan iklim yang kompleks atau variabel yang tidak termasuk dalam data latih. Selain itu, keluaran JST juga dipengaruhi oleh tingkat kompleksitas arsitektur JST itu sendiri. Terdapat kemungkinan bahwa arsitektur JST yang digunakan dalam penelitian ini belum sepenuhnya optimal dalam menangkap pola dan tren yang ada dalam data. Faktor lain yang dapat memengaruhi ketidakselarasan adalah kesalahan pengujian atau validasi. Meskipun MSE yang diperoleh sebesar nilai MSE sebesar 0.16464 menunjukkan bahwa JST yang telah dilatih mampu memberikan prediksi temperatur yang cukup akurat, namun masih ada kemungkinan adanya kesalahan dalam proses pengujian atau validasi yang dapat memengaruhi hasil perbandingan antara keluaran JST dan nilai target.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, maka dapat disimpulkan bahwa fluktuasi temperatur di Pekanbaru dari Tahun 2016 – 2022 menunjukkan sifat persistence dengan nilai Eksponen Hurst sebesar 0,7993 dan dimensi fraktal 1,2007 mengindikasikan kecenderungan fluktuasi yang stabil dan berlanjut dengan tingkat kompleksitas yang tinggi. Penggunaan JST dengan algoritma *backpropagation* memberikan hasil prediksi temperatur yang cukup akurat dengan MSE 0,16464. Meskipun begitu, perlu perbaikan untuk menangkap pola dan tren secara lebih optimal. Variabilitas fluktuasi temperatur dipengaruhi oleh faktor-

faktor seperti perubahan iklim, pengaruh geografis, dan variabilitas lokal. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang pola perubahan temperatur di Pekanbaru, pentingnya analisis fraktal dan JST *backpropagation* dalam prediksi cuaca, dan dapat memberikan informasi yang lebih akurat untuk pengambilan keputusan terkait iklim di wilayah tersebut.

## REFERENSI

1. Chen, Y., Li, Y., & Mao, L. (2022). Combining the effects of global warming, land use change and dispersal limitations to predict the future distributions of East Asian Cerris Oaks (*Quercus Section Cerris*, Fagaceae) in China. *Forests*, **13**(3), 367.
2. Boer, R., & Rakiso, P. (2008). Adaptation to climate variability and climate change: Its socio-economic aspect. *Proceeding of Workshop on 'Climate Change: Impacts, Adaptation, and Policy in South East Asia*.
3. Swarinoto, Y. S. (2010). Evaluasi Keandalan Simulasi Informasi Prakiraan Iklim Musiman Menggunakan Metode ROC (Kasus ZOM 126 Denpasar). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **11**(2).
4. Handoko, I., Sugiarto, Y., & Syaukat, Y. (2008). Keterkaitan perubahan iklim dan produksi pangan strategis. Telaah kebijakan independen bidang perdagangan dan pembangunan oleh kemitraan/partnership Indonesia. *SEAMEO BIOTROP*. Bogor, 34–56.
5. Hermawan, E. (2010). Pengelompokan Pola Curah Hujan yang terjadi di beberapa kawasan P. Sumatera berbasis hasil

- analisis teknik spektral. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, **11**(2).
6. Böhm, R., Auer, I., Brunetti, M., Maugeri, M., Nanni, T., & Schöner, W. (2001). Regional temperature variability in the European Alps: 1760–1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, **21**(14), 1779–1801.
  7. Bakhrun, A. (2013). *Perbandingan metode adaline dan backpropagation untuk prediksi jumlah pencari kerja di Jawa Barat*. Doctoral dissertation, Universitas Komputer Indonesia.
  8. Tyagi, H., Suran, S., & Pattanaik, V. (2016). Weather-temperature pattern prediction and anomaly identification using artificial neural network. *International Journal of Computer Applications*, **975**, 8887.
  9. Koutsoyiannis, D. (2021). Rethinking climate, climate change, and their relationship with water. *Water*, **13**(6), 849.
  10. Tamarin-Brodsky, T., Hodges, K., Hoskins, B. J., & Shepherd, T. G. (2019). A dynamical perspective on atmospheric temperature variability and its response to climate change. *Journal of Climate*, **32**(6), 1707–1724.
  11. Hidayat, U., Prasetyo, S., Haryanto, Y. D., & Riama, N. F. (2021). Pengaruh ENSO Terhadap Curah Hujan dan Kelembapan Relatif serta Suhu Permukaan Laut di Sulawesi. *Buletin GAW Bariri (BGB)*, **2**(2), 88–96.
  12. Tjasyono, B. H., & Harijono, S. W. B. (2006). *Meteorologi Indonesia 2: Awan dan Hujan Monsun*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
  13. Zendrato, E. (2010). *Pengukuran kadar gas pencemar nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) di udara sekitar kawasan industri Medan*. Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara.
  14. Thoibah, A., Defrianto, D., & Saktioto, S. (2023). Pemodelan kecepatan aliran darah pada domain menyerupai pembuluh darah dengan *featool multiphysics*. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 19–24.
  15. Tamil, S. S., & Samuel, S. R. (2011). Fractal dimension analysis of northeast monsoon of Tamil Nadu. *Journal of Environmental Research and Technology*, **1**(2), 219–221.
  16. De Vos, J. A., Van Bakel, P. J. T., Hoving, I. E., & Smidt, R. A. (2010). Raising surface water levels in peat areas with dairy farming: Upscaling hydrological, agronomical and economic effects from farm-scale to local scale. *Agricultural Water Management*, **97**(11), 1887–1897.
  17. Puspitaningrum, D. (2006). *Pengantar jaringan syaraf tiruan*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
  18. Priyanta, I. B. G. B., & Astawa, I. G. S. (2014). Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Dalam Prakiraan Hujan Harian Di Daerah Kuta Selatan Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Universitas Udayana*, **7**(1).
  19. Rufiyanti, D. E. (2015). *Implementasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Dengan Input Model Arima Untuk Peramalan Harga Saham*. Semarang:

- Universitas Negeri Semarang.
20. Yunita, Y. (2015). Prediksi Cuaca Menggunakan Metode Neural Network. *Paradigma*, **17**(1), 47–53.
  21. Cahyono, B. (2013). Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam pembelajaran aljabar linier. *Jurnal Phenomenon*, **1**(1), 45–62.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Classification of maturity levels of oil palm fresh fruit bunches using LED-based multispectral imaging methods and principal component analysis

Mohammad Fisal Rabin<sup>1</sup>, Minarni Shiddiq<sup>1\*</sup>, Rahmondia Nanda Setiadi<sup>1</sup>,  
 Ihsan Okta Harmailil<sup>1</sup>, Ramdani<sup>2</sup>, Dedi Permana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [minarni.shiddiq@lecturer.unri.ac.id](mailto:minarni.shiddiq@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Multispectral imaging (MSI) is one of the optical methods used for the classification of fruits and vegetables based on ripeness levels. MSI is simpler than hyperspectral imaging due to fewer wavelength bands used hence less processing time. In this study, MSI is used to classify the ripeness of oil palm fresh fruit bunch (FFB). The MSI system consists of three main components, namely a VIS-NIR camera, a camera lens, an LED array, and a current control unit. The use of the LED array as a light source in the MSI system aims to minimize the use of bandwidth filters. The LEDs used are arranged in a circular pattern with 8 wavelengths, namely 680, 700, 750, 780, 810, 850, 880, and 900 nm. FFB samples were recorded using the MSI system and then processed using Python language to obtain relative reflectance intensity values. The purposes of this research are to analyze the relationship between relative reflectance intensity and wavelength and to classify the ripeness level of oil palm FFB using principal component analysis (PCA). We used two categories of ripeness, unripe and ripe FFBs. The results of the PCA analysis showed that the classification carried out was able to group into two levels of ripenesses with a total variant percentage value for PC1 and PC2 of 90.95%.

**Keywords:** Multispectral imaging; oil palm fresh fruit bunches; PCA analysis; ripeness levels

Received 26-10-2023 | Revised 21-11-2023 | Accepted 02-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Partikel oksida besi telah menjadi subjek penelitian saat ini karena dapat diperoleh dari alam pasir [1]. Oksida ini ada di alam dalam berbagai bentuk. Namun, bentuk yang paling umum adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [2]. Dalam ukuran nanometer, partikel oksida besi memiliki sifat super paramagnetik [3] yang membuat material ini dapat digunakan dalam aplikasi yang lebih luas mulai dari katalis [4] hingga aplikasi biomedis [5, 6] dan lingkungan perbaikan [7].

Metode optik merupakan metode non-destruktif yang menggunakan prinsip interaksi cahaya dan materi. Metode optik sudah banyak digunakan dalam bidang pertanian sebagai sistem untuk mendeteksi sifat dan kualitas dari produk pertanian, dan dikenal sebagai metode yang berguna serta cepat dan mudah [1]. Salah

satu metode optik yang telah dikembangkan yakni metode pencitraan yang memanfaatkan kamera sebagai metode pendeteksi. Metode pencitraan terbagi atas dua yaitu pencitraan computer dan pencitraan spektral.

Pencitraan spektral mulai dikembangkan dalam proses penentuan kualitas makanan dan mendeteksi tingkat kematangan buah-buahan. Pemanfaatan pencitraan spektral dalam mendeteksi kualitas makanan didasarkan pada kemampuan untuk mengambil informasi dalam rentang spektral dan spasial berupa karakteristik eksternal dan internal. Pencitraan spektral merupakan perpaduan antara metode pencitraan komputer dan spektroskopi. Metode pencitraan komputer mengambil informasi di daerah spasial dari suatu objek yang diamati, sedangkan spektroskopi mengekstrak informasi yang berada di wilayah spektral yang diperoleh saat interaksi antara cahaya dan materi [2].

Pencitraan spektral terbagi atas dua yaitu, pencitraan multispektral dan pencitraan hiperspektral. Perbedaan antara pencitraan multispektral dan hiperspektral terletak pada jumlah pita gelombangnya, dimana pencitraan multispektral memiliki pita gelombang yang lebih sedikit dibandingkan pencitraan hiperspektral sehingga memerlukan waktu yang relatif cepat [3].

Sistem pencitraan multispektral memiliki 3 komponen berupa sumber cahaya, *bandwith filter* dan *detector area* berupa kamera CMOS [2]. Sumber cahaya ditembakkan ke materi atau sampel, kemudian cahaya tersebut dipantulkan melewati *bandwith filter* yang kemudian ditangkap oleh kamera. *Bandwith filter* berfungsi saat cahaya melewati maka panjang gelombang yang diinginkan akan diteruskan ke kamera untuk diambil datanya. Citra yang dihasilkan dari pencitraan multispektral berupa data 3 dimensi yang terdiri atas 2 dimensi spasial (sumbu x dan y) dan 1 dimensi spektral ( $\lambda$ ) [4, 5]. Sistem pencitraan multispektral dinilai lebih praktis karena menggunakan rentang spektral yang sempit sehingga membutuhkan waktu akuisi yang relatif singkat dalam proses pengambilan data dan harga yang relatif murah [6, 7].

Sumber cahaya yang digunakan memiliki peranan penting untuk memaksimalkan kinerja dari sistem tersebut karena berdasarkan prinsip interaksi antara cahaya dan materi [8]. Umumnya sumber cahaya yang digunakan yaitu, lampu halogen dan LED. Lampu halogen digunakan karena memiliki rentang panjang gelombang yang lebar antara cahaya tampak (VIS) hingga *near infrared* (NIR), sedangkan untuk LED memiliki panjang gelombang yang diskrit sehingga bisa meminimalisir penggunaan *bandwith filter* [9].

Tingkat kematangan tandan buah segar (TBS) kelapa sawit merupakan faktor utama dalam penentuan kualitas dari minyak sawit yang dihasilkan. Buah sawit yang telah matang yang disebut TBS kelapa sawit memiliki kandungan asam lemak bebas (ALB) yang rendah sehingga kandungan minyak yang dihasilkan cukup tinggi. TBS kelapa sawit yang

matang dan kualitas yang bagus memiliki tingkat ALB < 5% dan kadar minyak > 20% [10]. Proses sortasi dibutuhkan sebagai suatu kegiatan untuk memilah dan mengklasifikasi tingkat kematangan dari buah sawit sehingga mampu menghasilkan kualitas minyak sawit yang terbaik.

Sistem sortasi secara modern mulai dikembangkan untuk mengklasifikasi tingkat kematangan kelapa sawit. Sistem sortasi secara modern diperlukan terutama pada skala industri yang besar sehingga mampu menghasilkan minyak sawit yang berkualitas secara optimal dan mampu mengurangi kelemahan sortasi secara manual. Metode modern yang telah dikembangkan merupakan metode non-destruktif yang tidak merusak kondisi fisik dari buah, diantaranya klasifikasi TBS kelapa sawit menggunakan metode pencitraan hiperspektral [11], prediksi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan jaringan syaraf tiruan [12], klasifikasi TBS kelapa sawit menggunakan sistem pencitraan multispektral [13].

Pada penelitian ini, sistem pencitraan multispektral dibangun dengan lampu LED sebagai sumber cahaya. Tujuan penelitian ini untuk mengklasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit dengan analisa hubungan instensitas reflektansi relatif dan panjang gelombang menggunakan analisa *principal component analysis* (PCA).

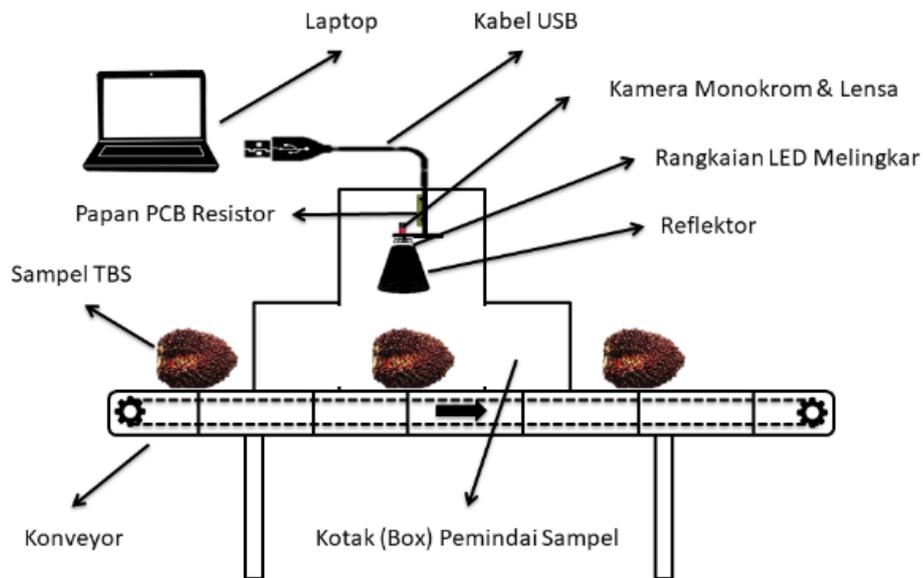
## METODE PENELITIAN

### Skema Penelitian

Sistem pencitraan multispectral (MSI) dirancang dalam sebuah kotak hitam atau box kedap cahaya yang terbuat dari bahan logam yang diwarnai dengan warna hitam sehingga dapat mengisolasi sistem dari cahaya luar agar cahaya yang berada di dalam sistem hanya berasal dari sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini. Sumber cahaya yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan LED. LED, lensa, dan kamera CMOS monokrom disusun sejajar dengan sampel TBS kelapa sawit, Skema sistem

pencitraan multispektral ditunjukkan pada Gambar 1. Kamera CMOS yang digunakan dalam sistem MSI adalah kamera CMOS monokrom 8 bit dari Sentech dengan tipe STC-

MBCM401U3V, lensa yang digunakan untuk memudahkan dalam menghasilkan gambar berdasarkan FOV yang diinginkan yakni lensa Navitar 1.4/12 mm.

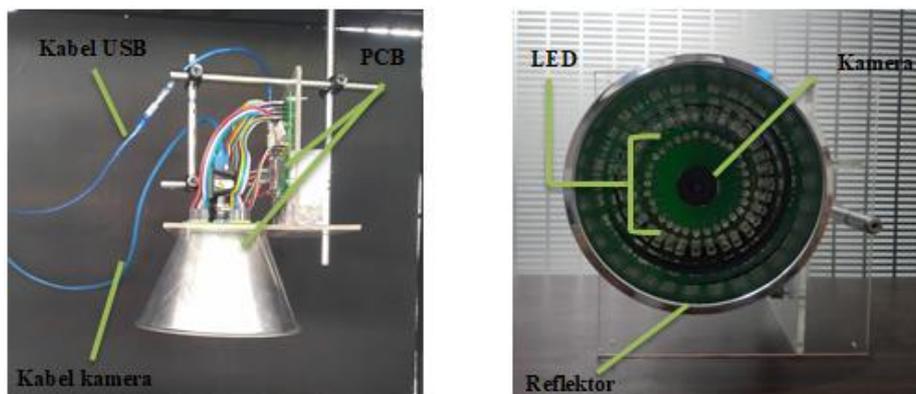


**Gambar 1.** Skema sistem pencitraan multispektral.

Penelitian ini menggunakan LED dengan 8 panjang gelombang yang berbeda yaitu 680, 700, 750, 780, 810, 850, 880, dan 900 nm. LED yang digunakan berasal dari Roithner Lasertechnik GmbH, dengan ukuran 5 mm epoxy, dan maksimum arus 45 mA. LED disusun melingkar (berbentuk donat) dengan masing-masing panjang gelombang berjumlah 4 pcs untuk memastikan sinar yang digunakan simetris, sehingga total LED yang digunakan sebanyak 32 pcs.

Komponen selanjutnya yang berfungsi untuk mengatur dan menghasilkan arus pada LED yakni Arduino Uno yang juga

mengontrol pencahayaan pada LED. LED yang telah disiapkan disusun berdasarkan rangkaian pada papan sirkuit (PCB) yang telah didesain. Penggunaan LED sebagai sumber cahaya juga berfungsi untuk menggantikan *bandwidth filter* sebagai pendispersi panjang gelombang. Arduino selanjutnya dihubungkan ke PC (*personal computer*) yang telah dipasang program Python untuk mengatur dan mengendalikan LED serta mengendalikan proses akuisisi citra dan untuk mengolah data citra yang telah direkam. Sistem optik pencitraan multispektral berbasis LED bisa dilihat pada Gambar 2.

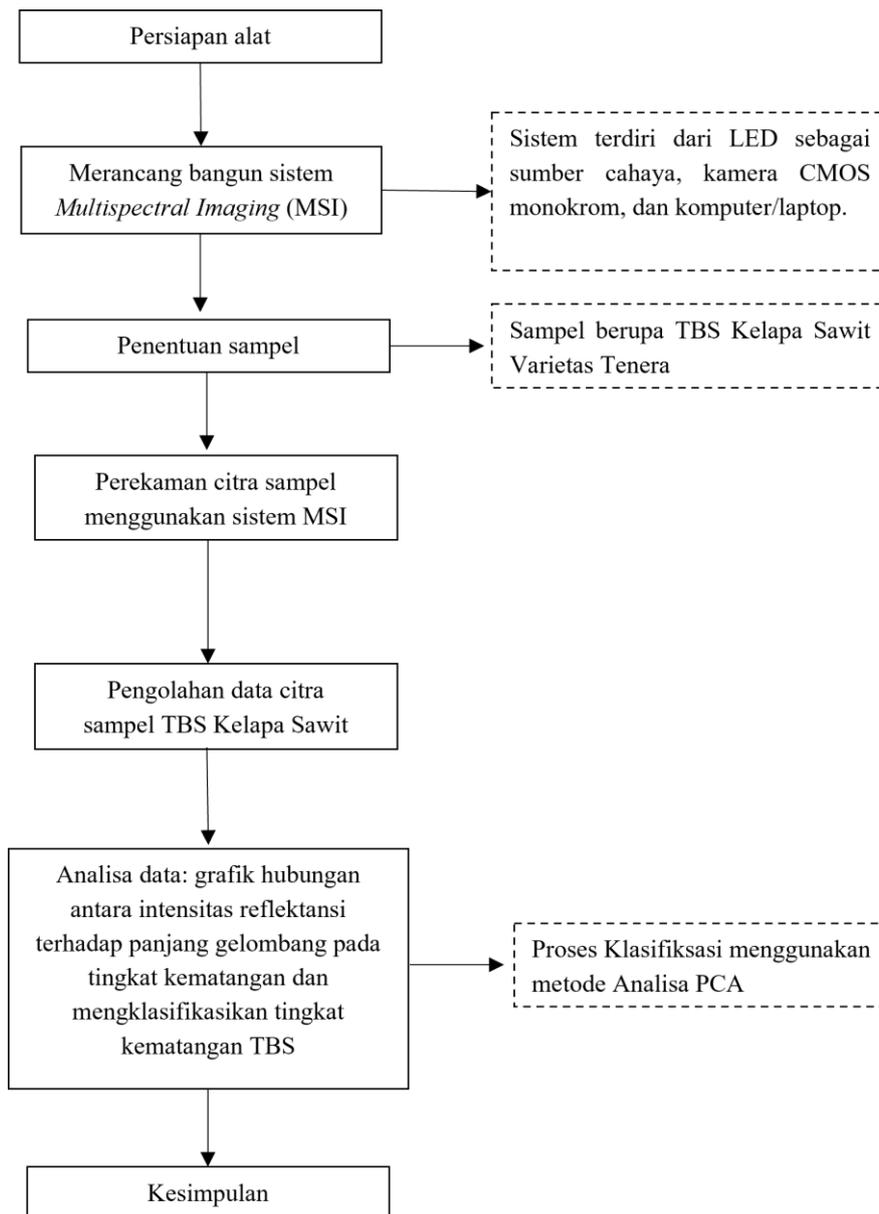


**Gambar 2.** Sistem optik pencitraan multispektral berbasis LED.

## Prosedur Penelitian

Gambar 3 merupakan diagram alir dari penelitian yang dilakukan. Sistem pencitraan multispektral dibangun dengan menyusun komponen optik yang digunakan seperti kamera, lensa, LED sebagai sumber cahaya, dan beberapa komponen pendukung seperti Arduino untuk mengontrol LED dan akuisisi

serta laptop. Komponen tersebut disusun dalam kerangka akrilik yang selanjutnya diletakkan di dalam kotak isolasi berwarna hitam dengan posisi sejajar dengan dasar tempat meletakkan sampel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Langkah berikutnya menyiapkan sampel berupa (TBS) kelapa sawit dengan 2 tingkat kematangan yang dipilih oleh mandor yang berpengalaman.



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian.

Sampel yang telah dipersiapkan selanjutnya dilakukan perekaman citra putih dengan nilai reflektansi 99% dan citra hitam dengan reflektansi 0%, lalu dilakukan perekaman citra sampel yang telah dipersiapkan. Setelah semua

citra selesai direkam dilakukan pengolahan data menggunakan bahasa pemrograman Python dan menganalisa serta mengklasifikasi tingkat kematangan dari TBS kelapa sawit.

## Akuisisi dan Pengolahan Data Multispektral

Sampel berupa TBS kelapa sawit diletakkan pada konveyor dan disinari oleh LED. Cahaya LED diarahkan untuk mengenai bagian tengah TBS kelapa sawit. Cahaya yang mengenai permukaan TBS akan mengalami reflektansi atau pemantulan menuju lensa untuk difokuskan. LED, lensa, dan kamera CMOS monokrom diletakkan sejajar di atas sampel. proses akuisisi citra menggunakan program python, dimana lampu LED yang dikontrol melalui Arduino dibuat hidup secara bergantian antar panjang gelombang. Setiap LED yang hidup program akuisisi secara otomatis menangkap gambar dan disimpandengan waktu yang dibutuhkan untuk menangkap 8 citra yang mewakili 8 panjang gelombang yaitu 4 detik. Citra TBS yang telah direkam selanjutnya diolah menggunakan program berbasis python.

Pengolahan data citra menggunakan Python dimulai dari menginput citra TBS kelapa sawit yang sebelumnya telah direkam. Citra yang telah diinput kemudian dicari intensitas koreksi dari setiap piksel citra dengan rumus (1):

$$I_r = \frac{I_{raw} - I_{dark}}{I_{white} - I_{dark}} \quad (1)$$

dimana  $I_r$  adalah citra multispektral yang telah dikoreksi dari sampel,  $I_{raw}$  adalah citra yang belum diolah dari sampel,  $I_{white}$  adalah citra referensi putih dengan reflektansi 99% yang diperoleh dari panel putih, dan  $I_{dark}$  adalah citra referensi gelap dengan reflektansi 0% yang diperoleh ketika sumber cahaya dimatikan dan lensa kamera ditutup.

Citra yang telah dikoreksi selanjutnya diambil daerah *region of interest* (ROI) untuk menentukan parameter yang diukur. Intensitas koreksi yang telah diolah selanjutnya dihitung nilai rata-rata intensitas relatif dari daerah ROI tersebut yang mempresentasikan nilai dari intensitas relatif rata-rata untuk tiap panjang gelombang. Hasil dari keluaran tersebut didapat hubungan antara intensitas reflektansi dengan panjang gelombang TBS kelapa sawit.

## Analisa Data

Data yang telah diolah akan didapat nilai dari intensitas reflektansi relatif, kemudian akan dianalisa hubungan antara intensitas reflektansi dengan panjang gelombang yang digunakan. Proses klasifikasi tingkat kematangan menggunakan analisa PCA, dimana analisa PCA merupakan metode analisa data yang berfungsi mereduksi sejumlah variable-variabel besar yang memiliki korelasi antar variable menjadi variable yang kecil yang disebut komponen utama (PC) tanpa mengurangi informasi dari variable tersebut. Analisa PCA untuk klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan bahasa program Python.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hubungan Intensitas Reflektansi Relatif dan Panjang Gelombang LED

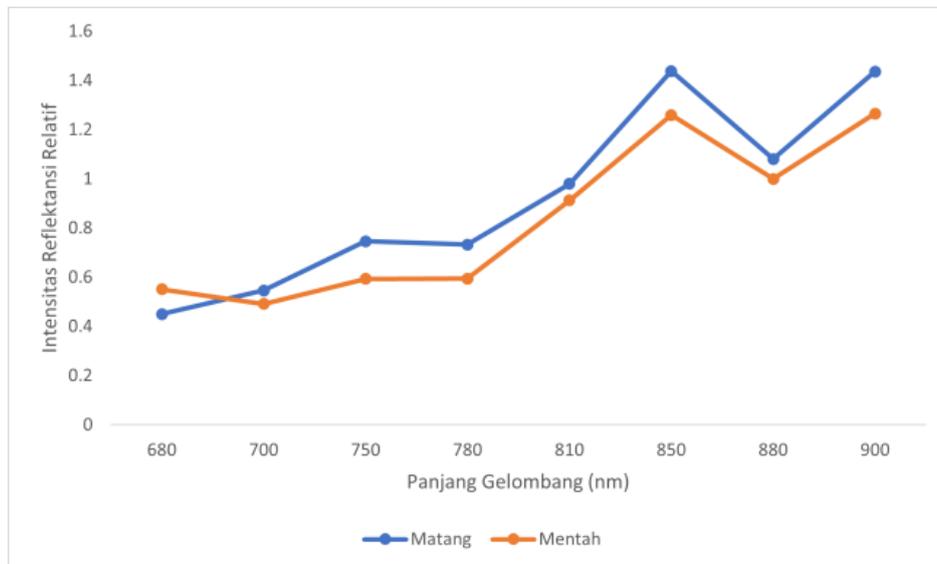
Gambar 4 menunjukkan hubungan antara intensitas reflektansi dan panjang gelombang LED yang digunakan, grafik yang ditunjukkan untuk masing-masing panjang gelombang merupakan nilai intensitas rata-rata dari total 80 dataset untuk masing-masing tingkat kematangan. Berdasarkan Gambar 4 pada panjang gelombang 680 nm intensitas reflektansi relatif kategori mentah lebih tinggi dibandingkan kategori matang disebabkan oleh penyerapan dari klorofil, semakin matang maka kandungan klorofil akan semakin menurun. Panjang gelombang 700 – 900 nm menunjukkan intensitas reflektansi relatif untuk TBS yang matang lebih tinggi dibandingkan TBS yang mentah, spektrum panjang gelombang 700 – 900 nm berada di daerah inframerah dimana daerah spektrum ini mampu berinteraksi pada materi di tingkat molekul dan hal ini juga disebabkan kandungan antosianin pada TBS yang matang lebih tinggi dari pada TBS mentah [11, 14, 15]. Penentuan tingkat kematangan oleh mandor tidak hanya melihat dari kulit buah namun juga dari daging buah, sehingga meskipun kulit buah berwarna merah

bisa kemungkinan terjadi jika daging buah masih berwarna kuning jahe akan dikategorikan mentah.

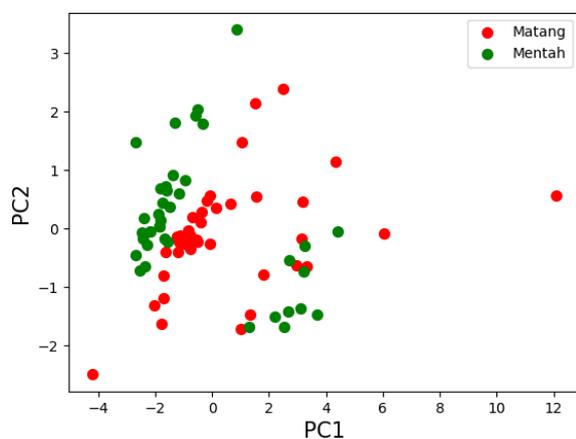
### Klasifikasi Tingkat Kematangan Menggunakan Analisa PCA

Proses klasifikasi dilakukan untuk membedakan kategori tingkat kematangan pada buah kelapa sawit. Tingkat kematangan diklasifikasikan menggunakan analisa PCA. Proses klasifikasi ini dilakukan menggunakan dataset dengan daerah ROI yang bertujuan untuk membandingkan nilai dari hubungan antara panjang gelombang dan intensitas reflektansi yang berbeda. Gambar 5 menunjukkan pengelompokan dua tingkat

kematangan dari TBS kelapa sawit menggunakan analisis PCA dimana data yang dianalisa merupakan hubungan antara intensitas reflektansi dan panjang gelombang. Klasifikasi yang dihasilkan terdiri dari 80 dataset dari 2 tingkat kematangan. Berdasarkan Gambar 5. Terlihat bahwa pengelompokan tingkat kematangan cukup baik, dimana kategori matang terletak di daerah sumbu x positif dan kategori mentah terletak di sumbu x negatif, pola klasifikasi terlihat sama dengan yang ditunjukkan oleh Junkwon *et al.* (2009) [16]. Persentase varian untuk PC1 atau komponen utama yang pertama sebesar 77,86 % dan persentase varian untuk PC2 atau komponen utama yang kedua sebesar 13,09 % dengan total persentase varians kumulatif yakni 90,95 %.



**Gambar 4.** Hubungan intensitas reflektansi terhadap panjang gelombang berdasarkan dua tingkat kematangan TBS kelapa sawit.



**Gambar 5.** Klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit menggunakan PCA.

Pengelompokan terlihat berdekatan antara matang dan mentah hal ini disebabkan nilai intensitas yang dimiliki tiap data hampir sama untuk panjang gelombang tertentu, hal ini juga disebabkan karena penentuan kematangan sebelumnya berdasarkan warna dari eksocarp buah sawit, jika warna permukaan buah (eksocarp) berwarna hitam keunguan/gelap maka kategori mentah, jika warna permukaan/eksocarp merah/jingga maka kategori matang, sedangkan saat ini penentuan tingkat kematangan berdasarkan penentuan dari

mandor yang melihat dari jumlah berondolan yang jatuh dan dari warna mesocarp/daging buah. Jika warna dari daging buah (mesocarp) berwarna jingga maka buah sudah dikategorikan matang meskipun kulit atau permukaan buah (eksocarp) masih berwarna gelap. Begitupun sebaliknya jika warna daging (mesocarp) masih berwarna kuning kunyit meskipun warna kulit (eksocarp) berwarna kemerahan maka akan dikategorikan mentah.

## KESIMPULAN

Sistem pencitraan multispektral yang telah dibuat digunakan dalam penelitian klasifikasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit, proses karakteristik yang dilakukan menunjukkan bahwa LED yang digunakan telah cukup baik, namun perlu rentang yang lebih lebar untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Sistem multispektral beroperasi dengan rentang panjang gelombang dari 680 nm hingga 900 nm dan menghasilkan 8 citra dengan interval 4 detik. Intensitas reflektansi relatif untuk kategori matang terlihat lebih tinggi dibandingkan kategori mentah disebabkan oleh sifat dari TBS kelapa sawit tersebut.

## REFERENSI

1. Abasi, S., Minaei, S., Jamshidi, B., & Fathi, D. (2018). Dedicated non-destructive devices for food quality measurement: A review. *Trends in Food Science & Technology*, **78**, 197–205.
2. Tan, J. Y., Ker, P. J., Lau, K. Y., Hannan, M. A., & Tang, S. G. H. (2019). Applications of photonics in agriculture sector: A review. *Molecules*, **24**(10), 2025.
3. El-Rahman, S. A. (2016). Big data analysis: hyperspectral image processing for agriculture applications. *International Journal of Computing and Digital Systems*, **5**(04).
4. Dong, X., Jakobi, M., Wang, S., Köhler, M. H., Zhang, X., & Koch, A. W. (2019). A review of hyperspectral imaging for nanoscale materials research. *Applied Spectroscopy Reviews*, **54**(4), 285–305.
5. Fu, X. & Chen, J. (2019). A review of hyperspectral imaging for chicken meat safety and quality evaluation: application, hardware, and software. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, **18**(2), 535–547.
6. ElMasry, G., Mandour, N., Al-Rejaie, S., Belin, E., & Rousseau, D. (2019). Recent applications of multispectral imaging in seed phenotyping and quality monitoring—An overview. *Sensors*, **19**(5), 1090.
7. Sendin, K., Manley, M., & Williams, P. J. (2018). Classification of white maize defects with multispectral imaging. *Food Chemistry*, **243**, 311–318.
8. Amigo, J. M. & Grassi, S. (2019). Configuration of hyperspectral and multispectral imaging systems. *Data Handling in Science and Technology*, **32**, 17–34.
9. Khan, Z. (2014). Hyperspectral imaging and analysis for sparse reconstruction and recognition. *arXiv preprint arXiv:1407.7686*.
10. MMohd. Hudzari Razali, M. H. R., Abdul Ssomad, M. A. H., & Syazili Roslan, S. R. (2012). A review on crop plant production and ripeness forecasting. *Int. J Agric. Crop Sci.*, **4**(2).
11. Bensaheed, O. M., Shariff, A. M., Mahmud, A. B., Shafri, H., & Alfatni, M. (2014). Oil palm fruit grading using a hyperspectral device and machine learning algorithm. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **20**(1), 012017.
12. Yap, X. Y., Chia, K. S., Rahman, H. A., & Teh, V. (2019). A non-destructive oil palm fruit freshness prediction system with artificial neural network. *International Journal of Integrated Engineering*, **11**(8), 159–163.
13. Setiawan, A. W., & Prasetya, O. E. (2020, February). Palm oil fresh fruit bunch grading system using multispectral image analysis in HSV. *2020 IEEE International*

- Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)*, 85–88.
14. Liu, C., Liu, W., Lu, X., Ma, F., Chen, W., Yang, J., & Zheng, L. (2014). Application of multispectral imaging to determine quality attributes and ripeness stage in strawberry fruit. *PLoS One*, **9**(2), e87818.
  15. Ningsih, S. A., Shiddiq, M., Arief, D. S., & Husein, I. R. (2020). Penggunaan pencitraan multispektral pada panjang gelombang 520 nm dan 800 nm untuk mengevaluasi tingkat kematangan TBS kelapa sawit. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 144–149.
  16. Junkwon, P., Takigawa, T., Okamoto, H., Hasegawa, H., Koike, M., Sakai, K., ... & Bahalayodhin, B. (2009). Potential application of color and hyperspectral images for estimation of weight and ripeness of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq. var. *tenera*). *Agricultural Information Research*, **18**(2), 72–81.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## Potential of palm frond waste as a basic material for making porous activated carbon

Novi Yanti<sup>1</sup>, Pharada Kresna<sup>2</sup>, Muhammad Nasir<sup>3</sup>, Rakhmawati Farma<sup>1</sup>,  
Lilik Tri Hardanto<sup>4</sup>, Rika Taslim<sup>5</sup>, Erman Taer<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>2</sup>State Junior High School, SMPN 1 Tapung Hulu, Tapung Hulu 28465, Indonesia

<sup>3</sup>Department of Physics Education, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

<sup>4</sup>Aspen Technology, AspenTech, Jakarta 12190, Indonesia

<sup>5</sup>Department of Industrial Engineering, UIN Sultan Syarif Kasim, Pekanbaru 28293, Indonesia

\*Corresponding author: [erman.taer@lecturer.unri.ac.id](mailto:erman.taer@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Palm frond waste (*Elaeis guineensis Jacq.*) has been successfully processed as a raw material in the manufacture of porous activated carbon through the development of tools and methods. Preparation of raw materials, drying, pre-carbonization using an energy-efficient furnace, washing, integrated pyrolysis (N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O), neutralization, and conversion of carbon powder into monolith coins are the general steps for making porous activated carbon. The focus of this research lies in increasing the production of activated carbon from a laboratory scale to an industrial scale through efficiency in all aspects of production. Precarbonization and pyrolysis are important stages in increasing the scale of activated carbon production. Currently, the conversion of biomass waste into carbon is still on a laboratory scale, namely by using an electric oven which is not time efficient, not economical and not energy efficient. Increasing the scale of pre-carbonization is carried out by replacing the use of electric ovens with modified energy-saving furnaces that can increase carbon production up to 74% in a very efficient time. Furthermore, the physical activation stage (pyrolysis) is carried out in a water vapor (H<sub>2</sub>O) environment and without the addition of chemicals as activating agents, of course it is more economical and environmentally friendly. This scale-up is the main key in the development of porous carbon which has high potential for application as a component in energy storage devices, namely electrodes in supercapacitors. Through these results it is known that the fronds of palm leaves have great potential as a basic material for making sustainable activated carbon to be forwarded to an industrial scale.

**Keywords:** Palm fronds; porous activated carbon; production efficiency; production scale

Received 26-10-2023 | Revised 07-11-2023 | Accepted 21-12-2023 | Published 31-03-2024

### PENDAHULUAN

Akhir-akhir ini, material karbon aktif yang diaplikasikan pada berbagai komponen piranti elektronik karena memiliki geometri unik telah menjadi menarik. Hal ini karena karbon aktif memiliki stabilitas termal dan konduktivitas elektrokimia yang sangat luar biasa [1, 2]. Material karbon aktif dengan struktur pori morfologi unik menjadi sangat menjanjikan karena tersusun dari struktur mikro superior dengan porositas yang dapat diatur dan kinerja elektrokimia yang baik [3, 4]. Produksi karbon aktif dengan struktur pori melimpah telah dilakukan melalui pendekatan yang sederhana

dalam tahap percobaan. Prakarbonisasi dan pirolisis merupakan tahapan yang dapat ditingkatkan sehingga proses pembuatan elektroda superkapasitor menjadi lebih efisien dan hemat energi [5, 6].

*Up-scaling* prakarbonisasi dilakukan dengan mengganti penggunaan oven listrik menjadi tanur hemat energi. Prakarbonisasi menggunakan tanur dapat memaksimalkan produksi karbon hingga 200 kali lebih banyak dibanding penggunaan oven listrik. Pada tahap pirolisis terintegrasi satu tahap, scale up dilakukan dengan mengganti serapan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi uap air (H<sub>2</sub>O) untuk membuka struktur pori karbon saat

proses aktivasi fisika yang menghemat biaya dan ramah lingkungan [7]. Selain itu, untuk mendapatkan kinerja elektrokimia yang seragam dari karbon aktif *low-cost* ini, dilakukan penghilangan metode aktivasi kimia yang kurang efisien. Berdasarkan penelitian sebelumnya, karbon aktif berpori dapat dihasilkan melalui metode yang lebih kompleks dari bahan dasar limbah biomassa untuk diaplikasikan pada komponen piranti penyimpanan energi, pemurnian air, dan penyerapan gas CO<sub>2</sub> [8, 9]. Pemilihan biomassa sebagai pertimbangan permasalahan global dalam pengembangan karbon aktif yang berkelanjutan [10, 11].

Kelapa sawit merupakan salah satu jenis komoditas perkebunan yang memberikan peran strategis dalam mendukung pembangunan ekonomi Indonesia. Sebagai pertimbangan, menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) produksi sawit di Indonesia sangat tinggi yaitu mencapai 45,12 juta ton pada tahun 2022. Indonesia juga menjadi negara penghasil sawit terbanyak di dunia dengan produksi mencapai 42,5% yang diikuti oleh Malaysia, Thailand, Kolombia, dan Nigeria. Sawit merupakan tanaman penghasil minyak goreng dengan kualitas yang diakui oleh dunia. Disamping pengolahan kelapa sawit menjadi minyak, dihasilkan juga produk sampingan dari limbah sawit seperti batang, tandan kosong, pelepah, buah, dan daun. Penanggulangan limbah sawit ini telah dioptimalkan dalam bidang industri sebagai media absorben. Merujuk kepada Tobi & Dennis (2021) telah menyiapkan kerangka karbon 3D menggunakan material dasar komposit limbah bio sawit melalui serangkaian proses karbonisasi [12]. Penelitian ini menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang dapat diakses oleh ion bermuatan yang dapat meningkatkan kapasitansi spesifik. Bhattacharjya & Yu (2014) menganggap biomassa lidi sawit sebagai prekursor karbon potensial untuk menghasilkan karbon berpori 3D melalui proses karbonisasi-aktivasi fisika dengan impregnasi KOH [13]. Hasil ini juga menunjukkan kinerja elektrokimia yang tinggi

dari karbon aktif lidi sawit sebagai bahan dasar elektroda superkapasitor [14, 15].

Namun, penelitian yang memanfaatkan limbah pelepah sawit sebagai material pembuatan karbon berpori, khususnya untuk elektroda pada komponen sel superkapasitor masih dalam tahap awal (skala laboratorium). Pelepah sawit memiliki karakteristik berwarna hijau tua dengan ukuran mencapai 2 meter. Di sini, limbah pelepah sawit menjadi bahan dasar potensial karena kaya akan serat alami yang tersusun atas selulosa (50%), hemiselulosa (23%), dan lignin (21.7%), serta tingginya kadar karbon dan oksigen yang diharapkan mampu menghadirkan sifat fisika-kimia unggul untuk diaplikasikan sebagai bahan dasar karbon aktif berpori [16, 17]. Nanoselulosa penghasil karbon lebih banyak diproduksi dari tanaman dengan struktur non kayu salah satunya pelepah sawit [18]. Konversi pelepah sawit menjadi karbon aktif berpori ini dilakukan menggunakan peningkatan metode dan alat juga penghapusan sintesis kimia karbon, sehingga proses menjadi lebih sederhana dan hemat biaya.

Fokus dari penelitian ini terletak pada pembuatan karbon aktif berpori melalui pendekatan scale up dengan mempertahankan teknologi hijau yang hemat energi, efisien waktu dan tanpa penambahan bahan kimia yang mahal dan berbahaya. Keterbaruan penelitian ini adalah ditemukannya prekursor alami dari limbah pelepah sawit sebagai bahan dasar elektroda karbon untuk komponen piranti penyimpanan energi superkapasitor yang memiliki kemampuan elektrokimia yang seragam, eco-friendly, low cost, dan sustainable energy melalui scale up produksi. Penekanan kegiatan penelitian diarahkan pada pendekatan teknologi hijau melalui scale up prakarbonisasi dan pirolisis untuk mewujudkan superkapasitor dalam skala komersial. Untuk pertama kalinya, kami menggunakan limbah biomassa potensial pelepah sawit melalui peningkatan metode (prakarbonisasi dan aktivasi fisika) sebagai satu-satunya material dasar pembuatan karbon aktif melalui sintesis yang sederhana, dengan pirolisis terintegrasi satu tahap (karbonisasi-aktivasi fisika) untuk mendapatkan karbon

berpori yang menjanjikan berdasarkan perbedaan suhu karbonisasi dan waktu aktivasi fisika. Suhu karbonisasi yang berbeda 550°C, 600°C, dan 650°C diberikan saat proses karbonisasi yang berkontribusi dalam mengontrol optimalisasi penguapan unsur non-karbon. Kapasitansi spesifik yang relatif sama diharapkan dapat dihasilkan dari elektroda karbon aktif berbasis limbah pelepah sawit yang diperoleh, juga didukung oleh fitur menarik dari sistem pori yang dihasilkan seperti sifat amorf yang baik, keterbasahan yang tinggi dan penyediaan situs aktif antara elektroda dan elektrolit yang sesuai saat proses elektrokimia. Pemilihan prekursor limbah biomassa potensial pelepah sawit sebagai material pembuatan elektroda karbon merupakan strategi yang sangat cocok dan menjanjikan sebagai pembuka jalan baru untuk perangkat penyimpanan energi menuju skala komersial yang berkelanjutan, terbarukan, ramah lingkungan, dan hemat biaya.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian untuk pembuatan elektroda karbon berpori berbasis limbah pelepah sawit melalui peningkatan skala produksi dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu persiapan awal, prakarbonisasi, persiapan lanjutan, pirolisis terintegrasi, dan karakterisasi. Pelepah sawit didapatkan dari residu perkebunan sawit di daerah Rumbai, Pekanbaru, Riau. Sebelumnya, prekursor dibersihkan dan dipotong menjadi bagian kecil (5 – 10 cm) untuk mempercepat proses pengeringan konvensional (penjemuran di bawah sinar matahari) hingga didapatkan penyusutan massa sampel < 6%. Selanjutnya, dilakukan prakarbonisasi melalui scale up metode yaitu penggunaan oven listrik menjadi tanur termodifikasi. Biasanya, prakarbonisasi dilakukan menggunakan oven listrik dari suhu 50°C – 250°C selama 2,5 jam dengan massa sampel 30 g. Pada penelitian ini, menggunakan tanur termodifikasi, prakarbonisasi dapat dilakukan dengan jumlah prekursor yang lebih banyak mencapai 10 kg dengan waktu pembakaran 1 jam untuk merubah sampel

biomassa mentah menjadi arang, merapuhkan, dan meningkatkan sifat swamerekat karbon yang dihasilkan. Kemudian, prekursor karbon yang diperoleh, dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan abu sisa pembakaran dan menetralkan derajat keasaman sampel (pH = 7). Karbon yang telah netral dikeringkan melalui penjemuran di bawah sinar matahari selama 2 hari untuk mendehidrasi kandungan air yang tersisa. Setelah itu, sampel dihaluskan partikelnya dalam skala mikrometer menggunakan alat mortar dan ballmilling. Selanjutnya, penyeragaman ukuran partikel karbon dengan pengayakan < 60 µm. Selanjutnya, serbuk karbon dipirolisis menggunakan metode terintegrasi satu tahap dengan karbonisasi suhu 30°C – 600°C gas N<sub>2</sub> dan aktivasi fisika hingga suhu 800°C gas H<sub>2</sub>O. Kemudian, sampel dicetak menjadi bentuk koin monolit menggunakan alat *hydraulic press*. Selanjutnya, sampel karbon aktif dinetralkan pH-nya menggunakan 1 liter aquades dengan metode perendaman, dan dikeringkan kembali untuk dikarakterisasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Prakarbonisasi

Limbah biomassa, khususnya pelepah sawit memiliki potensi tinggi untuk diolah sebagai sumber karbon karena tersusun atas kandungan alami selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Di sini, konversi pelepah sawit menjadi karbon dilakukan melalui proses prakarbonisasi menggunakan tanur hemat energi. Prakarbonisasi tanur (Gambar 1) dilakukan secara manual, sehingga tidak menghabiskan energi listrik untuk menghasilkan karbon dalam jumlah yang lebih banyak dan efektif. Pada penelitian ini, penggunaan tanur hemat energi yang dimodifikasi dapat mengkonversi 5 kg limbah pelepah sawit mentah hampir 4 kg arang/karbon. Berikut ini Gambar 1 adalah hasil pembakaran limbah pelepah sawit menggunakan tanur hemat energi.



**Gambar 1.** Konversi limbah biomassa (a) limbah kayu, (b) pelepah sawit tahap 1, (c) bambu, dan (d) pelepah sawit tahap 2 menjadi karbon menggunakan tanur hemat energi.

Proses prakarbonisasi dapat mendehidrasi kandungan air dan menghilangkan kelembaban sampel. Efektivitas penggunaan tanur dievaluasi dengan prakarbonisasi sampel limbah biomassa berbeda dengan lama waktu pembakaran yang beragam, ditampilkan pada Gambar 1. Limbah kayu, pelepah sawit tahap 1,

bambu, dan pelepah sawit tahap 2 mengkonfirmasi optimalisasi produksi karbon aktif. Karakteristik biomassa dan lama waktu pembakaran menjadi parameter kualitas karbon. Persentase karbon yang dihasilkan untuk masing-masing biomassa dirincikan seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan hasil prakarbonisasi limbah pelepah sawit dan biomassa lainnya.

Sampel	Waktu prakarbonisasi (jam)	Massa awal (kg)	Massa akhir (kg)	Penyusutan (kg)	Karbon (%)
Limbah kayu	2.5	5	2.5	2.5	50
Pelepah sawit ke-1	2	5	1.1	3.9	22
Bambu	0.75	5	2.4	2.6	48
Pelepah sawit ke-2	0.5	5	3.7	1.3	74

Prakarbonisasi menggunakan tanur hemat energi dikonversi dapat mengubah 5 kg sampel limbah biomassa kering menjadi karbon melalui satu kali pembakaran. Limbah kayu, pelepah sawit tahap-1, dan bambu menunjukkan persentase karbon yang beragam. Hasil ini dipengaruhi oleh komposisi dan tekstur biomassa, juga lama waktu prakarbonisasi. Waktu prakarbonisasi menggunakan tanur yang lebih lama mengakibatkan arang yang dihasilkan pada kondisi optimum berubah menjadi abu. Berdasarkan ini, untuk biomassa dengan tekstur padat seperti limbah pelepah sawit kering hanya membutuhkan waktu prakarbonisasi selama 30 menit untuk mengkonversinya menjadi karbon. Selanjutnya, untuk mendapatkan partikel karbon yang lebih kecil dilakukan melalui teknik penghancuran secara manual dan mekanis. Pengerjaan secara manual ini dilakukan dengan cara menumbuk sampel karbon secara langsung menggunakan alat mortar. Sementara, penghancuran secara mekanis dilakukan dengan memanfaatkan pertumbukan antara bola-bola baja dengan sampel karbon di dalam tabung vakum yang dapat menghancurkan partikel karbon hingga skala mikrometer.

### **Karbon Aktif**

Selanjutnya, untuk mendapatkan keseragaman ukuran partikel karbon dilakukan dengan cara pengayakan menggunakan ayakan 60  $\mu\text{m}$ . Penyeragaman ukuran partikel karbon ini dimaksudkan untuk menghasilkan partikel karbon nanomaterial dengan sifat fisis yang lebih unggul. Selain itu, ayakan 60  $\mu\text{m}$  diasumsikan dapat menghasilkan matrik karbon yang memiliki pori antar partikel yang lebih baik dengan ikatan yang lebih kuat.

Setiap tahapan dari pengolahan limbah biomassa ini memberikan dampak yang signifikan terhadap sifat fisik dan kimia pada karbon aktif yang dihasilkan, dan mempengaruhi penerapannya. Perbedaan suhu dan waktu penahanan pada proses pirolisis baik itu pada karbonisasi dan aktivasi fisika

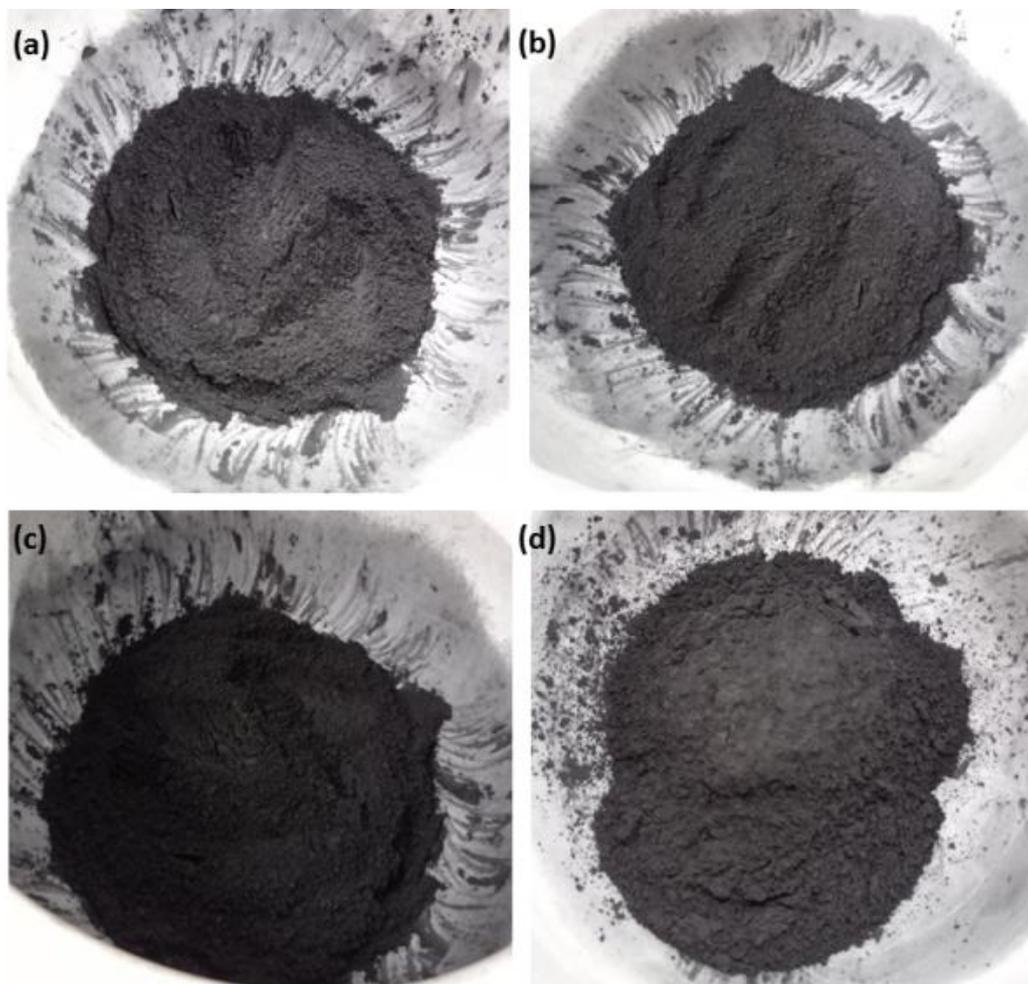
memberikan pengaruh langsung dalam persiapan dan struktur pori dalam matriks karbon. Karbonisasi merupakan bagian dari proses pirolisis untuk mengubah karbon menjadi karbon aktif melalui pemanasan hingga suhu tinggi pada ruang vakum. Proses karbonisasi terbagi menjadi tiga tahap, yaitu karbonisasi suhu rendah 300°C – 500°C, karbonisasi suhu menengah 550°C – 700°C, dan karbonisasi suhu tinggi 750°C – 1000°C. Pada pengolahan karbon pelepah sawit ini, suhu karbonisasi yang digunakan adalah 600°C yang bertujuan untuk menguapkan unsur selain karbon yang melekat pada sampel [19, 20]. Kelembapan, kandungan air, dan unsur volatil merupakan contoh unsur non-karbon yang harus dihilangkan untuk mencapai kemurnian karbon. Senyawa volatil merupakan unsur pengotor pada sampel karbon yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang akan dikeluarkan dalam bentuk gas yang menguap. Proses karbonisasi biasanya dilakukan dengan mengalirkan beberapa gas tertentu seperti nitrogen, argon, karbon dioksida, dan uap air ke dalam tabung furnace [21, 22]. Pengolahan karbon aktif berbasis limbah pelepah sawit pada tahap karbonisasi ini dilakukan dibawah pengaruh gas  $\text{N}_2$  yang bersifat inert untuk membantu menguapkan unsur selain karbon yang melekat pada sampel karbon.

Aktivasi fisika merupakan proses pembentukan dan modifikasi struktur pori karbon aktif dalam lingkungan gas pengoksidasi seperti  $\text{H}_2\text{O}$  atau  $\text{CO}_2$  [23], yang bertujuan untuk membantu memperbesar pori, menghilangkan pengotor pada karbon, dan meningkatkan konduktivitas pada koin karbon sampel [24]. Suhu aktivasi fisika yang berbeda telah diakui dapat memberikan efek fisika yang sangat besar, seperti pada luas permukaan spesifik dan total volume pori yang dihasilkan. Suhu pirolisis yang tinggi dapat meningkatkan perkembangan struktur pori dari mikropori ke mesopori hingga makropori yang mendukung peningkatan luas permukaan dan penyediaan jalur transportasi ion yang sesuai antara elektroda dan elektrolit untuk meningkatkan sifat elektrokimia [25, 26]. Lebih lanjut, perlu

dilakukan kajian terlebih dahulu dalam pemilihan suhu aktivasi fisika yang sesuai. Hal ini karena kerangka karbon berbasis limbah biomassa memiliki sifat yang mudah terdegradasi pada suhu tinggi, yang dapat menyebabkan runtuhnya struktur pori [27–30]. Kerusakan pori pada kerangka karbon ini akan memberikan dampak buruk pada kinerja elektrokimia karena dapat mengurangi kelancaran akses ion elektrolit mengisi pori elektroda. Selama berlangsungnya proses aktivasi fisika, terjadi reaksi antara karbon dan uap air yang dialirkan, dengan reaksi berikut:



Reaksi antara karbon dan uap air pada proses aktivasi fisika akan menghasilkan perpindahan atom karbon dan mendorong pengembangan pembentukan struktur pori. Unsur oksigen yang terperangkap dalam sampel akan menguap dalam bentuk gas CO dan membuka struktur pori-pori yang tertutup. Selanjutnya juga terjadi reaksi antara CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dengan banyak ikatan karbon hingga membentuk struktur pori baru [31]. Hasil dari proses pirolisis terintegrasi satu langkah (karbonisasi-aktivasi fisika / N<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O) dari limbah pelepah sawit dan biomassa lainnya ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Karbon aktif berbasis limbah biomassa pelepah sawit berdasarkan waktu aktivasi fisika (a) 2 jam, (b) 2.5 jam, (c) 2.5 jam, dan (d) 3 jam.

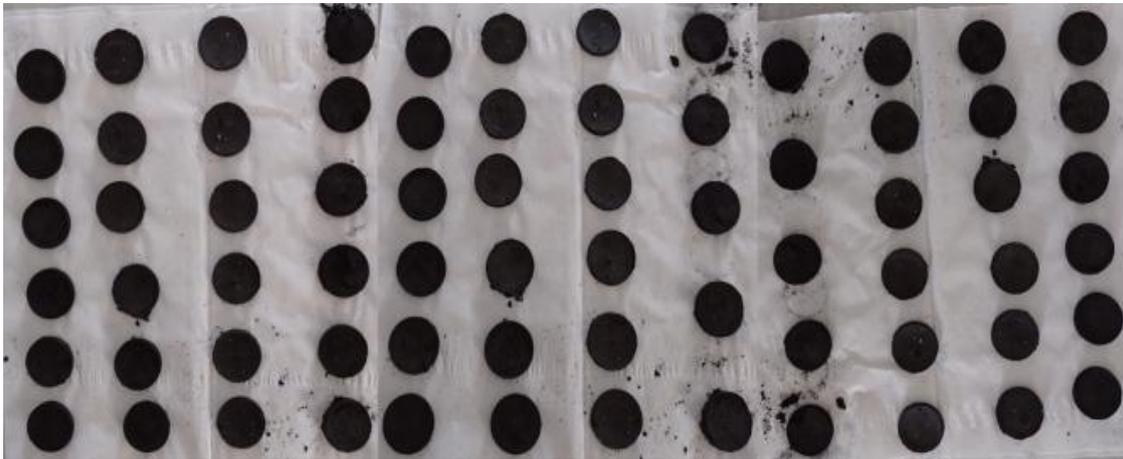
### Produk Karbon Aktif

Selanjutnya, serbuk karbon aktif yang telah dihasilkan dikemas dalam bentuk padatan

berupa koin monolit. Pemadatan serbuk karbon ini dilakukan melalui penambahan bahan perekat 3 – 5 tetes 10% PVA untuk menghasilkan koin karbon monolit yang dicetak

menggunakan alat *hydraulic press* dengan tekanan 8 ton dan waktu penahanan selama 5 menit. Disini, dihasilkan padatan serbuk karbon

yang siap untuk diteruskan menjadi elektroda pada superkapasitor sebagai komponen penyimpanan ion bermuatan.



**Gambar 3.** Kabon aktif berbasis limbah pelepah sawit tahap 2 dalam bentuk koin monolit.

Ketentuan pencetakan ini adalah untuk menghasilkan koin karbon dengan struktur yang kuat dan tidak mudah rapuh. Koin karbon yang dihasilkan langsung dipanaskan ke menggunakan *oven* dengan suhu 100°C selama  $\pm 2$  jam untuk menguatkan perekatan.

### KESIMPULAN

Limbah pelepah daun sawit telah berhasil diolah menjadi karbon aktif melalui pengembangan alat dan metode. Produksi karbon yang ditingkatkan dengan pengembangan alat dan metode dengan penggunaan tanur hemat energi, tanpa penambahan bahan kimiadan pemanfaatan uap air (H<sub>2</sub>O) merupakan inovasi pengembangan dan menjadi langkah efisien dalam pengembangan produksi karbon aktif menuju skala industri. Efektivitas pengerjaan, peningkatan jumlah produksi, dan penghematan biaya menjadi keuntungan pada penelitian ini. Inovasi metode dan alat konversi limbah pelepah sawit menjadi karbon aktif ini sangat mendukung dalam pengembangan karbon aktif untuk diteruskan menuju skala komersial.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Riau melalui Hibah

Kegiatan Pengabdian Program Kemitraan Masyarakat dengan No. Kontrak: 8379/UN.19.5.1.3/AL.04/2023.

### REFERENSI

1. Du, W., Wang, X., Zhan, J., Sun, X., Kang, L., Jiang, F., ... & Guo, Z. (2019). Biological cell template synthesis of nitrogen-doped porous hollow carbon spheres/MnO<sub>2</sub> composites for high-performance asymmetric supercapacitors. *Electrochimica Acta*, **296**, 907–915.
2. Wang, Y., Liu, R., Tian, Y., Sun, Z., Huang, Z., Wu, X., & Li, B. (2020). Heteroatoms-doped hierarchical porous carbon derived from chitin for flexible all-solid-state symmetric supercapacitors. *Chemical Engineering Journal*, **384**, 123263.
3. Li, X., Tang, Y., Song, J., Yang, W., Wang, M., Zhu, C., ... & Lin, Y. (2018). Self-supporting activated carbon/carbon nanotube/reduced graphene oxide flexible electrode for high performance supercapacitor. *Carbon*, **129**, 236–244.

4. Wang, Q., Lai, Z., Luo, C., Zhang, J., Cao, X., Liu, J., & Mu, J. (2021). Honeycomb-like activated carbon with microporous nanosheets structure prepared from waste biomass cork for highly efficient dye wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials*, **416**, 125896.
5. Chen, W., Luo, M., Yang, K., Zhang, D., & Zhou, X. (2021). A clean and industrially applicable approach for the production of copper-doped and core-shell structured porous carbon microspheres as supercapacitor electrode materials. *Journal of Cleaner Production*, **282**, 124534.
6. De, S., Acharya, S., Sahoo, S., & Nayak, G. C. (2020). Present status of biomass-derived carbon-based composites for supercapacitor application. *Nanostructured, Functional, and Flexible Materials for Energy Conversion and Storage Systems*, 373–415.
7. Huang, J., Wu, J., Dai, F., & Li, C. M. (2019). 3D honeycomb-like carbon foam synthesized with biomass buckwheat flour for high-performance supercapacitor electrodes. *Chemical Communications*, **55**(62), 9168–9171.
8. Chen, C., Yu, D., Zhao, G., Du, B., Tang, W., Sun, L., ... & Yu, M. (2016). Three-dimensional scaffolding framework of porous carbon nanosheets derived from plant wastes for high-performance supercapacitors. *Nano Energy*, **27**, 377–389.
9. Jiang, H., Lee, P. S., & Li, C. (2013). 3D carbon based nanostructures for advanced supercapacitors. *Energy and Environmental Science*, **6**(1), 41–53.
10. Yang, L., Wang, J., Wang, S., Guan, X., Guan, X., & Wang, G. (2020). Biomass-derived multi-heteroatom-doped carbon materials for high-performance solid-state symmetric supercapacitors with superior long-term cycling stability. *Ionics*, **26**, 4141–4151.
11. Zhang, Z., Liu, L., Shen, B., & Wu, C. (2018). Preparation, modification and development of Ni-based catalysts for catalytic reforming of tar produced from biomass gasification. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **94**, 1086–1109.
12. Tobi, A. R. & Dennis, J. O. (2021). Activated carbon from composite of palm bio-waste as electrode material for solid-state electric double layer capacitor. *Journal of Energy Storage*, **42**, 103087.
13. Bhattacharjya, D. & Yu, J. S. (2014). Activated carbon made from cow dung as electrode material for electrochemical double layer capacitor. *Journal of Power Sources*, **262**, 224–231.
14. Hussin, F., Aroua, M. K., & Yusoff, R. (2021). Adsorption of CO<sub>2</sub> on palm shell based activated carbon modified by deep eutectic solvent: Breakthrough adsorption study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **9**(4), 105333.
15. Zhao, J. & Burke, A. F. (2021). Review on supercapacitors: Technologies and performance evaluation. *Journal of Energy Chemistry*, **59**, 276–291.
16. Cao, M., Wang, Q., Cheng, W., Huan, S., Hu, Y., Niu, Z., ... & Wang, G. (2021). A novel strategy combining electrospraying and one-step carbonization for the preparation of ultralight honeycomb-like multilayered carbon from biomass-derived lignin. *Carbon*, **179**, 68–79.
17. Li, Y., Wang, G., Wei, T., Fan, Z., & Yan, P. (2016). Nitrogen and sulfur co-doped porous carbon nanosheets derived from willow catkin for supercapacitors. *Nano Energy*, **19**, 165–175.

18. Promdee, K., Chanvidhwatanakit, J., Satitkune, S., Boonmee, C., Kawichai, T., Jarenpasert, S., & Vitidsant, T. (2017). Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **75**, 1175–1186.
19. Shu, Y., Bai, Q., Fu, G., Xiong, Q., Li, C., Ding, H., ... & Uyama, H. (2020). Hierarchical porous carbons from polysaccharides carboxymethyl cellulose, bacterial cellulose, and citric acid for supercapacitor. *Carbohydrate Polymers*, **227**, 115346.
20. Taer, E., Yanti, N., Mustika, W. S., Apriwandi, A., Taslim, R., & Agustino, A. (2020). Porous activated carbon monolith with nanosheet/nanofiber structure derived from the green stem of cassava for supercapacitor application. *International Journal of Energy Research*, **44**(13), 10192–10205.
21. Arvas, M. B., Gürsu, H., Gencten, M., & Sahin, Y. (2021). Preparation of different heteroatom doped graphene oxide based electrodes by electrochemical method and their supercapacitor applications. *Journal of Energy Storage*, **35**, 102328.
22. Miller, E. E., Hua, Y., & Tezel, F. H. (2018). Materials for energy storage: Review of electrode materials and methods of increasing capacitance for supercapacitors. *Journal of Energy Storage*, **20**, 30–40.
23. Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: A review. *Environmental Chemistry Letters*, **18**, 393–415.
24. Jjagwe, J., Olupot, P. W., Menya, E., & Kalibbala, H. M. (2021). Synthesis and application of granular activated carbon from biomass waste materials for water treatment: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, **6**(4), 292–322.
25. Salleh, N. A., Kheawhom, S., & Mohamad, A. A. (2021). Chitosan as biopolymer binder for graphene in supercapacitor electrode. *Results in Physics*, **25**, 104244.
26. Scibioh, M. A. & Viswanathan, B. (2020). Chapter 3—Electrode materials for supercapacitors. *Materials for Supercapacitor Applications*, 35–204.
27. Gopi, C. V. M., Vinodh, R., Sambasivam, S., Obaidat, I. M., & Kim, H. J. (2020). Recent progress of advanced energy storage materials for flexible and wearable supercapacitor: From design and development to applications. *Journal of Energy Storage*, **27**, 101035.
28. Mohd, N. H., Kargazadeh, H., Miyamoto, M., Uemiya, S., Sharer, N., Baharum, A., ... & Othaman, R. (2021). Aminosilanes grafted nanocrystalline cellulose from oil palm empty fruit bunch aerogel for carbon dioxide capture. *Journal of Materials Research and Technology*, **13**, 2287–2296.
29. Taer, E., Yanti, N., Putri, J. A., Apriwandi, A., & Taslim, R. (2023). Novel macaroni-sponge-like pore structure biomass (*Zingiber officinale* Rosc. leaves)-based electrode material for excellent energy gravimetric supercapacitor. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **98**(4), 990–1002.
30. Miao, L., Song, Z., Zhu, D., Li, L., Gan, L., & Liu, M. (2020). Recent advances in carbon-based supercapacitors. *Materials*

*Advances*, **1**(5), 945–966.  
31. Li, X., Zhang, J., Liu, B., & Su, Z. (2021).  
A critical review on the application and

recent developments of post-modified  
biochar in supercapacitors. *Journal of  
Cleaner Production*, **310**, 127428.



Artikel ini menggunakan lisensi  
[Creative Commons Attribution  
4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)