

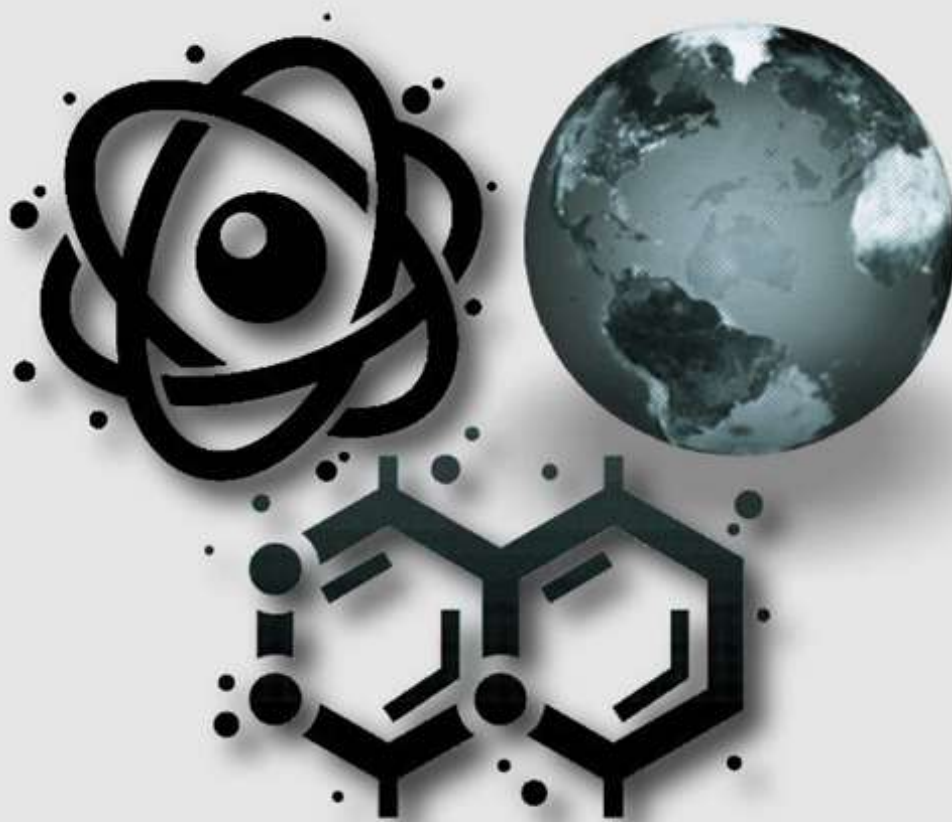
Vol.3 No.II Tahun 2020

P-ISSN : 2621-0215

E-ISSN : 2621-489X

# Al-Fiziya

Journal of Materials Science, Geophysics,  
Instrumentation and Theoretical Physics



Published by  
Program Studi Fisika  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

**AL-FIZIYA:**  
Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation,  
and Theoretical Physics

**Vol. 3, No. II, Tahun 2020**

**EDITORIAL IN CHIEF**

Dr. Sitti Ahmiatri Saptari

**MANAGING EDITOR**

Muhammad Nafian, M.Si

**REVIEWER**

Dr. Adam Badra Cahaya

Dr. Budhy Kurniawan

Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini

Dr. Santoso Soekirno

Dwi Nanto, M.Si., Ph.D

Iskandarsyah Mahmuddin, M.Si

Tri Wulan Sari, M.Si

**EDITOR**

Anugrah Azhar, M.Si

Elvan Yuniarti, M.Si

Biaunik Niski Kumila, M.Sc

Saipudin, M.Si

Arif Tjahjono, M.Si.

Nizar Septian, M.Si.

**LAYOUT EDITOR**

Ryan Rizaldy, M.Si.

**Alamat Redaksi**

Gedung Fakultas Sains dan Teknologi Lt. 3  
Jl. Ir. H Juanda No.95 Ciputat 15412 Tangerang  
Telp. (6221)743731, (6221)7493315  
Email: al-fiziya@uinjkt.ac.id

**Published by**

Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

## PENGANTAR REDAKSI

Assalamu'alaikum, Wr. Wb.

Puji Syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT, dengan terbitnya *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation, and Theoretical Physics* Vol 3, No. II, Tahun 2020 dengan nomor ISSN: 2621-0215 dan E-ISSN: 2621-489X sebagai jurnal penelitian dan pengembangan ilmu fisika yang diterbitkan oleh Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta. Jurnal ini menyajikan artikel-artikel penelitian dan pengembangan terkini baik dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris di bidang fisika murni dan terapan, antara lain bidang fisika material, geofisika, fisika instrumentasi, dan fisika teori. Jurnal ini merupakan sarana publikasi bagi dosen dan para peneliti yang bergerak di bidang penelitian dan pengembangan ilmu fisika. Dengan demikian, melalui penerbitan jurnal ini kami memberikan kesempatan seluas-luasnya bagi siapapun yang ingin berpartisipasi dalam menyampaikan buah pikirannya melalui tulisan atau artikel yang akan kami muat pada edisi berikutnya.

Artikel yang masuk akan melalui proses seleksi oleh dewan editor dan review yang melibatkan mitra bestari baik dari para dosen ahli dibidangnya berdasarkan kesesuaian isi dan bobot karya ilmiah. Untuk informasi lengkap submit dan tata cara penulisan dalam *Al-Fiziya: Journal of Material Science, Geophysics, Instrumentation, and Theoretical Physics* dapat dilihat pada pedoman penulisan artikel di halaman akhir penerbitan atau dapat mengakses website kami di <http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/al-fiziya>. Atas nama dewan redaksi, kami mengucapkan terimakasih atas dukungan dan partisipasi dari semua pihak hingga terbitnya *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation, and Theoretical Physics*.

*Editorial in chief*  
Sitti Ahmiatri Saptari

## Daftar Isi

Vol 3, No. II Tahun 2020

Pengantar Redaksi .....	i
Daftar Isi .....	ii
<b>Adam Badra Cahaya</b> , Paramagnetic and Diamagnetic Susceptibility of Infinite Quantum Well .....	61-67
<b>Ariyanto, Ahmad Fauzan Haryono, Dimas Chaidir Adinugroho</b> Determination Of Mining Zoning Andesite, Sirtu And Tras Materials In Purbalingga District Central Java.....	68-77
<b>Chandra Agus Riyananta, Refita Khumayroh</b> Analisis Data Induced Polarization Dalam Menduga Zona Mineralisasi Logam Daerah Godean, Kabupaten Sleman Diy.....	78-83
<b>Candra Rizki Nugroho, Elvan Yuniarti, Ambran Hartono</b> , Alat Pengukur Saturasi Oksigen Dalam Darah Menggunakan Metode Photoplethysmograph Reflectance .....	84-93
<b>Iqbal Lafifa Zulfa, Rangga Prasetya Alamsyah, dan Arine Fitriani</b> , Solusi Metrik Kerr-Newman Untuk Dimensi Ruang-waktu 3+1 Dengan Invariansi Rotasi Anisotropik.....	94-102
<b>Lediliocza, Sitti Ahmiatri Saptari, Slamet Priyono</b> , Sintesis $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ Yang Dilapisi Karbon Dengan Metode <i>Solid State</i> Reaction Untuk Anoda Ion Lithium .....	103-113
<b>Mujadid Al-Rabi, Arif Tjahjono, dan Sitti Ahmiatri Saptari</b> , Analisis Fasa, Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Material Komposit Berbasis $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$ .....	114-122
<b>Tika Devi Widayanti, Sutrisno, Titi Anggono</b> , Identifikasi Objek Bawah Permukaan Untuk Fondasi Jalan Tol di Jakarta Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Pada Segmen Area Y.....	123-132

---

## Paramagnetic and Diamagnetic Susceptibility of Infinite Quantum Well

Adam Badra Cahaya<sup>1,†</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia

<sup>†</sup>[adam@sci.ui.ac.id](mailto:adam@sci.ui.ac.id)

**Abstract.** A material is said to be paramagnetic or diamagnetic depends on the sign of its magnetic susceptibility. When a material is exposed to an external magnetic field, magnetic susceptibility is defined as the ratio of the induced magnetization and the magnetic field. Theoretical study of paramagnetic susceptibility and diamagnetic susceptibility are well described by Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism, respectively. Although paramagnetism and diamagnetism are among the simplest magnetic properties of material that are studied in basic physics, theoretical derivations of Pauli paramagnetic and Landau diamagnetic susceptibility require second quantization formalism of quantum mechanics. We aim to discuss the paramagnetic and diamagnetic susceptibilities for simplest case of quantum system using the simplest first quantization formalism of perturbation theory.

**Keywords:** *Magnetic susceptibility, Pauli paramagnetism, Landau diamagnetism, quantum well, first quantization.*

**DOI :** [10.15408/fiziya.v3i2.18119](https://doi.org/10.15408/fiziya.v3i2.18119)

## INTRODUCTION

Paramagnetism and diamagnetism are among the simplest magnetic properties of material that are studied in basic physics [1]. A material can be paramagnetic or diamagnetic depends on the sign of its magnetic susceptibility [2]. A paramagnetic material has magnetic susceptibility with positive sign. On the other hand, a diamagnetic material has magnetic susceptibility with negative sign. Magnetic susceptibility is defined as the ratio of its magnetization and the external magnetic field that induce its magnetization [3].

Theoretical study of paramagnetic susceptibility and diamagnetic susceptibility are well described by Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism, respectively [4]. Theoretical derivations of these magnetic susceptibility use second quantization formalism of quantum mechanics[5]–[7]. The susceptibilities for a metal with Fermi energy  $E_F$  are determined by its density of state at Fermi energy  $DOS(E_F)$  as follow.

$$\chi_{para} = \mu_B^2 DOS(E_F), \quad (1)$$

$$\chi_{dia} = -\frac{\mu_B^2}{3} DOS(E_F). \quad (2)$$

Where the total susceptibility indicates that a metal has a paramagnetic state.

$$\chi = \chi_{para} + \chi_{dia} = \frac{2}{3}\mu_B^2 DOS(E_F) > 0 \quad (3)$$

Theoretical research on paramagnetic susceptibility of conduction electrons lead to many useful effects for functional devices, such as interlayer coupling mediated by conduction spin (also known as Rudderman Kittel Kasuya Yosida (RKKY) interaction) [8]–[12], in magnetic nanostructures. Diamagnetic susceptibility of conduction electrons are theoretically studied as Landau - Peierls susceptibility [7], [13]–[16].

The simplest example of quantum system is infinite quantum well [17]. In the infinite quantum well, the movement of electrons are confined, and its energy is quantized. The main difference between wave function of electron in infinite quantum well and free electron model of conduction electron is that the former use vanishing wave function at the infinite potential wall while the later used a periodical boundary condition [17], [18]. Artificial confinement of electrons in nanostructure is an ongoing research [19], [20]. This article aims to theoretically determine the paramagnetic and diamagnetic susceptibilities for simple three-dimensional quantum well.

## METHOD

To study the paramagnetic and diamagnetic susceptibility of the system, we need to introduce magnetic field  $\vec{B}$  and vector potential  $\vec{A}$  into the Schrödinger equation. To be able to appropriately include magnetic field, we consider Pauli-Schrödinger equation that includes [21], [22]. Pauli-Schrödinger equation is non-relativistic limit of Dirac equation [22], [23].

$$\hat{H}|\psi\rangle = \left( \frac{1}{2m_e} (\vec{p} + e\vec{A}(\vec{r})) \cdot (\vec{p} + e\vec{A}(\vec{r})) + \frac{e\hbar}{2m_e} \vec{\sigma} \cdot \vec{B}(\vec{r}) + V(\vec{r}) \right) |\psi\rangle = E|\psi\rangle \quad (4)$$

Where  $\vec{B} = \nabla \times \vec{A}$  and  $|\psi\rangle$  is two component spinor wave function and  $\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z)$  is Pauli matrices.

$$\vec{\sigma} = (\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z) = \left( \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \right) \quad (5)$$

Infinite three-dimensional quantum well can be modeled by the following potential

$$V(x, y, z) = \begin{cases} 0, & 0 < x < L, 0 < y < L, 0 < z < L \\ \infty, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (6)$$

The solution of the time-independent Schrödinger equation and the boundary condition  $|\psi\rangle(V = \infty) = 0$  dictates that the eigen wave function of the electron for zero magnetic field is [17]

$$\psi_{n_x, n_y, n_z}(\vec{r}) = \left(\frac{2}{L}\right)^{\frac{3}{2}} \sin \frac{n_x \pi x}{L} \sin \frac{n_y \pi y}{L} \sin \frac{n_z \pi z}{L} \quad (7)$$

Since  $n_j = 1, 2, 3, \dots, j = x, y, z$ , the energy is quantized

$$E_{\vec{n}} = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e L^2} (n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) \quad (8)$$

In low temperature, the maximum energy is the Fermi energy  $E_F$ . To be able to analytically study the susceptibilities, we assume that  $L$  is very large. In that case, we can write  $n_x, n_y, n_z$  in term of a vector  $\vec{k} = \frac{\pi}{L}(n_x, n_y, n_z)$  and the energy is similar to free electron.

$$E_{\vec{k}} = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e} \quad (9)$$

We can now define  $E_F = \hbar^2 k_F^2 / 2m_e$  and any sum over  $n_x, n_y, n_z$ , can be approximated by integral over  $\vec{k}$

$$\sum_{n_x, n_y, n_z} \dots = \sum_{\vec{k}} \dots \iiint \frac{d^3 \vec{k}}{(\pi/L)^3} \dots \quad (10)$$

Under small magnetic field, we can use perturbation theory to get the first order correction for  $\vec{A}$  and  $\vec{B}$  to

$$\hat{H}_A = \frac{e}{2m_e} (\vec{p} \cdot \vec{A} + \vec{A} \cdot \vec{p}) \quad (11)$$

$$\hat{H}_B = \frac{e\hbar}{2m_e} \vec{\sigma} \cdot \vec{B} \quad (12)$$

respectively.

Here on, we use the following mathematical description of magnetic susceptibility that arise from Landau theory of free energy [24].

$$\chi = \left(\frac{\partial m}{\partial B}\right)_{B=0} \quad (13)$$

The paramagnetic magnetization is

$$M_{para} = -\frac{e\hbar}{2m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \langle \vec{k} | \vec{\sigma} | \vec{k} \rangle_B \quad (14)$$

and the diamagnetic magnetization  $\vec{M}_{dia}$  is defined by the following relation to diamagnetic current  $\vec{J}_{dia}$

$$\nabla \times \vec{M}_{dia} = \vec{J}_{dia} = \frac{-e}{m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \langle \vec{l} | (\vec{p} + eA) | \vec{k} \rangle_A \quad (15)$$

Since  $\langle \vec{k} | \vec{\sigma} | \vec{k} \rangle$  is zero when number of spin up and down electrons are the same, we can see that the system is paramagnetic when there are unpaired electrons (see Figure 1).

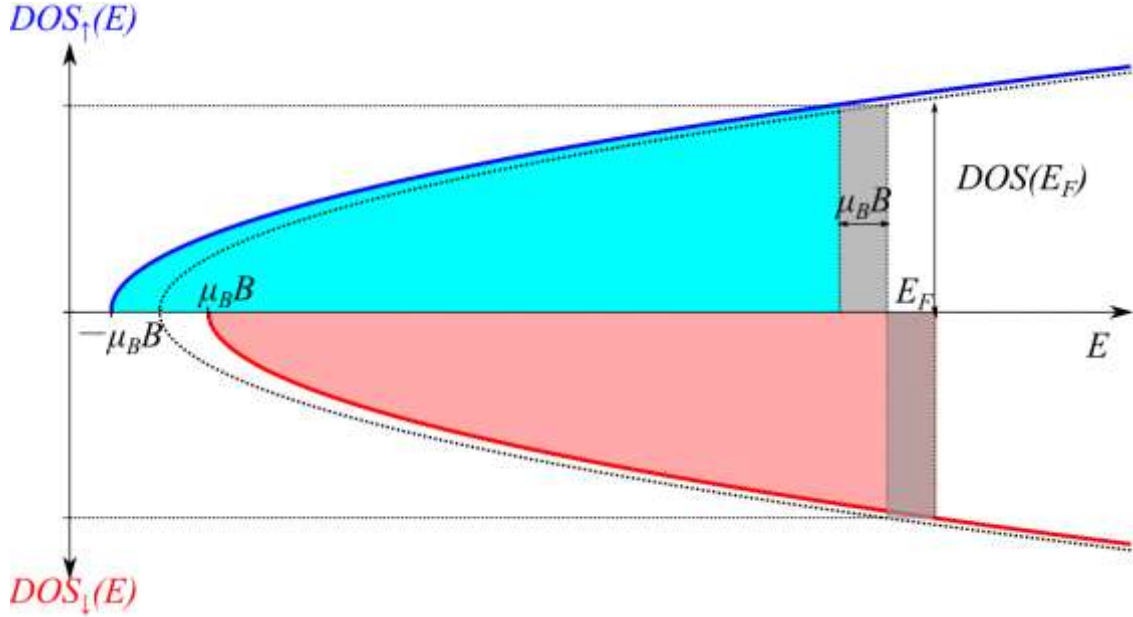


Figure 1. Spin-dependent Density of State (DOS). Perturbation by a static magnetic field  $B$  induces unpaired spin near the Fermi energi by shifting the Density of State of electrons with spin up (blue) and spin down (red). Here  $\mu_B = -e\hbar/2m_e$  is Bohr magneton.

Here, subscripts  $A$  and  $B$  indicate that we take into account first order correction of the eigenstate due to  $\hat{H}_A$  and  $\hat{H}_B$ .

$$|\vec{k}\rangle_{A,B} = \sum_{\vec{l}} \frac{\langle \vec{l} | \hat{H}_{A,B} | \vec{k} \rangle}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} |\vec{l}\rangle \quad (16)$$

### Paramagnetic susceptibility

To study the paramagnetic susceptibility, we will focus on  $\hat{H}_B$  as the perturbation. The first order correction to magnetization due to electron spin as follows.

$$M_{para} = -\frac{e\hbar}{2m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \langle \vec{k} | \vec{\sigma} | \vec{k} \rangle_B = -\frac{e\hbar}{2m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \frac{\langle \vec{l} | \vec{\sigma} \cdot \vec{B}(\vec{r}) | \vec{k} \rangle}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} \langle \vec{k} | \vec{\sigma} | \vec{l} \rangle \quad (17)$$

We note that this is the same as taking the following second order correction of the magnetic energy.

$$-M_{para} B^2 = \frac{1}{L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \frac{|\langle \vec{l} | \hat{H}_B | \vec{k} \rangle|^2}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} = \left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right)^2 \frac{1}{L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \frac{|\langle \vec{l} | \vec{\sigma} \cdot \vec{B}(\vec{r}) | \vec{k} \rangle|^2}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} \quad (18)$$

Although we focus on static magnetic field, we set  $\vec{B}(x) = \hat{z}B \cos qx$  and take the limit  $q \rightarrow 0$ . Using the Pauli matrices identity  $\sigma_a \sigma_b = 1\delta_{ab} + i\epsilon_{abc}\sigma_c$ , we can simplify it as follows.

$$\chi_{para} = -\left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right)^2 \frac{1}{L^3} \lim_{q \rightarrow 0} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \frac{|\langle \vec{l} | \cos qx | \vec{k} \rangle|^2}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} \quad (19)$$

$\langle \vec{l} | \cos qx | \vec{k} \rangle$  can be determined by examining the following integral

$$\langle \vec{l} | \cos qx | \vec{k} \rangle = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \frac{1}{L} \int_0^L dx \sin l_x x \cos qx \sin k_x x = \delta_{l_x+q,k_x} + \delta_{l_x-q,k_x} \quad (20)$$

Therefore, integral expression for  $\chi_{para}$  is as follows

$$\chi_{para} = -\left(\frac{e\hbar}{2m_e}\right)^2 \lim_{q \rightarrow 0} \iiint \frac{d^3 \vec{k}}{\pi^3} \left( \frac{1}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{k}-q\hat{x}}} + \frac{1}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{k}+q\hat{x}}} \right) \quad (21)$$



### Landau diamagnetism

To study the diamagnetic susceptibility, we first examine the magnetization that correspond with diamagnetic current

$$\vec{J}_{dia} = \nabla \times \vec{M}_{dia} = \frac{-e}{m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \langle \vec{l} | (\vec{p} + eA) | \vec{k} \rangle_A. \quad (22)$$

To evaluate  $\chi_{dia}$ , we substitute  $\vec{M}_{dia} = \chi_{dia} \nabla \times \vec{A}$

$$-\chi_{dia} \nabla^2 \vec{A} = \frac{-e}{m_e L^3} \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \langle \vec{l} | \vec{p} | \vec{k} \rangle_A - \frac{e^2 \vec{A}}{m_e} N_e \quad (23)$$

Here  $N_e = \frac{1}{L^3} \sum_{\vec{k}} \langle \vec{k} | \vec{k} \rangle$  is the total density of electrons. Similarly, we can assume  $\vec{A} = \hat{y} A \cos qx$ , therefore

$$\chi_{dia} \vec{A} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{1}{q^2} \frac{-e}{m_e L^3} \left( \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \langle \vec{l} | \vec{p} | \vec{k} \rangle_A + e \vec{A} N_e \right) \quad (24)$$

Using first order correction of the eigenstate.

$$| \vec{k} \rangle_A = \sum_{\vec{l}} \frac{\langle \vec{l} | \hat{H}_A | \vec{k} \rangle}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} | \vec{l} \rangle \quad (25)$$

We can evaluate  $\chi_{dia}$  as follows

$$\chi_{dia} = -\frac{e^2}{m_e L^3} \lim_{q \rightarrow 0} \frac{1}{q^2} \left( \sum_{\vec{k}} \sum_{\vec{l}} \frac{\langle \vec{l} | p^2 \cos qx | \vec{k} \rangle}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{l}}} + e N_e \right) \quad (26)$$

$\langle \vec{l} | p^2 \cos qx | \vec{k} \rangle$  can be determined by examining the following integral

$$\langle \vec{l} | p^2 \cos qx | \vec{k} \rangle = 2 \left( \frac{2}{L} \right)^2 k_x \int_0^L dx \sin l_x x \cos qx \sin k_x x = k_x^2 (\delta_{l_x+q, k_x} + \delta_{l_x-q, k_x}) \quad (27)$$

Therefore, integral expression for  $\chi_{dia}$  is as follows

$$\chi_{dia} = -\frac{e^2}{m_e} \lim_{q \rightarrow 0} \frac{1}{q^2} \left( e N_e + \iiint \frac{d^3 \vec{k}}{\pi^3} k_x^2 \left( \frac{1}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{k}-q\hat{x}}} + \frac{1}{E_{\vec{k}} - E_{\vec{k}+q\hat{x}}} \right) \right) \quad (28)$$

## RESULT AND DISCUSSION

Carrying the integral over all  $\vec{k}$  states that has the maximum energy is the Fermi energy  $E_F$ , we arrive at the following expression for paramagnetic and diamagnetic susceptibility

$$\chi_{para}(q) = \mu_B^2 DOS(E_F) \left( \frac{1}{2} + \frac{1 - \left( \frac{q}{2k_F} \right)^2}{\frac{2q}{k_F}} \ln \left| \frac{q + 2k_F}{q - 2k_F} \right| \right) \quad (29)$$

$$\chi_{dia}(q) = -\frac{\mu_B^2 DOS(E_F)}{3} \frac{1}{8 \left( \frac{q}{2k_F} \right)^2} \left( 1 + \left( \frac{q}{2k_F} \right)^2 - \frac{\left( 1 - \left( \frac{q}{2k_F} \right)^2 \right)^2}{\frac{q}{k_F}} \ln \left| \frac{q + 2k_F}{q - 2k_F} \right| \right) \quad (30)$$

Our result is similar to those of Pauli paramagnetic and Landau-Peierls susceptibility. The limit for small  $q \rightarrow 0$  is the same as Eq 1 and 2. Therefore, we can that the magnetic properties of electron in an infinite quantum well behave like those of conduction electron in a metal.

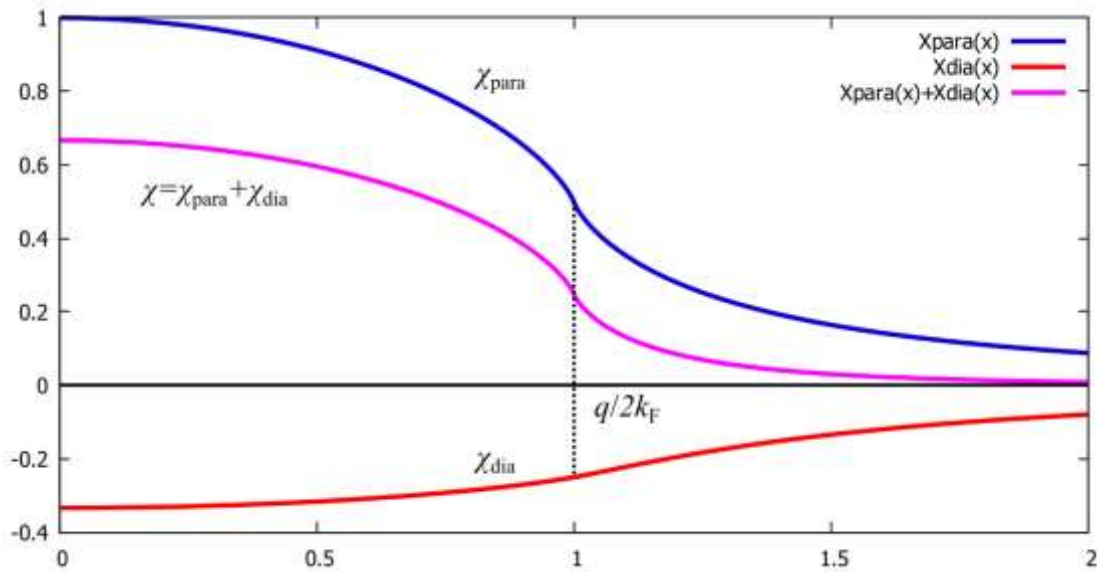
In a static magnetic field limit, the total susceptibility seems to indicate a paramagnetic state (see Figure 2).

$$\chi = \lim_{q \rightarrow 0} (\chi_{para}(q) + \chi_{dia}(q)) = \frac{2}{3} \mu_B^2 DOS(E_F) \quad (31)$$

However, in a more general system, collective movement of electrons that responsible for paramagnetism can have different effective mass than diamagnetism. Since  $DOS(E_F)$  is proportional to the effective mass, if consider the different effective mass, the total magnetic susceptibility is as follows

$$\chi = \left(1 - \frac{1}{3} \frac{m_{dia}}{m_{para}}\right) \mu_B^2 DOS(E_F) \quad (32)$$

When  $m_{dia} > 3m_{para}$  the system is diamagnetic.



**Figure 2.** Paramagnetic susceptibility  $\chi_{para}(q)$  and diamagnetic susceptibility  $\chi_{dia}(q)$ ,  $\chi_{para}(0)$  normalized to as a function of  $q/2k_F$ .

## CONCLUSION

To summarize, we theoretically study the paramagnetic and diamagnetic susceptibility of a system with many electrons in infinite quantum well. While paramagnetism and diamagnetism are among the simplest magnetic properties of material that are studied in basic physics, theoretical derivations of magnetic susceptibilities require second quantization formalism of quantum mechanics, we can obtain the susceptibility using first quantization formalism.

The similar expression of our result with those of Pauli paramagnetic susceptibility and Landau-Peierls indicate that the magnetic properties of confined electron in an infinite quantum well behave like those of conduction electron in a metal. This is physically important because it show that electronic wave function in confined system with vanishing boundary condition behave similar to those with a periodic boundary condition.

## REFERENCES

- [1] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons, 2013.
- [2] C. Kittel, *Introduction to solid state physics*. John Wiley & Sons, 1986.
- [3] N. W. Ashcroft and N. D. Mermin, *Solid State Physics*. Brooks/Cole, Belmont, 1976.
- [4] E. G. Batyev, "Pauli paramagnetism and Landau diamagnetism," *Physics-USpekhi*, vol. 52, no. 12, pp. 1245–1246, Dec. 2009.

- [5] W. Nolting and A. Ramakanth, *Quantum theory of magnetism*. Springer Science & Business Media, 2009.
- [6] S. Doniach and E. Sondheimer, *Green's functions for solid state physicists*. World Scientific, 1998.
- [7] D. J. Kim, *New perspectives in magnetism of metals*. Springer Science & Business Media, 1999.
- [8] M. A. Ruderman and C. Kittel, "Indirect Exchange Coupling of Nuclear Magnetic Moments by Conduction Electrons," *Phys. Rev.*, vol. 96, no. 1, pp. 99–102, 1954.
- [9] T. Kasuya, "A Theory of Metallic Ferro- and Antiferromagnetism on Zener's Model," *Prog. Theor. Phys.*, vol. 16, p. 45, 1956.
- [10] K. Yosida, "Magnetic Properties of Cu-Mn Alloys," *Phys. Rev.*, vol. 106, no. 5, pp. 893–898, 1957.
- [11] G. M. Genkin, "Dynamic Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida indirect interaction," *Phys. Rev. B*, vol. 55, no. 9, pp. 5631–5633, Mar. 1997.
- [12] A. O. Leon, J. d'Albuquerque e Castro, J. C. Retamal, A. B. Cahaya, and D. Altbir, "Manipulation of the RKKY exchange by voltages," *Phys. Rev. B*, vol. 100, no. 1, p. 14403, Jul. 2019.
- [13] L. Landau, "Diamagnetismus der Metalle," *Zeitschrift für Phys.*, vol. 64, no. 9, pp. 629–637, 1930.
- [14] R. Peierls, "Zur Theorie des Diamagnetismus von Leitungselektronen," *Zeitschrift für Phys.*, vol. 80, no. 11, pp. 763–791, 1933.
- [15] F. A. Buot and J. W. McClure, "Theory of Diamagnetism of Bismuth," *Phys. Rev. B*, vol. 6, no. 12, pp. 4525–4533, Dec. 1972.
- [16] A. B. Cahaya, A. O. Leon, M. R. Aliabad, and G. E. W. Bauer, "Equilibrium current vortices in rare-earth-doped simple metals." 2020.
- [17] S. Gasiorowicz, *Quantum physics*. John Wiley & Sons, 2007.
- [18] F. Bloch, "Quantum mechanics of electrons in crystal lattices," *Z. Phys*, vol. 52, pp. 555–600, 1928.
- [19] B. R. Nag, *Physics of quantum well devices*, vol. 7. Springer Science & Business Media, 2001.
- [20] L. D. Hicks and M. S. Dresselhaus, "Effect of quantum-well structures on the thermoelectric figure of merit," *Phys. Rev. B*, vol. 47, no. 19, pp. 12727–12731, 1993.
- [21] Y. Aharonov and D. Bohm, "Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory," *Phys. Rev.*, vol. 115, no. 3, pp. 485–491, Aug. 1959.
- [22] R. Gurtler and D. Hestenes, "Consistency in the formulation of the Dirac, Pauli, and Schrödinger theories," *J. Math. Phys.*, vol. 16, no. 3, pp. 573–584, 1975.
- [23] E. Saitoh, "Introduction," in *Spin Current*, S. Maekawa, E. Saitoh, S. Valenzuela, and Y. Kimura, Eds. Oxford University Press, 2012, pp. 3–14.
- [24] Y. Gao and Q. Niu, "Zero-field magnetic response functions in Landau levels," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 114, no. 28, pp. 7295–7300, 2017.

---

## **DETERMINATION OF MINING ZONING ANDESITE, SIRTU AND TRAS MATERIALS IN PURBALINGGA DISTRICT CENTRAL JAVA**

Ariyanto<sup>1†</sup>, Ahmad Fauzan Haryono<sup>2</sup>, Dimas Chaidir Adinugroho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mining Engineering Study Program, Faculty of Engineering, Jln. KH Ahmad Dahlan No 01 Pagesangan,  
Kecamatan Mataram, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat.

<sup>2</sup>Mining Engineering Study Program, Faculty of Science and Technology, Syarif Hidayatullah State Islamic  
University Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412,  
Indonesia

†[ariyanto@ummat.ac.id](mailto:ariyanto@ummat.ac.id)

### **ABSTRACT**

Purbalingga Regency has quite a large amount of Andesite, Sirtu and Tras Digging Materials. So a research was carried out in Purbalingga Regency to assist the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) in Determining the Mining Permit Zoning. This research was conducted only in 5 districts, namely Karangrejo District, Bojongsari District, Bobotsari District, Mrebet District and Kutasari District. The potential of Andesite Excavation Material with 2,159,081,136BCM resources spread across Karangrejo District, Bojongsari District, Bobotsari District, Mrebet District, and Kutasari District. Sirtu with 14,859,100BCM resources scattered in Karangrejo District, Bobotsari District, Bojongsari District and Mrebet District. Meanwhile, Tras with 15,510,500BCM resources which are only scattered in Karangrejo District. The determination to get the permit is closely related to the 11 parameters that have been shown in map form. Each of these parameters has a rating, weight, and value and a mining process is carried out in order to determine whether the area is suitable for permits, eligible for conditional permits, and not worthy of permits. Scores 10-19.5 are directed to be granted permission, scores 20-29.5 are directed to be eligible for conditional permission, while  $\geq 30$  are directed to be not granted permission. The potential that is directed to be eligible for a permit is andesite 1,038,841,000BCM, Sirtu 6,861,400BCM and tras 9,280,500BCM, the potential that is directed to be eligible for conditional permits is andesite 67,520,000, sirtu 4,675,000BCM and tras 1,180,000BCM, while the potential that is directed is not feasible The permits are andesite 1,052,720.0BCM, sirtu 3,226,700BCM and tras 5,050,000BCM.

**Keywords :** *Mining, Materials, Tras, Zoning*

**DOI :** *10.15408/fiziya.v3i2.17934*

## INTRODUCTION

Purbalingga Regency is one of the districts in Central Java province. Geographically, Purbalingga Regency is in the northern part bordering Pemalang Regency, the eastern and southern part is bordering Banjarnegara Regency, while the West and South part is bordering Banyumas Regency, with coordinates  $1^{\circ} 10' 00''$  LS -  $7^{\circ} 29' 00''$  LS and  $101^{\circ} 11' 00''$  BT -  $119^{\circ} 35' 00''$  BT. Administratively, the research district in the Purbalingga Regency area is as follows:

- a. North of Bojongsari District.
- b. South of Kemangkon District.
- c. West side of Padamara District.
- d. East of Kaligondang and Bukateja District.



Figure 1. Location Map of Research Areas

Purbalingga Regency has quite a large amount of andesite, sirtu and tras Digging Materials, located in Karangrejo District, Bobotsari District, Mrebet District, Bojongsari District and Kutasari District. The surrounding community has been mining the materials with simple equipment. In uncertain economic conditions, it turns out that andesite, sirtu and tras Digging Materials are very promising for local and regional development needs, as many people apply for licenses and there is mining without permits, supervision of the community or investors who will conduct mining in Purbalingga Regency is needed.

According to Van Bemmelen (1949), physiographically, the research area includes the depression zone of Central Java, part of the Bogor anticlinorium in the west and part of the kendeng anticlinorium in the east. This depression continued to West Java, in the East until the end of East Java.

Geographically, Purbalingga Regency has various topographical conditions, including: lowlands, hills and mountain rocks. Purbalingga Regency is in a basin flanked by several mountain ranges. On the west side is a series of mountains (Mount Slamet and Dieng plateau). The southern part is the Serayu Depression, which is fed by two major rivers Serayu River and its ankles, Kali Pekacangan, Kali Klawing, and Kali Gintung. Purbalingga Regency has many

springs that flow into 66 rivers with a total length of 643 km, these water sources have been used for irrigation, clean water, and bottled water. The abundance of water indicates that Purbalingga Regency is an area that has generally never experienced drought. In general, the research location has a tropical climate and experiences two seasons, namely the dry season and the rainy season. (Badan Pusat Statistik, Kabupaten Purbalingga dalam angka, 2013). Many fossils found in this formation are in the form of Molluscs, Corals and Foraminifera Fossils. Based on the fossils found in the Formation, the age of the Halang Formation to Upper Miocene (Kastowo, 1975).

For the purpose of granting permits, the Purbalingga Regency government needs research results on the Zoning of andesite, sirtu and tras Mining Permits. This research is expected to be able to determine the Zoning area of Purbalingga Regency to be given permits, conditional and unconditional permits. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sumberdaya pada kabupaten purbalingga dan penentuan layak dan tidaknya pemberian izin pertambangan pada kabupaten purbalingga  
How you get this information?

## METHODS

The resource estimate is based on the results of a survey and the exploration process in Purbalingga Regency, which is a hypothetical mineral resource. Hypothetical Mineral Resources are mineral resources whose quantity and quality are obtained based on estimates at the review survey stage (SNI 13-4726-1998). What is estimated is the average thickness, based on observations in the field of andesite thickness which is between 2 meters – 18 meters so that for andesite the average thickness is 10 meters, tras is exposed between 2 meters – 8 meters so that for tras the average thickness is 5 meters and sirtu which is exposed in the research location 0.5 meters – 1.5 meters so that for sirtu the average thickness is 1 meter.

The largest andesite excavation material is in Kutasari District and the smallest potential is Bojongsari. The potential resources of 649,943,895BCM in Kutasari and Bojongsari districts are 200,013,522BCM. The size of the potential for andesite is determined by the result of the dominant eruption of Mount Slamet towards the southeast. The potential of andesite in Kutasari District is greater because the direction of the eruption is greater towards Kutasari Subdistrict than towards other Districts located around the eruption center area of Mount Slamet. However, the difference between the potential of andesite in Kutasari and Karangrejo and Mrebet Districts is relatively small compared to Bojongsari and Bobotsari Districts.

Sirtu extracted materials are scattered in Bobotsari District of 8,326,800BCM and the smallest is in Karangrejo District of 392,700BCM, even in Kutasari District, sirtu is not found. The size of the potential for Sirtu is determined by the material transported through the river channels when it rains. In Bobotsari District, the largest potential for sirtu is due to the many river channels that pass through the area, while in Kutasari District the river channels are relatively few and not for sirtu deposition because the slope of the river flow is relatively large, while in Bobotsari District the river flow is relatively gentle and the location as a place of deposition of sirtu.

The deposits of tras excavated material are determined by volcanic material of the size of sand and fine sand (volcanic ash). tras deposits are only found in Karangrejo District of 15,510,500BCM, in other Districts this is not found because the volcanic material of the size of sand and fine sand (volcanic ash) is deposited in the east from Mount Slamet. The results of the eruption as a source of tras formation only occurred in 1 eruption so that relatively few other eruptions were directed outside the Karangrejo area so that they did not accumulate.

The determination of the appropriateness and non-existence of granting a mining permit in Purbalingga Regency is determined by 11 parameters with the calculation of rank multiplied by the weight to produce a score. The highest score is if 4 parameters have a rank of 210 and other parameters have a rank of 30 or the highest score is  $84 + 18 = 102$  and the lowest score is if the eleven parameters have a rank of 10 or the total score is 10., of which 11 parameters have an absolute value with a rank of 210. The value of the rank 30 is that it can be granted permission but it is conditional and the conditions are that these parameters have a rank of 30 and some have a rank of 10 or 20. The rank value of 20 is directed to clarify whether the location can be given permission or can be given permission but it is conditional, if the number Rank 20 has relatively many directions to be granted conditional permission, on the other hand, if the rank value is relatively small, permission can be given. The value of rank 10 is that a mining permit can be granted at the research location because it is considered the lowest score.

### **THEORETICALLY**

The marketing of Andesite, Sirtu and Tras Stone Materials is relatively simple but can also be difficult due to the lack of functioning of the established producer and consumer associations. The dependence on foreign market developments is also decisive, but in many ways it still depends on the locations of domestic growth. The relatively low value of Andesite, Sirtu and Tras Minerals causes the marketing reach to be very small, because it is related to their location.[1]

As a result of the increased demand for raw materials in the industrial and agricultural sectors, Andesite, Sirtu and Tras Mining Materials are needed to grow from year to year. Sometimes these needs cannot be met by domestic mining production, but need to be imported. This is due in addition to the inadequate specifications or quality as raw materials, especially in the manufacturing industry such as feldspar (glaze), manganese, kaolin (ultrafine) and bentonite (drilling mud), it is also caused by the potential for Andesite, Tras and Sirtu Mineral Reserves. in the country which have not been recorded in detail.[2]

General characteristics of Andesite, Gravel and Tras are:[3]

- a. Mining can be done in a simple way.
- b. The processing is also from low value to high value products.
- c. Licensing is relatively easy.

The prospects for Andesite, Gravel and Tras are different from those of metal, where by the 2000s the prospects for Andesite, Sirtu and Tras Mining were getting much better, this is due to:[4]

- a. The potential threat posed by recycling such as metallic minerals is almost minimal.
- b. The threat of substitution material, the intensity is not as strong as that of metal minerals, this is because most of the substitution comes from the minerals themselves. Likewise, the threat of a decrease in the intensity of use as a result of technological advances in the manufacture of finished goods is relatively weak.
- c. Commodity prices on the international market are relatively more stable than metal commodities which often experience price fluctuations.

Type of Land and Land Empowerment

Soil type is influenced by climate, topography, source rock, vegetation and human activities, climate and rocks are determinants of soil formation, wet climate causes weathering of source rocks to run rapidly, in

the research area the source rocks are tertiary age so that the type of soil formed is composed of sandstones, clay stones, limestone shales, marl as well as volcanic breccia and Andesite lava. The erosion of the surface of the hills and mountains will result in the debris being deposited in a relatively low place, forming a type of latosol.[5]

The types of soil found in the Purbalingga Regency area from the results of direct observations are as follows:[6]

1. Alluvial Soil.
2. Soil Latosol.
3. Soil Litosol.
4. Soil Regosol.
5. Andosol soil.
6. Soil Grumosol.
7. Podsollic Soils.

Basically, geological investigations have not been able to accurately and quantitatively determine the formation of these minerals, but they can be categorized as resources. If the investigation is carried out more carefully, using a variety of geophysical, geochemical, drilling and other methods, the mining material can be known with more certainty, both qualitatively and quantitatively. The minerals can be categorized as reserves. Mineral resources are part of mineral deposits which are expected to be economically utilized and processed further. This resource can be increased to become a reserve after a feasibility study is carried out and it is declared feasible to be mined economically and in accordance with existing technology.[7]

Resource classification (SNI 13-4726-1998) as follows:[8]

a. Hypothetical Mineral Resources

Mineral resources whose quantity and quality are obtained based on estimates at the review survey stage.

b. Inferred Mineral Resources

Mineral resources that are determined based on geological evidence, drilling, test trenches, test wells, or other sampling methods, where the data obtained from these activities are limited so that the continuity of sediment and geological data has very low confidence and is still in the stages. prospecting of mineral deposits.

c. Indicated Mineral Resource

Mineral resources that are determined based on geological evidence, drilling, test trenches, test wells, or other sampling methods, where the distance between sampling points is relatively far but sufficient to describe the continuity of deposits with a higher level of confidence than Inferred mineral resources, and have gone through the preliminary exploration stage and some of them have entered detailed exploration.

d. Measured Mineral Resources

Mineral resources that are determined based on geological evidence, drilling, test trenches, test wells, or other sampling methods, where the distance between sampling points is relatively tight so that the continuity of deposits can be ascertained with a high level of confidence, and has goes into detailed exploration.



e. Prefeasibility Resources

Mineral resources declared to be economic potential from the results of the Pre-Feasibility Study which are usually carried out in the General Exploration and Detailed Exploration areas.

f. Feasibility Resources

Mineral resources that are declared to have economic potential from the results of a Feasibility Study or from a mining activity previously carried out in a Detailed Exploration area.

Resource Assessment Methods

The calculation of reserves at the general exploration stage is different from the detailed exploration stage, the difference lies in the different exploration methods and the level of data confidence (sampling distance, amount and support). To inventory / design a prospect does not require a complicated and time consuming method. In contrast to mine construction or design, high calculation accuracy is required, so the procedure is more complicated and takes a long time.

The resource calculation methods are categorized into 2:

a. Conventional method

b. Non conventional method

Considering the above aspects, the method used is the broad method and the average factor. The choice of this method is also based on the assumption that the segments / blocks are based on the similarity of the geological deposits, the geological similarities reflect the similarities in the economy and the similarities in mining techniques.[9]

$$V = t_{av} \times L$$

Information :

V : Volume (m<sup>3</sup>)

t<sub>av</sub> : Average thickness (m)

L : Area or Area (m<sup>2</sup>)

Source: Abdul Rauf, 1998, Calculation of Mineral Deposited Reserves

The tonnage of the mineral deposits is calculated using the equation:

$$\text{Tonnage} = \text{Volume} \times \text{Density of Mineral}$$

Zoning is an area or area that has specific environmental characteristics and functions. Zoning regulations are provisions that regulate the requirements for spatial use and control which are drawn up for each zone where zoning is in accordance with the spatial plan. The Regional Spatial Planning (RTRW) policy is one of the considerations in determining the issuance of a Mining Business Permit (IUP).

## RESULT AND DISCUSSION

Mineral Resources for Andesite, Sirtu and Tras Excavation in Purbalingga Regency and Determination of Appropriateness and Unworthiness of Granting Mining Permits in Purbalingga Regency,

Andesite, Gravel and Tras Mineral Resources in Purbalingga Regency

The resource estimate is based on the results of a survey survey and the exploration process in Purbalingga Regency, which is a hypothetical mineral resource. Based on observations in the field of andesite thickness which is exposed between 2 meters – 18 meters so that for andesites the average thickness is 10 meters, tras which is exposed is between 2 meter – 8 meters so that for tras the average thickness is 5 meters and sirtu is exposed in the research location between 0.5 meter – 1.5 meters so that for sirtu the average thickness is 1 meter.

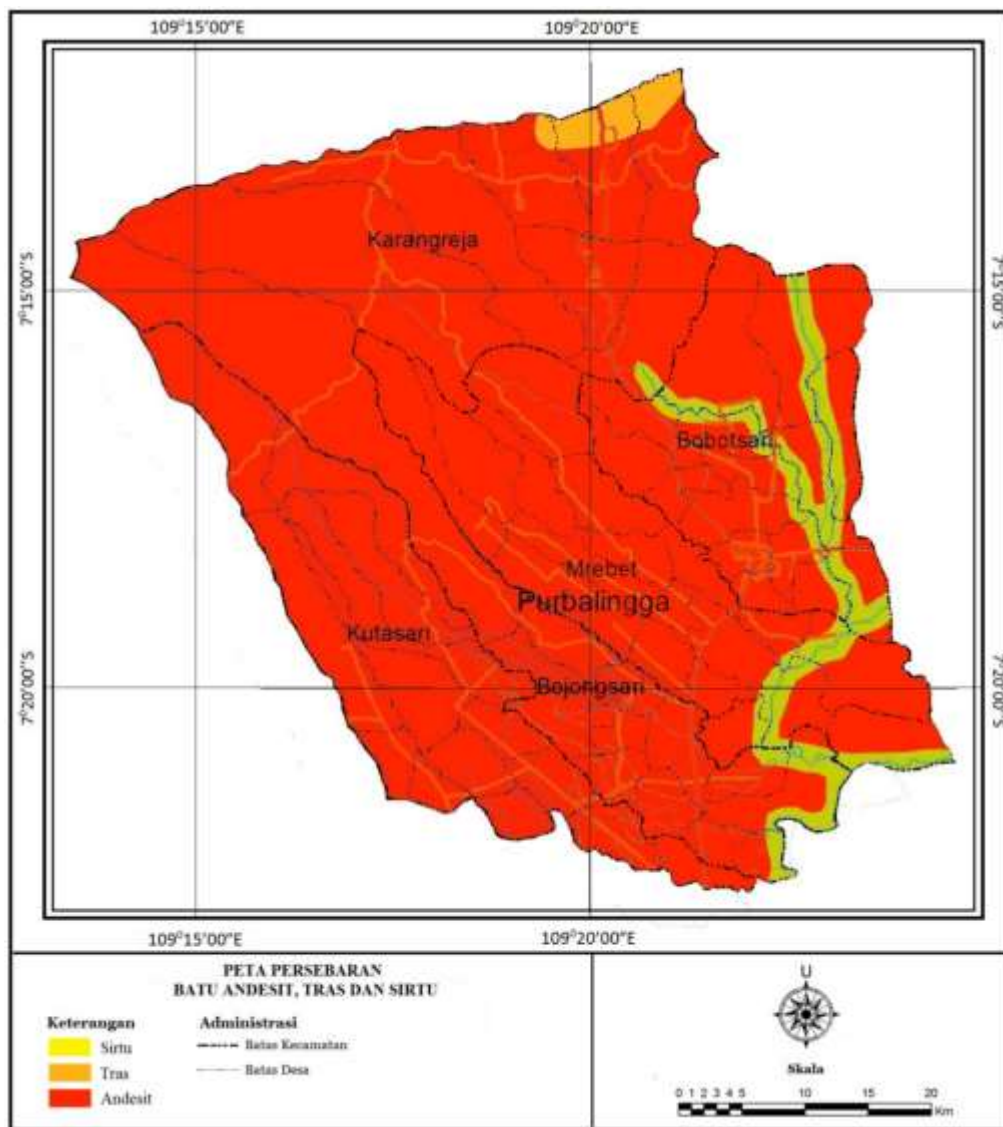


Figure 2. Map of the Distribution of Andesite, Gravel and Tras

The largest andesite excavation material is in Kutasari District and the smallest potential is Bojongsari. The potential resources of 649,943,895BCM in Kutasari and Bojongsari districts are 200,013,522BCM. Bojongsari Subdistrict has the least potential. This is influenced by the area of Bojongsari District being smaller than other Districts. Besides that, Kutasari and Bojongsari Districts are separated by an igrir (ridge) which blocks the direction of the eruption of Mount Slamet. Likewise, Bobotsari District, which is lower than Karangrejo District. The results of the eruption of Mount Slamet are mostly elevated, in this case Karangrejo District, while Bobotsari District is only the runoff from the eruption that has passed through Karangrejo District.

Table 1. Andesit Resources in Purbalingga Regency

NO	District	Large (m <sup>2</sup> )	Thickness (m)	Amount of Resource (BCM)
1	Karangrejo	56.224.567,4	10	562.245.674
2	Kutasari	64.994.389,5	10	649.943.895
3	Bobotsari	30.138.596,4	10	301.385.964
4	Bojongsari	20.001.352,2	10	200.013.522
5.	Mrebet	44.549.210,8	10	445.492.108
Total				2.159.081.136

Sirtu extracted materials are scattered in Bobotsari District of 8,326,800BCM and the smallest is in Karangrejo District of 392,700BCM, even in Kutasari District, sirtu is not found. The size of the potential for sirtu is determined by the material transported through the river channels when it rains. In Bobotsari District, the largest potential for sirtu is due to the many river channels that pass through the area, while in Kutasari District the river channels are relatively few and not for sirtu deposition because the slope of the river flow is relatively large, while in Bobotsari District the river flow is relatively gentle and the location as a place of deposition of sirtu.

Table 2. Sirtu Resources in Purbalingga Regency

NO	District	Large (m <sup>2</sup> )	Thickness (m)	Amount of Resource (BCM)
1	Karangrejo	392.711,7	1	392.700
2	Bobotsari	8.326.800,9	1	8.326.800
3	Bojongsari	2.705.510	1	2.705.500
4	Mrebet	3.434.100,9	1	3.434.100
Total				14.859.100

Tras deposits are only found in Karangrejo District of 15,510,500BCM, in other Districts this is not found because the volcanic material of the size of sand and fine sand (volcanic ash) is deposited in the east from Mount Slamet. The deposits of Tras excavated materials are determined by volcanic material with the size of sand and fine sand from the eruption which only occurs in 1 volcanic eruption.

Table 3. Tras Resources in Purbalingga Regency

NO	District	Large (m <sup>2</sup> )	Thickness (m)	Amount of Resource (BCM)
1	Karangrejo	3.102.135,48	5	15.510.500
Total				15.510.500

#### Determination of the Appropriateness and Not the Granting of Mining Permits in Purbalingga Regency

The determination of whether a permit is granted or not is determined by 11 parameters, of which 11 parameters have an absolute value with rank 210. Rank multiplied by weight gives a score. The highest score is if 4 parameters have a rank of 210 and other parameters have a rank of 30 or the highest score is  $84 + 18 = 102$  and the lowest score is if all eleven parameters have a rank of 10 or the total score is 10.

The potential for andesite that can be granted a license is 1,038,841,000BCM, which can be granted a conditional license of 67,520,000BCM and those that are not granted a license of 1,052,720,000BCM. For gravel mining materials that can be granted a permit of 6,861,400BCM, those that are granted a conditional license of 4,675,000BCM and those that are not eligible to be granted a permit of 3,226,700BCM. Tras mining materials that can be granted a license are 9,280,500BCM, those granted are eligible for conditional permits of 1,180,000BCM and those that are not granted a permit are 5,050,000BCM.

## CONCLUSION

From the results of this research is the volcanic eruption which determines the potential magnitude of the Andesite. The biggest potential is in Kutasari Subdistrict with 649,943,895BCM and the smallest is Bojongsari Subdistrict with 200,013,522BCM. The potential for Sirtu is largely determined by the number and slope of the river channel, the largest potential for Sirtu in Bobotsari District of 8,326,800BCM and Sirtu which is not found in Kutasari District. Meanwhile, the Tras Resource was influenced by the eruption of Mount Slamet, which was the size of sand and fine sand (volcanic ash), only found in Karangrejo District at 15,510,677BCM.

The determination of whether permission is granted is seen from 11 parameters, parameters that have rank 210 are absolutely not granted permission, parameters that have rank 30 are given conditional permission, parameters that have rank 20 to clarify directions can be given permission and can be given conditional permission, and parameters with rank 10 of his directions were given permission.

The potential for andesite that can be granted a license is 1,038,841,000BCM, which can be granted a conditional license of 67,520,000BCM and those that are not granted a license of 1,052,720,000BCM. For gravel mining materials that can be granted a permit of 6,861,400BCM, those that are granted a conditional license of 4,675,000BCM and those that are not eligible to be granted a permit of 3,226,700BCM. Tras minerals that can be granted a license are 9,280,500BCM, those that are granted a conditional permit of 1,180,000BCM and those that are not granted a permit are 5,050,000BCM.

## REFERENCES

- [1] Abdul Rauf, 1998, *Perhitungan Cadangan Endapan Mineral*, Jurusan Teknik Pertambang Fakultas Teknologi Mineral UPN "Veteran" Yogyakarta.
- [2] Allison Djuri, 1996, *Genealogy in Massachusetts*.
- [3] Bemmelen, 1967, Van R.W., *THE GEOLOGI OF INDONESIA*, Volume 1A, General Geology of Indonesia and Adjacent Archipelagoes, Government Printing Office, The Hague.
- [4] Freed R David, 2001, *Strategic Management*, Francis Marion University Florance, Sourth Calorina.
- [5] Robert S Yeats, dkk, *Geology Of Eartquakes*, January 1997, Newyork.
- [6] Saryono, dkk, 1992, *PROSPEK BAHAN GALIAN DI PROPINSI JAWA TENGAH*, Laporan Ekonomi Bahan Galian Nomor 104, Pusat Penelitian Teknologi Mineral, Bandung.
- [7] Simpson, *Stuctural Geology*, 1086.
- [8] Badan Standar Nasional Indonesia Amandemen I SNI 13-5014-1998, 1998, *Klasifikasi Sumber Daya dan Cadangan Batubara*, Rancangan Standar Nasional Indonesia.
- [9] Sukandarrumidi, 1999, *Bahan Galian Industri* , Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

## **ANALISIS DATA *INDUCED POLARIZATION* DALAM MENDUGA ZONA MINERALISASI LOGAM DAERAH GODEAN, KABUPATEN SLEMAN DIY**

Chandra Agus Rivananta <sup>1†</sup>, Refita Khumayroh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Geofisika, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional  
“Veteran” Yogyakarta, Jalan Padjajaran No. 104, Condongcatur, Depok, Sleman, DIY

<sup>†</sup>[rivananta17@gmail.com](mailto:rivananta17@gmail.com)

### **Abstrak.**

Keberadaan logam tersebar di dalam batuan dan biasa terikat dengan mineral bijih dan unsur kimia lainnya. Keberadaan mineral itu sendiri berhubungan dengan naiknya larutan hidrotermal dipermukaan melalui celah-celah batuan kemudian terendapkan. Pengendapan mineral yang terjadi di celah/rekahan/rongga batuan menyebabkan keberadaan mineral logam tersebar dan tidak terkonsentrasi di satu titik. Metode geofisika yang mampu memberi gambaran bawah permukaan mengenai keberadaan mineral logam di dalam batuan yaitu Metode Induksi Polarisasi (IP) kawasan waktu dengan menggunakan konfigurasi dipole-dipole. Metode IP mengamati polarisasi yang terjadi pada batuan yang mengandung mineral logam ketika batuan di aliri arus listrik. Hasil pengolahan data IP berupa penampang 2D dengan parameter yang terukur yaitu nilai chargeabilitas dan nilai resistivitas merupakan parameter untuk menentukan keberadaan zona mineralisasi logam. High chargeabilitas yang didukung dengan low resistivitas mengindikasikan adanya zona mineralisasi logam di daerah tersebut. Pada daerah penelitian, pada lintasan 1 nilai resistivitas yang terukur yaitu 9,84  $\Omega\text{m}$  – 1803  $\Omega\text{m}$  (Penampang pertama) dan nilai chargeabilitas yang terukur adalah 0 ms – 140 ms (Penampang kedua). Pada lintasan 2 nilai resistivitas yang terukur yaitu 12,5  $\Omega\text{m}$  – 743  $\Omega\text{m}$  (Penampang pertama) dan nilai chargeabilitas yang terukur adalah 0,0013 ms – 52,3 ms (Penampang kedua). Daerah penelitian terdapat zona mineralisasi pirit dominan dengan kadar sulfida Cu-Pb-Zn sangat rendah.

**Kata Kunci :** *Godean, Mineralisasi, Pirit, Polarisasi Terimbas*

### **Abstract.**

The presence of metals is spread in rocks and is usually bound to mineral ores and other chemical elements. The existence of the mineral itself is related to the rise in surface hydrothermal solution through the cracks of rock and then deposited. Precipitation of minerals that occur in cracks / fractures / cavities of rocks causes the presence of scattered metal minerals and are not concentrated at one point. The geophysical method which is able to give a subsurface description of the presence of metal minerals in rocks is the Polarization Induction Method (IP) of the time region by using a dipole-dipole configuration. The IP method observes the polarization that occurs in rocks that contain metal minerals when the rocks flow through an electric current. The results of IP data processing in the form of 2D cross section with measured parameters namely the value of the chargeability and resistivity value are parameters to determine the presence of metal mineralized zones. High chargeability supported by low resistivity indicates a zone of metal mineralization in the area. In the study area, on the 1st track the measured resistivity value is 9.84  $\Omega\text{m}$  - 1803  $\Omega\text{m}$  (first cross section) and the measured chargeability value is 0 ms - 140 ms (second cross section). At trajectory 2 the measured resistivity value is 12.5  $\Omega\text{m}$  - 743  $\Omega\text{m}$  (first cross section) and the measured chargeability value is 0.0013 ms - 52.3 ms (second cross section). The research area has a zone of dominant pyrite mineralization with very low levels of Cu-Pb-Zn sulfide.

**Keywords :** *Godean, Induced Polarization, Mineralization, Pyrite*

DOI : 10.15408/fiziya.v3i2.18159

## PENDAHULUAN

Meningkatnya permintaan industri terhadap bahan-bahan logam disamping menjaga ketersediaan sumber daya mineral logam itu sendiri mendorong dilakukannya berbagai eksplorasi mineral logam. Hal ini terlihat dengan semakin berkembangnya perusahaan-perusahaan di dunia maupun di Indonesia yang melakukan eksplorasi mineral. Kurangnya informasi mengenai tempat-tempat yang memiliki potensi mineral logam menjadi kendala dalam melakukan eksplorasi tersebut.

Keberadaan logam tersebar di dalam batuan dan biasa terikat dengan mineral bijih dan unsur kimia lainnya [1]. Keberadaan mineral itu sendiri berhubungan dengan naiknya larutan hidrotermal dipermukaan melalui celah-celah batuan kemudian terendapkan. Pengendapan mineral yang terjadi di celah/rekahan/rongga batuan menyebabkan keberadaan mineral logam tersebar dan tidak terkonsentrasi di satu titik [2]. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode geofisika yang dapat mendeteksi sebaran mineral tersebut sehingga dapat ditentukan zona mineralisasi logam.

Metode geofisika yang mampu memberi gambaran bawah permukaan mengenai keberadaan mineral logam di dalam batuan yaitu Metode Induksi Polarisasi (IP) kawasan waktu dengan menggunakan konfigurasi dipole-dipole. Metode IP mengamati polarisasi yang terjadi pada batuan yang mengandung mineral logam ketika batuan di aliri arus listrik. Efek polarisasi yang terukur dinyatakan dalam chargeabilitas. Nilai Chargeability adalah nilai kemampuan suatu batuan ataupun mineral untuk dipolarisasi oleh arus listrik. Setiap batuan memiliki nilai Chargeability sendiri, bergantung kepada beberapa hal seperti kandungan mineral logam/non-logam, ukuran butir, derajat pembudaran, derajat pemilahan, dsb. Metode ini sering digunakan dalam eksplorasi mineral sulfida yaitu pirit, galena, dan emas yang berasosiasi dengan mineral sulfide [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zona mineralisasi daerah Godean, Kabupaten Sleman melalui nilai Chargeability dari mineral-mineral pada batuan dibawah permukaan dan juga menentukan jenis litologi. Dan memiliki tujuan yang didukung dengan cara menghasilkan penampang 2D yang menampilkan range nilai Resistivitas dan Chargeability sehingga mampu menunjukkan kenampakan litologi serta zona mineralisasi pada daerah Godean ini secara lateral menggunakan software RES2Dinv.

## METODE

### Tinjauan Geologi

Geologi Yogyakarta tengah atau cekungan Yogyakarta, terlihat dari adanya kompleks batuan beku di daerah Godean berupa intrusi mikrodiorit / andesit porfir, batuan subvulkanik – lava andesit sampai dasit, serta setempat dijumpai batuan vulkaniklastika. Batuan beku pada daerah Godean ditunjukkan dengan magma tipe menengah – asam (55.0 – 66.9% SiO<sub>2</sub>) menyebutkan pada daerah Godean terjadi proses diferensiasi magma mulai dari basalt menuju dasit, dengan afinitas toleitik sampai kapur-alkali yang juga terdefenisi berada sebagai magmatisme busur kepulauan dengan kedalaman subduksi sekitar 132-141 km. Batuan beku daerah Godean memiliki mineral kaya potassium seperti sanidin dan biotit yang hadir sebagai fenokris dalam mikrodiorit dan dasit. Hal ini menunjukkan bahwa batholit dari sistem magmatisme daerah Godean dimungkinkan adalah Monzonitik – Granodiorit dimana hal ini sedikit berbeda dengan daerah pegunungan selatan lainnya yang tidak memiliki komposisi K-Feldspar. menunjukkan adanya tekstur khusus dan mineralogi penciri pembawa mineralisasi baik pada batuan intrusi maupun pada batuan subvulkanik, seperti pada Berjo dan Butak, berkomposisi andesitik memiliki karakteristik mineralogi yang unik yaitu dengan adanya mineral asesori seperti epidot - hematit yang tersebar bersama dengan lubang miarolitik dan diinterpretasi sebagai hasil dari proses trasisi magmatik menuju hidrotermal , dengan tubuh intrusi diinterpretasi berdasarkan data geofisika

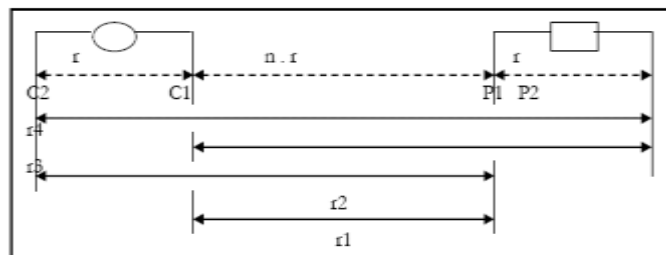
menerus lebih dari kedalaman 800 m dan membesar kebawah permukaan membentuk tubuh batuan beku besar / batolitik.

Vulkanisme pada daerah Godean, diinterpretasi sebagai hadirnya batuan subvulkanik andesit – dasit dan kubah lava dasitik pada Gunung Wungkal, yang diikuti alterasi hidrotermal. Interpretasi berdasarkan kajian data sekunder (geofisika, struktur, geologi, geokimia) menunjukkan kemungkinan adanya sistem kaldera di daerah Godean dengan diameter sekitar 15 km, dimana Kalisongo dan Mujil sebagai batuan yang berelasi intrusif yang membentuk gunungapi pada tepi kaldera, sedangkan Godean adalah bagian dari gunungapi membentuk intrusi dan kubah lava berada di dalam kaldera.

### Metode *Induced Polarization* (IP)

Metode IP pada umumnya digunakan pada eksplorasi logam dasar. Parameter yang terukur adalah Chargeabilitas yang dapat digunakan untuk membedakan sifat polarisabel bawah permukaan. Respon Chargeabilitas tinggi akan menunjukkan indikasi adanya mineral logam [3]. Chargeabilitas akan semakin tinggi ketika suatu logam dengan kandungan sulfida semakin tinggi, dan akan mengecil nilainya jika ukuran butirnya semakin besar, sedangkan dari nilai resistivitasnya tidak turun menerus terhadap kenaikan kandungan fluida [4].

### Konfigurasi Dipole-Dipole



**Gambar 1.** Konfigurasi Dipole-Dipole

Konfigurasi dipole-dipole lebih banyak digunakan dalam eksplorasi mineral-mineral sulfida dan bahan-bahan tambang dengan kedalaman yang relatif dangkal. Hasil akhir dipole-dipole berupa penampang, baik secara *horizontal* maupun secara vertikal.

$$\Delta V = \frac{\rho l}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\rho = \pi(2 + n)(1 + n)nr \left( \frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2)$$

$$k = \pi(2 + n)(1 + n)nr \quad (3)$$

Dimana :

I = arus listrik (mA) pada *transmitter*

V = beda potensial (mV) pada *receiver*

R = resistivitas semu

K = faktor geometris

r = jarak elektrode

n = bilangan pengali



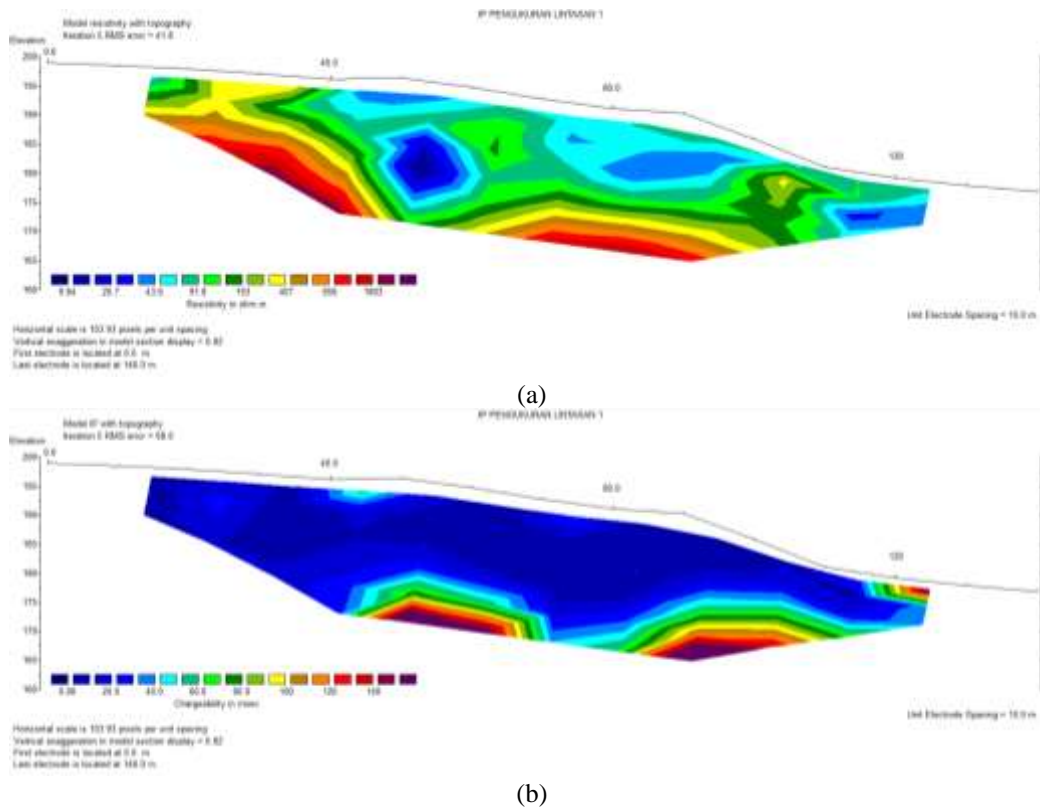
### Akuisisi Data



Gambar 2. Lokasi Pengambilan Data

Akuisisi data dilakukan di Bukit Pandawa, Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman. Akuisisi ini dilakukan dengan membentangkan 2 lintasan yang berarah barat-laut-tenggara dengan Panjang bentangan 200 meter dan spasi antar titik 10 meter.

### HASIL



Gambar 3. Penampang IP Lintasan 1 (a) Penampang Resistivitas; (b) Penampang Chargeabilitas

Hasil pengolahan data IP didapatkan berupa penampang 2D (Gambar 3) dengan parameter yang terukur yaitu nilai chargeabilitas dan nilai resistivitas merupakan parameter untuk menentukan keberadaan zona mineralisasi logam. *High* chargeabilitas yang didukung dengan *low* resistivitas mengindikasikan adanya zona mineralisasi logam di daerah tersebut [5]. Pada daerah penelitian,

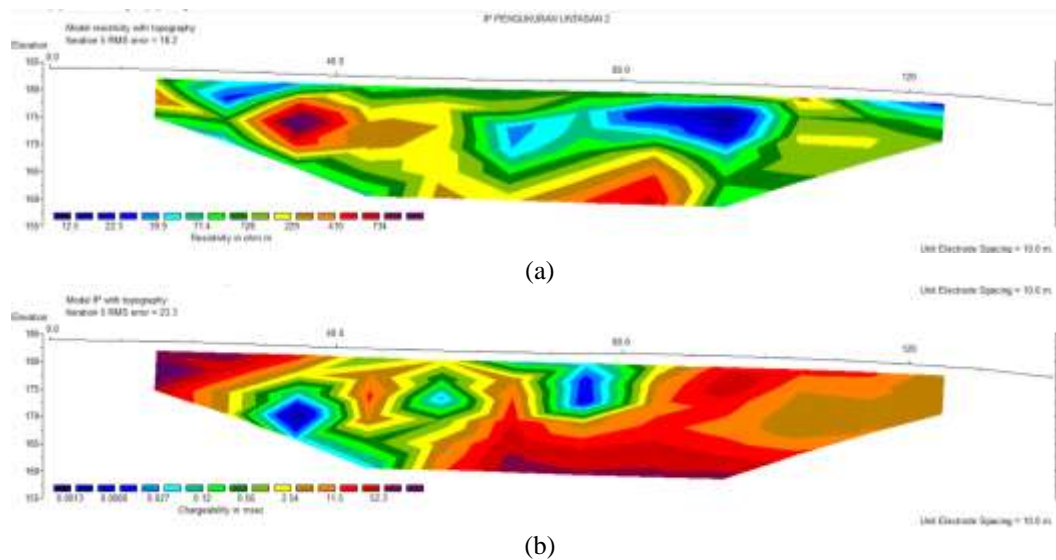
nilai resistivitas yang terukur yaitu  $9,84 \Omega\text{m} - 1803 \Omega\text{m}$  (Penampang pertama) dan nilai chargeabilitas yang terukur adalah  $0 \text{ ms} - 140 \text{ ms}$  (Penampang kedua).

Adapun litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas [6] yaitu :

1. Nilai resistivitas antara  $9,84 \Omega\text{m} - 43,6 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas rendah (*low resistivitas*) yakni aluvium.
2. Nilai resistivitas antara  $91,8 \Omega\text{m} - 407 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas sedang yakni batulempung.
3. Nilai resistivitas antara  $856 \Omega\text{m} - 1803 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas tinggi yakni mungkin kuarsa atau batutulis.

Berdasarkan nilai chargeabilitas tersebut, dapat diklasifikasikan menjadi 3 zona yaitu [7]:

1. Chargeabilitas  $0 \text{ ms} - 40 \text{ ms}$  : zona yang mungkin mengandung *pyrite* sedikit
2. Chargeabilitas  $60 \text{ ms} - 100 \text{ ms}$  : zona yang hanya sedikit mengandung mineral logam (*pyrite*)
3. Chargeabilitas  $120 \text{ ms} - 140 \text{ ms}$  (*high chargeabilitas*) : zona yang banyak mengandung mineral logam (*pyrite*)



**Gambar 4.** Penampang IP Lintasan 2 (a) Penampang Resistivitas; (b) Penampang Chargeabilitas

Hasil pengolahan data IP didapatkan berupa penampang 2D (**Gambar 4**) dengan parameter yang terukur yaitu nilai chargeabilitas dan nilai resistivitas merupakan parameter untuk menentukan keberadaan zona mineralisasi logam. High chargeabilitas yang didukung dengan low resistivitas mengindikasikan adanya zona mineralisasi logam di daerah tersebut [5]. Pada daerah penelitian, nilai resistivitas yang terukur yaitu  $12,5 \Omega\text{m} - 734 \Omega\text{m}$  (Penampang pertama) dan nilai chargeabilitas yang terukur adalah  $0,0013 \text{ ms} - 52,3 \text{ ms}$  (Penampang kedua).

Adapun litologi batuan berdasarkan nilai resistivitas [6] yaitu :

1. Nilai resistivitas antara  $12,5 \Omega\text{m} - 39,9 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas rendah (*low resistivitas*) yakni batulempung.
2. Nilai resistivitas antara  $71,4 \Omega\text{m} - 229 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas sedang yakni batupasir.
3. Nilai resistivitas antara  $410 \Omega\text{m} - 734 \Omega\text{m}$  sebagai resistivitas tinggi yakni mungkin kuarsa atau batutulis.

Berdasarkan nilai chargeabilitas tersebut, dapat diklasifikasikan menjadi 3 zona yaitu [7]:

1. Chargeabilitas  $0,0013 \text{ ms} - 0,027 \text{ ms}$  : zona yang mungkin mengandung mineral *hematite*
2. Chargeabilitas  $0,12 \text{ ms} - 2,54 \text{ ms}$  : zona yang mungkin mengandung *malacite* atau *magnetite*
3. Chargeabilitas  $11,5 \text{ ms} - 52,3 \text{ ms}$  (*high chargeabilitas*) : zona yang mengandung *chalcopyrite*, atau *pyrite*.

Jika dilihat dari **Gambar 3.** dan **Gambar 4.** disesuaikan penjelasan dari Buna, et.al (2015), daerah penelitian pada lintasan 1 dan 2 terdapat daerah mineralisasi yang ditunjukkan respon nilai chargeabilitas dan resistivitas. Karena Buna menjelaskan saat *High* chargeabilitas yang didukung dengan *low* resistivitas mengindikasikan adanya zona mineralisasi logam yang berasosiasi dengan batulempung di daerah tersebut. Berdasarkan studi literatur yang dilakukan kemungkinan mineralisasi yang terjadi merupakan mineralisasi pirit dominan dengan kadar sulfida Cu-Pb-Zn sangat rendah.

## KESIMPULAN

Setelah dilakukan akuisisi data dan pengolahan lalu dilanjutkan interpretasi langkah terakhir yaitu penarikan kesimpulan dari hasil interpretasi. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan pada lintasan 1 litologi yang didapatkan berupa alluvium, batulempung dan mineral kuarsa, dengan kemungkinan jenis mineralisasi yang terbentuk merupakan mineralisasi pirit berdasarkan data *chargeabilitas*. Sedangkan pada lintasan 2 litologi yang didapatkan berupa batu lempung, batu pasir dan mineral kuarsa, dengan kemungkinan jenis mineralisasi yang terbentuk beragam berdasarkan table *chargeability* seperti *hematite*, *malacite*, *magnetite*, *pyrite* dan *chalcopyrite*. Serta dari studi literatur yang dilakukan didapatkan bahwa mineralisasi yang didapatkan berupa mineralisasi pirit dominan dengan kadar sulfida Cu-Pb-Zn sangat rendah.

## REFERENSI

- [1] Sukandarrumidi, Geologi Mineral Logam, Yogyakarta: UGM Press, 2007.
- [2] T. Arizona, Pemetaan Zona Mineralisasi Emas Blok "Aput" Kecamatan Batang Asai, Kabupaten Sarolangun, Provinsi Jambi Menggunakan Metode IP Frekuensi Domain Konfigurasi Dipole-dipole, Yogyakarta: Tidak dipublikasikan, 2012.
- [3] Yatini, D. Santoso, A. Laesanpura and B. Sulistijo, "Studi Pemodelan Respon Polarisasi Terinduksi dalam Kawasan Waktu (TDIP) Terhadap Mineral Logam, Sebuah Hasil Awal," *Indonesian Journal of Applied Physics*, vol. 4, no. 2, pp. 162-170, 31 Oktober 2014.
- [4] W. J. Scott and G. F. West, "Induced Polarization of Synthetic, High-Resistivity Rock Containing Disseminated Sulfides," *Geophysics*, vol. 34, no. 1, pp. 87-100, 1969.
- [5] H. Buna, R. Effendi and Sandra, "Studi Zona Mineralisasi Logam Menggunakan Metode Induksi Polarisasi (Ip) Di Desa Bale Kecamatan Tanantovea Kabupaten Donggala," *Gravitasi*, vol. 14, no. 2, 2015.
- [6] W. M. Telford, Applied Geophysics, 2nd ed., Melbourne: Cambridge University Press, 1990.
- [7] Anonim, "Eksplorasi Geofisika : Metode Geolistrik," Januari 2016. [Online]. Available: <http://www.tukangbatu.com/2016/01/eksplorasi-geofisika-metode-geolistrik.html>. [Accessed 1 November 2019].

## Alat Pengukur Saturasi Oksigen Dalam Darah Menggunakan Metode Photoplethysmograph *Reflectance*

Candra Rizki Nugroho<sup>1</sup>, Elvan Yuniarti<sup>1†</sup>, Ambran Hartono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

† [elvan.yuniarti@uinjkt.ac.id](mailto:elvan.yuniarti@uinjkt.ac.id)

### ABSTRAK

Kekurangan oksigen pada tubuh dapat menyebabkan tubuh merasa mudah lelah, letih dan mengantuk, ini dikarenakan oksigen berperan sebagai salah satu sumber energi bagi tubuh selain nutrisi. Salah satu alat yang dapat mendiagnosa tubuh seseorang kekurangan oksigen adalah oximeter. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun *hardware* serta *software* alat ukur saturasi oksigen menggunakan metode PPG *reflectance* menggunakan arduino Nano dan sensor MAX30100, menentukan karakteristik, membandingkan hasil pengukuran dengan alat pengukur saturasi oksigen yang menggunakan metode *transmittance*. Hasilnya telah berhasil merancang dan membangun alat pengukur saturasi oksigen (SpO<sub>2</sub>) dengan menggunakan sensor MAX30100 dan arduino Nano yang dapat dimonitoring pada HP menggunakan *bluetooth* HC-05 dengan jangkauan kurang dari 140 m pada ruang terbuka dengan tanpa halangan, waktu respon 5 detik, memiliki ketelitian pengukuran rata-rata di atas 96 % serta keakuratan sebesar 95,2%.

Kata kunci : Arduino Nano, MAX30100, Oksigen, Oximeter, SpO<sub>2</sub>

### ABSTRACT.

*Lack of oxygen in human body can cause the body to easily feel tired, exhausted and sleepy. It happens because oxygen acts as a source of energy for human body besides nutrition. There is an device that can diagnose the lack of oxygen in human body called oximeter. This study aims to design and build both hardware and software to measure the oxygen saturation with the PPG reflectance by using arduino and max30100 sensor, determine the characteristic, and to compare the measurement results with oxygen saturation gauges device that uses transmittance method then analyze it. The results of this study are the oxygen saturation gauges device has been designed and built by using the MAX30100 sensor and arduino Nano that can be monitored on a cellphone using Bluetooth HC-05 with a range of less than 140 m in open space without obstacle, 5 seconds of response time, has an average measurement accuracy above 96% and an accuracy of 95.2%.*

*Keywords: Arduino Nano, MAX30100, Oxygen, Oxymeter, SpO<sub>2</sub>*

*DOI : 10.15408/fiziya.v3i2.17721*

## PENDAHULUAN

Oximeter adalah alat yang digunakan untuk memonitor keadaan jumlah oksigen dalam darah tanpa harus melalui tes darah (*non-invasive*). Alat ini memanfaatkan sifat gelombang cahaya infrared dan LED merah yang dapat menembus jaringan dan dipantulkan kembali oleh tulang atau jaringan lain dalam tubuh serta sensor cahaya sebagai penerima gelombang cahaya. Pada penelitian ini, bertujuan merancang bangun alat oximeter, mengkarakteristiknya dan membandingkan dengan alat yang dibangun dengan metode reflektan dan metode transmitan buatan pabrik .

### Darah

Darah merupakan salah satu jaringan tubuh dalam sistem pembuluh darah yang sebenarnya tertutup. Darah dibagi dalam dua fungsi yaitu fungsi respirasi dan fungsi gizi. Fungsi respirasi yaitu sebagai pengangkut oksigen (O<sub>2</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Dalam satu sel darah terdiri dari *hemoglobin, eritrosit, hematrosit, retikulosit, laju endap darah, trombosit, dan lekosit* [1][2].

### Photosplethysmograph (PPG)

*Photoplethysmography* atau PPG merupakan metode yang digunakan untuk mengukur perubahan volume darah pada pembuluh darah yang dekat dengan lapisan kulit manusia berbasis optik secara non invasif. PPG memiliki dua metode pengukuran secara transmitan dan reflektans[3]. Prinsip kerja PPG hanya memerlukan beberapa komponen sumber cahaya yang panjang gelombangnya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan sebuah photodetektor untuk merubah perubahan radiasi gelombang cahaya menjadi sama dengan perubahan volume darah [Formatting Citation]. Metode PPG adalah metode yang berbasis optik, pengukurannya meliputi jumlah foton yang dikirimkan pada suatu titik terhadap satuan waktu tertentu disebut dengan intensitas (I). Karena cahaya bergerak dengan kecepatan yang konstan yaitu,  $c = 3 \times 10^8$  m/s dan nilai absorpsi berbanding lurus dengan panjang lintasan yang harus dilalui cahaya. Ketika panjang lintasan mempunyai satuan cm, dan konsentrasi zat penyerap mempunyai satuan Molaritas, maka nilai konstanta proposional tersebut disebut Absorbtivitas Molar. Maka koefisien atenuasi molar ( $\epsilon$ ) zat mempunyai satuan  $M^{-1}cm^{-1}$  sehingga menjadi,

$$A = \epsilon \times l \times c \quad (1)$$

Dimana:

A = Nilai absorpsi

$\epsilon$  = koefisien atenuasi molar

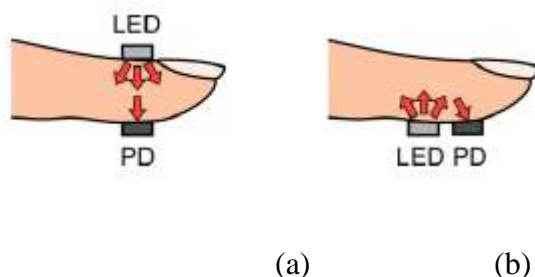
l = panjang lintasan

c = konsentrasi zat

Pengukuran ini mempunyai dua metode yaitu *transmittance* dan *reflectance*.

Metode *transmittance* dilakukan yaitu dengan cara meletakkan jari diantara LED dan fotodiode. Pada metode ini, sumber cahaya akan melewati/menembus pembuluh darah untuk mengukur perubahan volume darah sebelum cahaya diterima oleh fotodiode. Kelemahan pada metode ini yaitu terbatasnya area yang dapat diukur, hanya pada bagian jari tangan, jari kaki, hidung, pipi, lidah dan daun telinga saja yang dapat diukur[8][9].

Sedangkan pada metode *reflectance* dilakukan dengan cara meletakkan jari di atas sumber cahaya dan fotodiode dengan posisi sejajar. Sumber cahaya akan melalui pembuluh darah dan dipantulkan dari jaringan, tulang dan pembuluh darah menuju fotodiode. Metode ini dapat diaplikasikan pada bagian kulit tubuh mana saja yang terdapat pembuluh darah[10] [11].

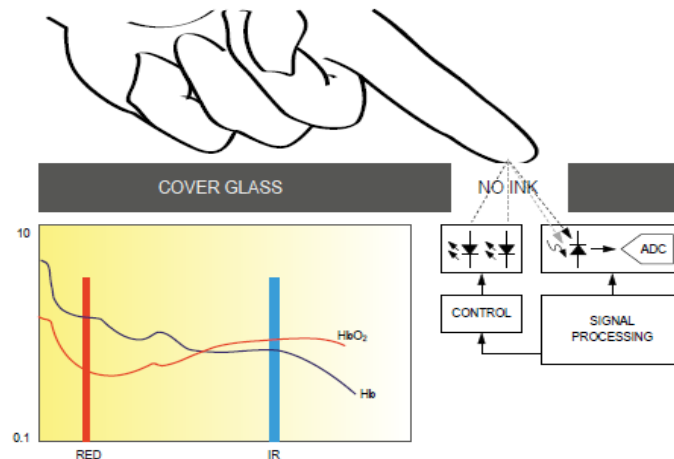


Gambar 1 Metode PPG (a) Transmittance (b) Reflectance

### Sensor MAX30100

Sensor MAX30100 adalah pulse sensor yang terintegrasi dan digunakan untuk memonitoring SpO<sub>2</sub> dan denyut jantung secara *non-invasive* [12]. Sensor MAX30100 terdiri dari dua *Light Emitting Dioda* (LED) yaitu LED merah dan infrared serta sebuah photodetektor dengan pemrosesan sinyal

analog noise rendah [13]. Darah yang mengandung oksigen akan menyerap panjang gelombang yang dihasilkan oleh infrared yaitu sebesar 900 nm sedangkan darah yang tidak mengandung oksigen akan menyerap panjang gelombang yang dihasilkan oleh LED merah yaitu sebesar 650 nm [14].



**Gambar 2** Prinsip Kerja Sensor MAX30100

Dari gambar di atas dapat dilihat ilustrasi prinsip kerja dari sensor MAX30100. Cahaya dari LED merah hanya menyerap hemoglobin saja sedangkan cahaya dari infrared akan menyerap hemoglobin yang mengandung oksigen. Perbedaan penyerapan ini menjadi acuan untuk menentukan saturasi oksigen.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Waktu dan Tempat

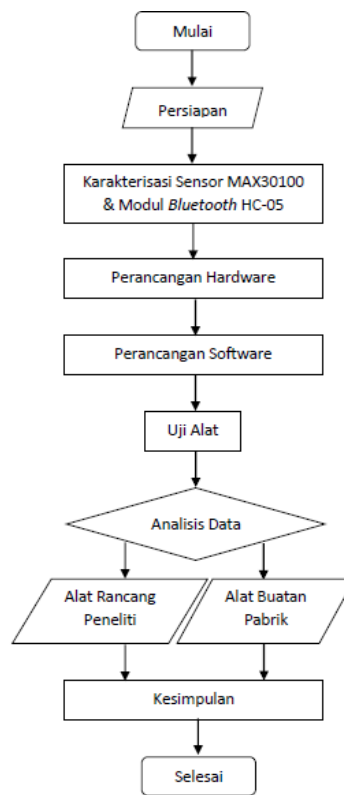
Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan terhitung dari 15 Juni 2019 – 31 September 2019, bertempat di gedung Pusat Laboratorium Terpadu (PLT) Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.

### Peralatan Penelitian

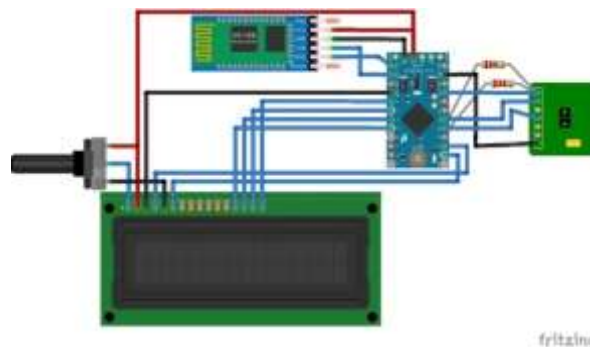
Peralatan pada penelitian ini menggunakan dua jenis perangkat, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Komponen dan alat yang digunakan pada perangkat keras diantaranya Sensor Max30100, Arduino Nano, USB Serial Cable A/B, Resistor 4.7k  $\Omega$ , kabel *male-female*, *Project Board*, *Bluetooth HC-05*, *Liquid Crystal Display (LCD) 16x2*, Laptop, *Handphone Android*, *Pulse Oximeter* dan papan *Arklik*. Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan yakni IDE Arduino dan *RemoteXY*.

### Tahapan dan Alur Penelitian





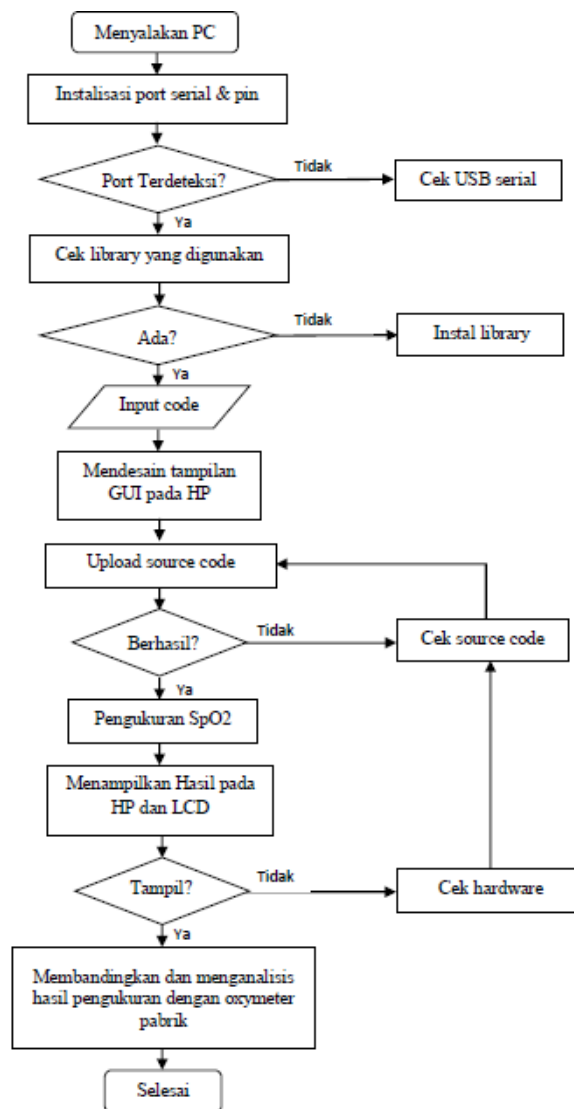
Pada perancangan *hardware* alat pengukur saturasi oksigen dalam darah, sensor MAX30100 di letakkan pada sebuah ruang kecil berwarna gelap sehingga saat pengukuran berlangsung didapatkan data yang maksimal dan mengurangi *noise*. Desain perancangan *hardware* alat pengukur kadar oksigen dalam darah dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 3.** Rancangan *Hardware*

Pada Gambar di atas, terdapat dua resistor yang digunakan sebagai *pull-up* untuk sensor MAX30100. Selain itu, peneliti menggunakan arduino Nano *Shield* untuk mempermudah dan memperbanyak jumlah pin.

Sedangkan untuk *software* yang digunakan untuk perancangan alat ukur kadar oksigen dalam darah adalah Arduino IDE. Arduino sebagai penerima hasil pembacaan dari sensor MAX30100, maka dari itu Arduino harus diisikan dengan program berupa *source code*. Selanjutnya Arduino akan memproses hasil pembacaan dan mengeluarkan hasil pembacaan pada LCD dan *interface* Android menggunakan *software* RemoteXY dengan modul *Bluetooth* HC-05.



**Gambar 6.** Flowchart Perancangan Software

### Pengambilan Data

Metode yang digunakan untuk pengambilan data adalah dengan cara melakukan percobaan pada beberapa relawan laki-laki dan perempuan dengan jenjang umur 7-12 tahun dan umur 13-25 tahun. Data diambil dengan cara menaruh ujung jari telunjuk pada sensor dan dilakukan selama 10 detik lamanya. Pengukuran dilakukan dengan dua metode yaitu metode PPG *Reflectance* dan metode PPG *Transmittance*.

### Pengolahan Data

Data yang diperoleh akan diolah menggunakan metode regresi linier dan standar deviasi. Metode perhitungan regresi linier digunakan agar dapat memprediksi nilai error yang terjadi jika dilakukan pengukuran selanjutnya. Berikut merupakan rumus regresi linier dan standar deviasi:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^k xy^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k xy)^2}{n}}{n-1} \quad (8)$$

$$s = \sqrt{s^2} \quad (9)$$

Rumus nilai keakuratan dari alat ukur yang dirancang dengan oximeter yang sudah ada adalah:

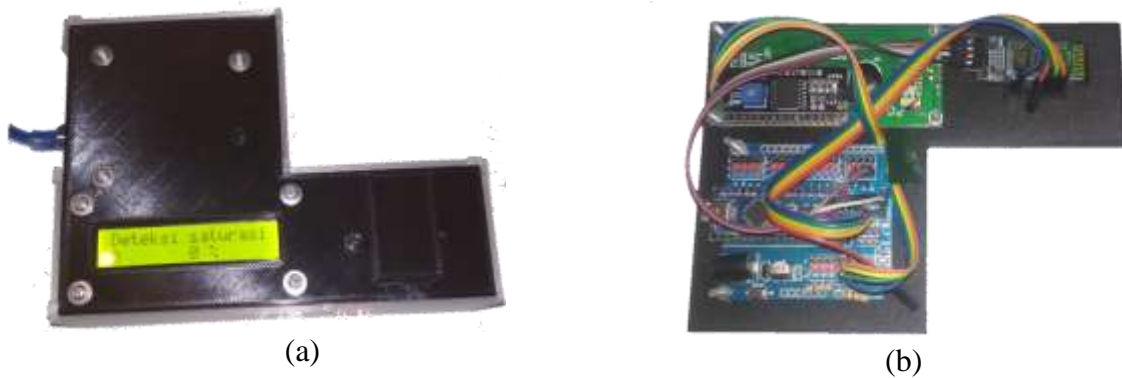
$$X = \left| \frac{X_{SpO2}}{X_{Oxi}} \right| \times 100\% \quad (10)$$

- X = Persentase perbandingan dari kedua alat ukur
- $X_{SpO2}$  = Rata-rata dari alat saturasi oksigen yang dibuat
- $X_{Oxi}$  = Rata-rata dari alat oximeter

## HASIL DAN PEMBAHASAN



Dalam perancangan alat ukur saturasi oksigen dalam darah, peneliti melakukan dua tahap perancangan yaitu *hardware* dan *software*. Berikut merupakan hasil perancangan *hardware* dan *software*:



**Gambar 4.** Tampilan Awal Alat Pengukur Saturasi Oksigen dengan (a) Tampak Luar dan (b) Tampak Dalam

Hasil perancangan *hardware* pada penelitian ini meliputi perancangan alat ukur saturasi oksigen dalam darah dengan keluaran yang didapatkan berupa nilai detak jantung per menit (BPM) dan kadar saturasi oksigen dengan satuan persen (%). Nilai tersebut didapat setelah berhasil melakukan perancangan *software* dengan cara memasukkan *source code* yang sesuai pada Arduino IDE. Setelah menginput *source code* pada Arduino IDE, langkah selanjutnya yaitu membuat tampilan *Guide User Interface* (GUI) pada HP menggunakan aplikasi RemoteXY. Berikut merupakan hasil desain GUI pada HP yang dibuat:



**Gambar 5** Hasil GUI Pada HP

### Hasil dan Pengolahan Data

Pengujian dilakukan pada beberapa orang dengan rentang umur yang berbeda, yaitu umur 22 tahun, 23 tahun, 7 tahun dan 8 tahun. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan alat pengukur saturasi oksigen buatan yang menggunakan metode PPG *reflectance* dengan alat oximeter yang menggunakan metode PPG *transmittance*. Berikut merupakan hasil pengolahan data yang dilakukan menggunakan alat yang dibuat dengan alat yang sudah ada (*transmittance*).

**Tabel 1.** Pengolahan Data SpO<sub>2</sub> Alat yang dibuat dengan Alat Oximeter Pabrik

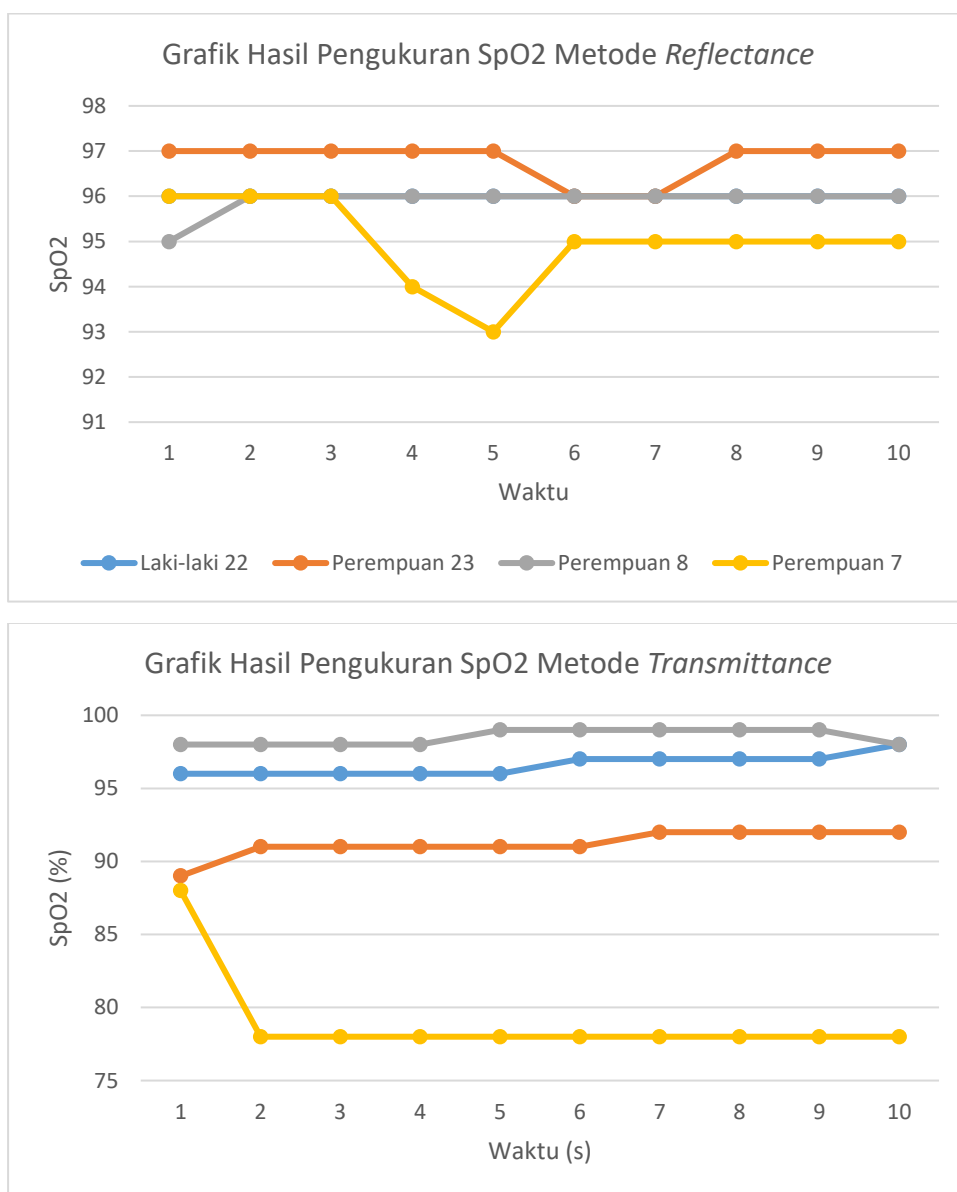
Jenis Kelamin/Umur	<i>Reflectance</i>			<i>Transmittance</i>		
	SpO <sub>2</sub>	Standar Deviasi	Ketelitian	SpO <sub>2</sub>	Standar Deviasi	Ketelitian
Laki-laki/22 Tahun	96	0	100 %	96,6	0,699	99,3 %
Perempuan/23 Tahun	96,8	0,422	99,58%	91,2	0,919	99,08 %
Perempuan/8 Tahun	95,9	0,316	99,68%	98,5	0,527	99,47%
Perempuan/7 Tahun	95	0,943	99,06%	79	3,162	96,84%
Keakuratan	95,2 %					

**Tabel 2.** Pengolahan Data BPM Alat yang dibuat dengan Alat Oximeter Pabrik

	<i>Reflectance</i>	<i>Transmittance</i>
--	--------------------	----------------------

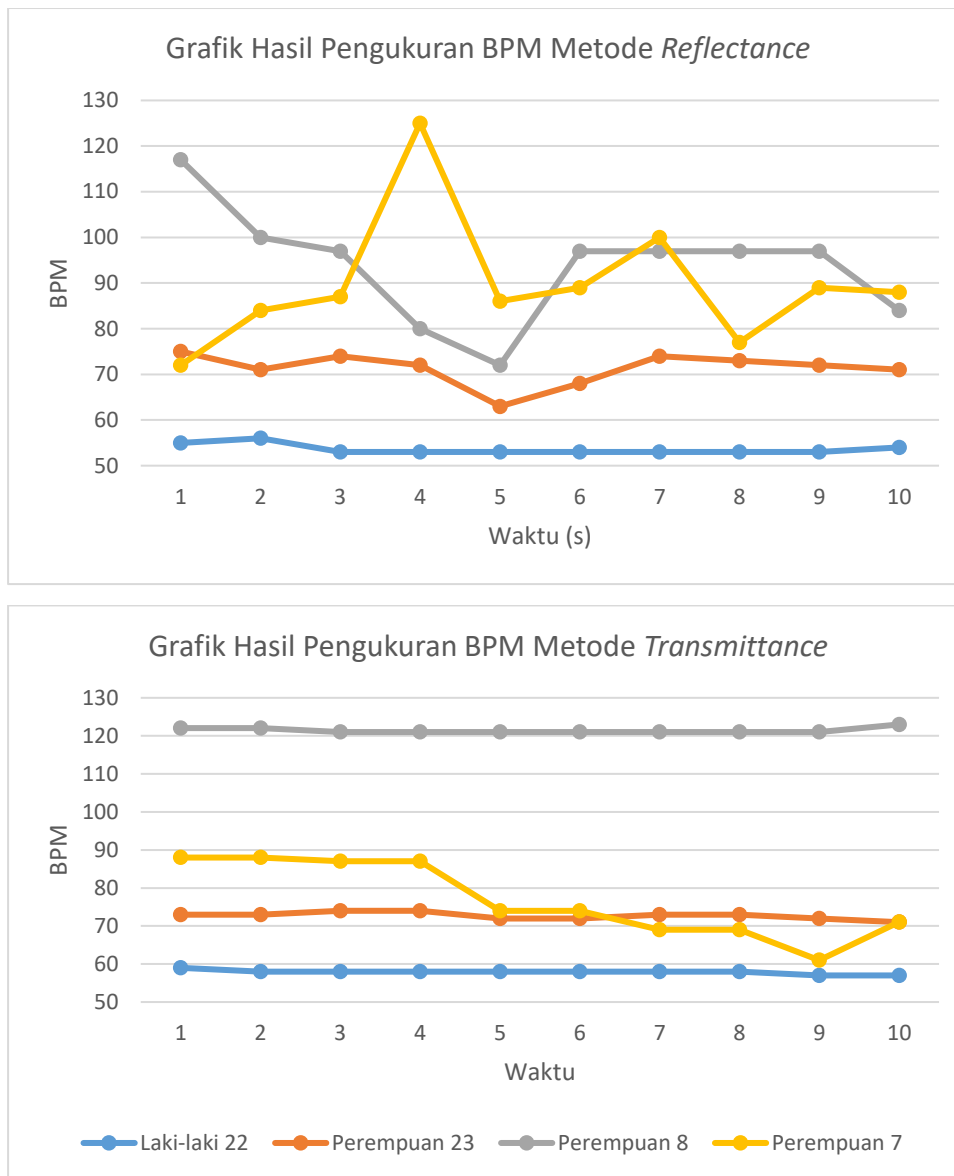
Jenis Kelamin/Umur	BPM	Standar Deviasi	Ketelitian	BPM	Standar Deviasi	Ketelitian
Laki-laki/22 Tahun	53,6	1,075	98,92%	57,9	0,568	99,43%
Perempuan/23 Tahun	71,3	3,529	96,47%	72,7	0,949	99,05%
Perempuan/8 Tahun	93,8	12,426	87,57%	121,4	0,699	99,3%
Perempuan/7 Tahun	89,7	14,469	85,53%	76,8	9,886	90,11%
Keakuratan	93,8 %					

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai SpO<sub>2</sub> cenderung lebih stabil dibandingkan nilai BPM. Normalnya, nilai saturasi oksigen besarnya di atas 90%. Ketidakstabilan nilai BPM dikarenakan jantung terus memompa darah dalam tubuh sehingga membuat darah terus bergerak. Pergerakan darah dalam tubuh bersifat acak dan cepat sehingga menyebabkan gelombang infrared menjadi tidak stabil. Maka dari itu, pada pengukuran menggunakan metode PPG *Transmittance* terdapat *noise* saat pengukuran relawan anak perempuan (7 tahun) yang menyebabkan nilai kecil namun masih sesuai dengan nilai normalnya [15]. *Noise* ini terjadi karena pada jari anak perempuan (7 tahun) terlalu kecil sehingga adanya gelombang cahaya dari LED merah tidak dapat menembus jaringan pada jari sepenuhnya sehingga membuat gelombang cahaya LED merah tidak tertangkap oleh photodiode.



Gambar 6. Grafik Perbandingan SpO<sub>2</sub>

Dari gambar Dapat dilihat hasil pengukuran saturasi oksigen menggunakan metode PPG *Reflectance* lebih stabil dibandingkan dengan metode PPG *Transmittance*. Respon waktu rata-rata atau perubahan pada pengukuran SpO<sub>2</sub> metode *reflectance* terjadi pada detik ke-5. Meskipun berbeda tetapi masih menunjukkan hasil yang sama.



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan BPM

Dari gambar 4. dapat dilihat hasil grafik menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan pada pengukuran BPM. Grafik dari metode *transmittance* cenderung lebih stabil dibandingkan dengan metode *reflectance*, karena pada metode *transmittance* memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dalam mengukur BPM. Ketidakstabilan ini dikarenakan saat mengukur BPM sensor hanya menggunakan LED merah sebagai pengukurnya, sedangkan sensor tersebut sudah diseting untuk mengukur LED dan infrared. Walaupun nilainya sedikit berbeda, namun menunjukkan informasi yang sama.

### KESIMPULAN

Berdasarkan alat saturasi oksigen yang telah dirancang dan bangun, maka dapat ditarik kerimpulan sebagai berikut:

1. Telah berhasil merancang dan membangun alat pengukur saturasi oksigen ( $SpO_2$ ) *portable* dengan menggunakan metode *Photoplethysmograph (PPG) Reflectance* dengan waktu respon sebesar 5 detik, ketelitian pengukuran rata-rata di atas 96 % berdasarkan alat oximeter yang sudah ada dan keakuratan sebesar 95,2 % serta dapat dimonitoring menggunakan *bluetooth* dengan jangkauan maksimal sejauh 140 meter.
2. Hasil karakterisasi sensor MAX30100 mempunyai intensitas cahaya yang dipancarkan dengan range sebesar 115 Lux sampai 178 Lux.
3. Hasil pengukuran saturasi oksigen ( $SpO_2$ ) pada metode *reflectance* lebih stabil dibandingkan dengan metode *transmittance*, sedangkan hasil pengukuran BPM pada metode *transmittance* jauh lebih stabil dibandingkan dengan metode *reflectance*.

### REFERENSI

- [1] L. A. H. W. Endah, 'Integrasi Biokimia dalam Modul Kedokteran.' Jakarta: Lembaga Penelitian UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, 2010.
- [2] R. C. Ningsih, D. "Rancang bangun Pulse Oximetry Berbasis Personal Computer Sebagai

- Deteksi Kejenuhan Oksigen dalam Darah." Program, S. Jaringan, T. Digital, T. Elektro, and P. N. Malang vol. 17, no. November, pp. 1461, 201–158..
- [3] F. UGHI, "Simulasi Kadar Saturasi Oksigen untuk Evaluasi Pulse Oximete", *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 6, no. 1, p. 110, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v6i1.110.
- [4] et al. E. Simonson, S. Koff, A. Keys, "Contour of the toe pulse, reactive hyperemia, and pulse transmission velocity: group and repeat variability, effect of age, exercise, and disease," *Am. Heart J.*, vol. 50, no. 2, pp. 260–279, 1955.
- [5] E. Simonson, "Photoelectric plethysmography; methods, normal standards, and clinical application," *Geriatrics*, vol. 11, no. 10, p. 425, 1956.
- [6] A. V. J. Challoner, "Photoelectric plethysmography for estimating cutaneous blood flow," *Non-Invasive Physiol. Meas.*, vol. 1, pp. 125–151, 1979.
- [7] L.K.Hema 1 , R. Mohana Priya 2 , R. Indumathi 3," "DESIGN AND DEVELOPMENT OF IOT BASED PULSE OXIMETER L.K.Hema 1 , R. Mohana Priya 2 , R. Indumathi 3," vol. 119, no. 16, pp. 1863–1868, 2018.
- [8] M. C. Carreiras, "A Pulse Oximeter Thesis to obtain the Master of Science degree in Biomedical Engineering Examination Committee," no. July, 2013. [9] R. R, S. P, and S. P, "Design and Development of Miniaturized Pulse Oximeter for Continuous Spo2 and HR Monitoring with Wireless Technology," *Int. J. New Technol. Res.*, vol. 1, no. 1, p. 263706, 2015.
- [10] H. Lee, H. Ko, and J. Lee, "2016.10.004 Reflectance p Practical issues and limitations," *ICT Express*, vol. 2, no. 4, pp. 195–198, 2016, doi: 10.1016/j.icte...
- [11] T. Tamura, Y. Maeda, M. Sekine, and M. Yoshida, "Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present," pp. 282–302, 2014.
- [12] R. Patel, R. Dubey, S. Mishra, and S. K. Bharti, "Tele-Monitoring Device for Cardiorespiration Activity," pp. 282–287, 2018.
- [13] D. Bagus, S. Budi, R. Maulana, and H. Fitriyah, "Sistem Deteksi Gejala Hipoksia Berdasarkan Saturasi Oksigen dan Detak Jantung Menggunakan Metode Fuzzy Berbasis Arduino," vol. 3, no. 2, pp. 1925–1933, 2019.
- [14] C. P. Oximeter and H. Sensor, "Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health Benefits and Features MAX30100 Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor IC for Wearable Health Absolute Maximum Ratings Supply Current in Shutdown," pp. 1–30.
- [15] T. M. Kadarina and R. Priambodo, "Monitoring heart rate and SpO2 using Thingsboard IoT platform for mother and child preventive healthcare," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 453, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/453/1/012028.

## **Solusi Metrik Kerr-Newman Untuk Dimensi Ruang-waktu 3+1 Dengan Invariansi Rotasi Anisotropik**

Iqbal Lafifa Zulfa<sup>1,†</sup>, Rangga Prasetya Alamsyah<sup>2</sup>, dan Arine Fitriani<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Divisi Fisika Teoretis, Departmen Fisika, Institut Pertanian Bogor. Meranti, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

<sup>†</sup>Iqbal\_Lafzul@apps.ipb.ac.id

**Abstrak.** Metrik Kerr-Newman merupakan solusi umum dari persamaan medan Einstein dengan mengasumsikan metrik ruang waktu melengkung akibat keberadaan objek masif bermassa dan bermuatan, serta memiliki simetri anisotropik akibat rotasi. Metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1 diformulasikan pertama kali oleh Ezra Newman. Algoritma umum untuk memformulasikan metrik ini yaitu dengan menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit, yang meliputi kalkulasi koneksi affine, tensor Ricci hingga tensor energi-momentum. Dimana, formulasi ini tidaklah sederhana. Untuk menyederhanakan formulasi metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1, pada artikel ini dilakukan formulasi dengan algoritma alternatif tanpa menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit. Kemudian, karena algoritma alternatif ini tidak menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit dan supaya memperoleh solusi metrik Kerr-Newman secara utuh, maka digunakan prinsip limitasi properti metrik Kerr-Newman untuk membawa persamaan medan Einstein secara implisit. Berdasarkan prinsip limitasi properti metrik Kerr-Newman, dilakukan rekayasa matematis atas fungsi temporal serta fungsi radial dari metrik Reissner-Nordstrom dan metrik ruang-waktu datar sistem simetri anisotropik akibat rotasi, yang diturunkan dari transformasi koordinat elipsoid oblate. Dan meski formalisme dengan algoritma alternatif ini relatif sederhana, solusi metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1 pada artikel ini serupa dengan hasil formalisme dan algoritma umum.

**Kata Kunci:** *Metrik, Kerr-Newman, Anisotropik, limitasi, Reissner-Nordstrom.*

**Abstract.** The Kerr-Newman metric is a general solution to Einstein field equations by assuming the space-time metric is curved due to the presence of massive objects with mass and a charges, and has anisotropic symmetry due to rotation. The Kerr-Newman metric for the space-time dimension of 3+1 was first formulated by Ezra Newman. The general algorithm for formulating this metric is to use the Einstein field equation explicitly, which includes the calculation of the affine connection, the Ricci tensor to the energy-momentum tensor. Where, this formulation is not simple. In order to simplify the formulation of the Kerr-Newman metric for the 3+1 space-time dimension, in this article an alternative algorithm is formulated without using the Einstein field equation explicitly. Then, because this alternative algorithm does not use Einstein field equations explicitly and in order to obtain a complete Kerr-Newman metric solution, the Kerr-Newman metric property limitation principle is used to carry out the Einstein field equation implicitly. Based on the Kerr-Newman metric property boundary principle, do mathematical manipulation on temporal function and the radial function of Reissner-Nordstrom metric and flat space-time metric system of anisotropic symmetry due to rotation, which is derived from an oblate ellipsoid coordinate transformation. And although the formalism with this alternative algorithm is relatively simple, the Kerr-Newman metric solution for the 3+1 space-time dimension in this article is similar to the result of formalism from general algorithm.

**Keywords:** *Metric, Kerr-Newman, Anisotropic, The Limitation, Reissner-Nordstrom.*

**DOI :** [10.15408/fiziya.v3i2.18600](https://doi.org/10.15408/fiziya.v3i2.18600)

## PENDAHULUAN

Teori relativitas umum dipublikasi oleh Albert Einstein dengan judul “*The field equations of gravitation*” pada tahun 1915. Teori relativitas umum mendeskripsikan tentang keterkaitan medan gravitasi dengan kelengkungan ruang-waktu, yang divalidasi dengan hasil observasi oleh Eddington pada tahun 1919 [1]. Formalisme fundamental Teori Relativitas Umum dikenal dengan persamaan medan Einstein. Persamaan ini mengonstruksi teori gravitasi dengan ide fundamental yang berbeda dengan ide fundamental teori gravitasi Newton. Berdasarkan teori relativitas umum, entitas gravitasi merupakan manifestasi dari kelengkungan ruang-waktu, yang kelengkungannya ditimbulkan oleh distribusi massa dan energi [2]. Untuk merampungkan teori relativitas umum yang menjelaskan tentang gravitasi sebagai manifestasi dari kelengkungan ruang-waktu, diperlukan persamaan medan gravitasi yang berlaku umum untuk berbagai sistem fisis [2]. Kemudian berdasarkan aksioma matematis aljabar dan kalkulus tensor, lahirlah persamaan medan Einstein. Di mana, kelengkungan ruang-waktu dimodelkan secara matematis sebagai manifold pseudo-Riemannian. Merumuskan solusi umum dari persamaan medan Einstein yang merepresentasikan seluruh properti fisis yang mungkin dimiliki oleh objek sumber gravitasi dalam bentuk fungsi metrik tidaklah mudah. Hal ini karena persamaan medan Einstein adalah persamaan non-linier yang tidak sederhana [2]. Bahkan setelah menuntaskan persamaan medan gravitasinya, Einstein berasumsi tentang tidak mungkinnya memperoleh solusi eksak dari persamaan fundamental teori relativitas umum ini. Namun belum genap setahun persamaan medan Einstein rampung, hal mengejutkan terjadi di tahun 1916. Untuk pertama kalinya, Karl Schwarzschild merumuskan solusi eksak dari persamaan medan Einstein [2-4].

Solusi eksak yang diformulasikan oleh Schwarzschild tidaklah berlaku umum atau tidak merepresentasikan seluruh properti fisis yang mungkin dimiliki oleh objek sumber gravitasi. Solusi ini dibatasi hanya untuk metrik ruang-waktu di sekitar objek masif bermassa yang isotropik dan statis. Artinya variabel tensor Ricci dan tensor energi-momentum akan bernilai nol, sehingga konsekuensi matematis lainnya yakni objek bermassa masif yang dimodelkan oleh Schwarzschild ini berada di ruang hampa. Solusi metrik persamaan medan Einstein merupakan besaran tensorial. Besaran tensor merupakan bentuk perluasan dari besaran vektor dan besaran skalar [2]. Besaran tensor digunakan untuk mengatasi perubahan fungsi metrik atas transformasi koordinat, sehingga solusi metrik persamaan medan Einstein bersifat kovarian atau tidak berubah terhadap transformasi koordinat. Setelah penemuan solusi eksak pertama ini, akhirnya muncul berbagai nama yang merumuskan solusi atas persamaan medan Einstein yang merepresentasikan properti fisis lainnya. Berdasarkan penemuan yang didapatkan oleh Schwarzschild, Roy Kerr merumuskan solusi persamaan medan Einstein yang merepresentasikan properti massa dan rotasi dari objek masif sumber gravitasi [5]. Ide dari Kerr ini pun menjadi fondasi bagi Ezra Newman untuk dapat merumuskan solusi umum atas persamaan medan Einstein pada tahun 1965 [6]. Di mana, Newman merumuskan solusi untuk metrik ruang-waktu di sekitar objek masif bermassa yang anisotropik akibat rotasi, serta bermuatan. Metrik ini familiar dikenal dengan metrik Kerr-Newman.

Terkait dengan topik artikel ini. Secara teknis menurunkan ulang solusi metrik Kerr-Newman dalam dimensi ruang-waktu 3+1 dengan invariansi rotasi anisotropik. Penurunan metrik Kerr-Newman pada artikel ini dilakukan tanpa menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit. Penggunaan persamaan medan Einstein pada artikel ini secara implisit direpresentasikan oleh metrik Reissner-Nordstrom, sebagai salah satu bentuk limitasi dari metrik Kerr-Newman. Hal ini berdasarkan pada prinsip properti metrik Kerr-Newman, yakni merupakan metrik ruang-waktu di sekitar objek masif bermassa yang anisotropik akibat adanya rotasi, serta bermuatan.

Jika metrik Kerr-Newman diasumsikan sebagai kelengkungan ruang-waktu akibat kehadiran objek lubang hitam, maka lubang hitam dengan simetri anisotropik seperti ini bukanlah hanya sekedar teori matematis, melainkan telah terbukti keberadaannya berdasarkan citra visual hasil observasi *event horizon telescope* [7]. Hal menarik lainnya dari lubang hitam dengan simetri anisotropik adalah dari bentuk singularitasnya. Beda halnya dengan lubang hitam isotropik yang singularitasnya berbentuk titik pada radius nol [8][9]. Singularitas lubang hitam dengan simetri anisotropik ini berbentuk seperti cincin di dalam horizon [2]. Untuk menyederhanakan proses kalkulasi dalam artikel ini, digunakan satuan natural unit dengan ketentuan  $G = c = 1$ .

## LANDASAN TEORI

### Transformasi Koordinat Elipsoid Oblate Dengan Invariansi Rotasi Anisotropik

Sistem simetri anisotropik dapat diperoleh berdasarkan sistem dengan simetri isotropik, yang direpresentasikan oleh rasio antara vektor basis koordinat kartesian dan vektor basis koordinat polar [2]:

$$\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2}{r^2} = 1 \quad (1)$$

Pers.(1) yakni merupakan formulasi dasar transformasi koordinat bola yang invarian terhadap rotasi isotropik. Kemudian, karena metrik Kerr-Newman merepresentasikan kelengkungan ruang-waktu di sekitar objek masif yang berotasi, di mana besaran rotasi berimplikasi kepada nilai radius dimensi  $x_1$  dan  $x_2$  yang menjadi relatif lebih besar dibandingkan nilai radius pada dimensi  $x_3$ . Oleh karenanya, maka pers.(1) haruslah dimodifikasi berdasarkan persamaan geometri elipsoid oblate [2]:

$$\frac{x_1^2 + x_2^2}{r^2 + a^2} + \frac{x_3^2}{r^2} = 1 \quad (2)$$

Pers.(2) merupakan persamaan dasar transformasi koordinat elipsoid oblate yang invarian terhadap rotasi anisotropik. Berdasarkan pers.(2), hasil eksplisit transformasi koordinat dari sistem koordinat kartesian menjadi koordinat elipsoid oblate dapat dituliskan secara matematis:

$$\begin{aligned} x_1 &= (r^2 + a^2)^{0.5} \sin \theta \cos \phi \\ x_2 &= (r^2 + a^2)^{0.5} \sin \theta \sin \phi \\ x_3 &= r \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

Untuk memperoleh fungsi tensor metrik dari hasil transformasi koordinat pers.(3), dapat diawali dengan mencari fungsi vektor metrik. Fungsi vektor metrik dapat dirumuskan dengan menggunakan metode diferensial terhadap pers.(3). Formulasi diferensial yang merepresentasikan fungsi vektor metrik dapat dituliskan dalam serangkaian bentuk matematis:

$$\begin{aligned} dx_1 &= \frac{r}{(r^2 + a^2)^{0.5}} + \sin \theta \cos \phi dr + (r^2 + a^2)^{0.5} \cos \theta \cos \phi d\theta \\ &\quad - (r^2 + a^2)^{0.5} \sin \theta \sin \phi d\phi \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} dx_2 &= \frac{r}{(r^2 + a^2)^{0.5}} + \sin \theta \sin \phi dr + (r^2 + a^2)^{0.5} \cos \theta \sin \phi d\theta \\ &\quad + (r^2 + a^2)^{0.5} \sin \theta \cos \phi d\phi \end{aligned} \quad (5)$$

$$dx_3 = \cos \theta dr - r \sin \theta d\theta \quad (6)$$

Kemudian berdasarkan aksioma matematis tensor, fungsi tensor metrik merupakan *outer product* atau hasil perkalian luar dari dua fungsi vektor metrik. Formalisme umum fungsi tensor metrik dapat dituliskan dalam bentuk matematis [2]:

$$\begin{aligned} dx \otimes dx &= \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \\ dx^2 &= \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \end{aligned} \quad (7)$$

Dengan tensor metrik kovarian yang dituliskan secara eksplisit [2]:

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} \eta_{11} & \cdots & \eta_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \eta_{m1} & \cdots & \eta_{mn} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Berdasarkan pers.(7) dan berangkat dari pers.(4),(5),(6), formalisme fungsi tensor metrik dapat dituliskan dalam serangkaian persamaan:

$$\begin{aligned} dx_1^2 &= \frac{r^2}{r^2 + a^2} \sin^2 \theta \cos^2 \phi dr^2 + 2r \sin \theta \cos \theta \cos^2 \phi dr d\theta \\ &\quad - 2r \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi dr d\phi + (r^2 + a^2) \cos^2 \theta \cos^2 \phi d\theta^2 \\ &\quad - 2(r^2 + a^2) \sin \theta \cos \theta \sin \phi \cos \phi d\theta d\phi \\ &\quad + (r^2 + a^2) \sin^2 \theta \sin^2 \phi d\phi^2 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} dx_2^2 &= \frac{r^2}{r^2 + a^2} \sin^2 \theta \sin^2 \phi dr^2 + 2r \sin \theta \cos \theta \sin^2 \phi dr d\theta \\ &\quad + 2r \sin^2 \theta \sin \phi \cos \phi dr d\phi + (r^2 + a^2) \cos^2 \theta \sin^2 \phi d\theta^2 \\ &\quad + 2(r^2 + a^2) \sin \theta \cos \theta \sin \phi \cos \phi d\theta d\phi \\ &\quad + (r^2 + a^2) \sin^2 \theta \cos^2 \phi d\phi^2 \end{aligned} \quad (10)$$

$$dx_3^2 = \cos^2 \theta dr^2 - 2r \sin \theta \cos \theta dr d\theta + r^2 \sin^2 \theta d\theta^2 \quad (11)$$

Dengan menjumlahkan masing-masing suku pada setiap vektor basis pada pers.(9),(10),(11), maka dapat diformulasikan fungsi tensor metrik yang lebih sederhana:

$$\begin{aligned} dx_i^2 &= \left( \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 + a^2} \right) dr^2 + (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 \\ &\quad + [(r^2 + a^2) \sin^2 \theta] d\phi^2 \end{aligned} \quad (12)$$

Dengan:

$$dx_i^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 \quad (13)$$

Kemudian, berdasarkan metrik Minkowski yang merupakan solusi persamaan medan Einstein untuk ruang-waktu datar ketika tidak adanya objek masif [2]:

$$\begin{aligned} ds^2 &= \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \\ ds^2 &= dx_0^2 - dx_1^2 - dx_2^2 - dx_3^2 \\ ds^2 &= dx_0^2 - dx_i^2 \end{aligned} \quad (14)$$



Di mana:

$$dx_0^2 = dt^2 \quad (15)$$

Dalam bentuk matriks, pers.(14) dapat diformulasikan:

$$\eta_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Dengan melakukan substitusi pers.(12) terhadap pers.(14) dengan ekuivalensi pers.(15), maka akan didapati formulasi matematis:

$$ds^2 = dt^2 - \left( \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 + a^2} \right) dr^2 - (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - [(r^2 + a^2) \sin^2 \theta] d\phi^2 \quad (17)$$

Berdasarkan aksioma matematis geometri ruang-waktu Minkowski [2]:

$$\eta_{00}\eta_{11} = -1 \quad (18)$$

Maka:

$$ds^2 = \left( \frac{r^2 + a^2}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta} \right) dt^2 - \left( \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 + a^2} \right) dr^2 - (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - [(r^2 + a^2) \sin^2 \theta] d\phi^2 \quad (19)$$

Untuk penyederhanaan, pers.(19) dapat dituliskan ulang dalam bentuk formulasi matematis yang ekuivalen:

$$ds^2 = Adt^2 - Bdr^2 - Cd\theta^2 - Dd\phi^2 \quad (20)$$

Konsekuensi lain dari besaran rotasi yang menyebabkan nilai radius pada dimensi  $x_1$  dan  $x_2$  relatif lebih besar dibandingkan nilai radius pada dimensi  $x_3$ , yakni akan muncul suku-suku pada bagian ortogonal untuk dimensi temporal  $t$  dan dimensi azimuthal  $\phi$ . Untuk mengeliminasi suku-suku ini dan agar membuat pers.(19) konsisten secara matematis, maka vektor basis dimensi temporal dan dimensi azimuthal beserta dengan sukunya haruslah dikoreksi [2]:

$$AdT = A(dt \pm pd\phi) \quad (21)$$

$$Dd\Phi = D(d\phi \pm qdt) \quad (22)$$

Berdasarkan hasil kalkulasi matematis yang telah dilakukan terhadap pers.(19),(20),(21),(22), didapati formulasi matematis sederhana:

$$p = -(a \sin^2 \theta) \quad (23)$$

$$q = -\left(\frac{a}{r^2 + a^2}\right) \quad (24)$$

$$D = -\left[\frac{(r^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}\right] \quad (25)$$

Sehingga, dapat diformulasikan ulang dengan mempertimbangkan serangkaian hasil koreksi dari pers.(20):

$$ds^2 = \left(\frac{r^2 + a^2}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}\right) \left[ dt - (a \sin^2 \theta) d\phi \right]^2 - \left(\frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 + a^2}\right) dr^2 - (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - \left[\frac{(r^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}\right] \left[ d\phi - \left(\frac{a}{r^2 + a^2}\right) dt \right]^2 \quad (26)$$

Pers.(26) merupakan solusi metrik ruang-waktu datar dari sistem dengan simetri anisotropik akibat adanya rotasi. Namun sistem ini masih berupa abstraksi matematis, karena tidak adanya properti massa yang menjadi faktor esensial terjadinya perubahan dari simetri isotropik menjadi simetri anisotropik. Karena metrik Kerr-Newman memiliki properti fisis rotasi, massa, serta muatan, maka diperlukan 2 properti fisis lainnya untuk melengkapi pers.(26).

### Prinsip Limitasi Properti Metrik Kerr-Newman Untuk Dimensi Ruang-waktu 3+1.

Berdasarkan prinsip properti metrik Kerr-Newman, metrik Kerr-Newman merupakan abstraksi jarak pada ruang-waktu di sekitar objek masif bermassa dengan simetri anisotropik akibat rotasi, serta bermuatan. Dengan mempertimbangkan penyederhanaan seperti pers.(20), maka pers.(26) dapat diformulasikan ulang:

$$ds^2 = A \left[ dt - (a \sin^2 \theta) d\phi \right]^2 - B dr^2 - (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - \left[\frac{(r^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}\right] \left[ d\phi - \left(\frac{a}{r^2 + a^2}\right) dt \right]^2 \quad (27)$$

Kemudian, fungsi  $A$  dan  $B$  pada pers.(27) dapat dituliskan dalam bentuk limitasi atas dasar prinsip properti metrik Kerr-Newman:

$$\lim_{M, Q \rightarrow 0} A = \frac{r^2 + a^2}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta} \quad (28)$$

$$\lim_{M, Q \rightarrow 0} B = \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 + a^2} \quad (29)$$

Dan berdasarkan metrik Reissner-Nordstrom Untuk Dimensi Ruang-waktu 3+1 [2][10]:

$$ds^2 = \left( \frac{r^2 - 2Mr + Q^2}{r^2} \right) dt^2 - \left( \frac{r^2}{r^2 - 2Mr + Q^2} \right) dr^2 - (r^2) d\theta^2 - (r^2 \sin^2 \theta) d\phi^2 \quad (30)$$

Dengan mempertimbangkan penyederhanaan yang similar dengan pers.(27), maka fungsi  $A$  dan  $B$  pada pers.(30) dapat dituliskan dalam bentuk limitasi atas dasar prinsip properti metrik Kerr-Newman:

$$\lim_{a \rightarrow 0} A = \frac{r^2 - 2Mr + Q^2}{r^2} \quad (31)$$

$$\lim_{a \rightarrow 0} B = \frac{r^2}{r^2 - 2Mr + Q^2} \quad (32)$$

Di mana,  $M$  dan  $Q$  masing-masing merupakan besaran massa serta besaran muatan listrik. Karena pers.(26) merupakan bentuk metrik Kerr-Newman untuk  $M = Q = 0$ , kemudian pers.(30) merupakan bentuk metrik Kerr-Newman untuk  $a = 0$ , maka fungsi  $A$ ,  $B$  metrik Kerr-Newman didapatkan dengan menjumlahkan bentuk limitasi pers.(28) dan pers.(31), serta pers.(29) dan pers.(32):

$$A = \frac{r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta} \quad (33)$$

$$B = \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2} \quad (34)$$

Kemudian, dengan melakukan substitusi pers.(33),(34) terhadap pers.(27), maka didapati formulasi:

$$ds^2 = \left( \frac{r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta} \right) \left[ dt - (a \sin^2 \theta) d\phi \right]^2 - \left( \frac{r^2 + a^2 \cos^2 \theta}{r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2} \right) dr^2 - (r^2 + a^2 \cos^2 \theta) d\theta^2 - \left[ \frac{(r^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{r^2 + a^2 \cos^2 \theta} \right] \left[ d\phi - \left( \frac{a}{r^2 + a^2} \right) dt \right]^2 \quad (35)$$

Untuk penyederhanaan metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1, pers.(35) dapat dituliskan ulang dalam bentuk matematis:

$$ds^2 = \left( \frac{\Delta_{KN}}{\rho^2} \right) \left[ dt - (a \sin^2 \theta) d\phi \right]^2 - \left( \frac{\Delta_{KN}}{\rho^2} \right) dr^2 - (\rho^2) d\theta^2 - \left[ \frac{(r^2 + a^2)^2 \sin^2 \theta}{\rho^2} \right] \left[ d\phi - \left( \frac{a}{r^2 + a^2} \right) dt \right]^2 \quad (36)$$

Di mana:

$$\Delta_{KN} = r^2 - 2Mr + a^2 + Q^2 \quad (37)$$

$$\rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta \quad (38)$$

Dengan bentuk matematis yang relatif sederhana, pers.(36) merupakan fungsi tensor metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1.

## HASIL

Penurunan solusi metrik Kerr-Newman pada artikel ini berdasarkan pada metode matematis transformasi koordinat elipsoid oblate yang invarian terhadap rotasi anisotropik. Selain itu, persamaan medan Einstein tentunya menjadi fondasi fundamental atas lahirnya solusi metrik Kerr-Newman. Berdasarkan hal tersebut, kami merumuskan metode alternatif baru untuk penurunan solusi metrik Kerr-Newman yang diterapkan pada artikel ini. Di mana, penurunan metrik Kerr-Newman dilakukan tanpa menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit dan menggunakan prinsip limitasi properti metrik Kerr-Newman. Prinsip limitasi properti metrik Kerr-Newman berimplikasi kepada diperolehnya metrik Reissner-Nordstrom yang membawa persamaan medan Einstein secara implisit. Untuk memperoleh solusi metrik Kerr-Newman secara utuh, tahap akhir yang dilakukan ialah rekayasa matematis berdasarkan fungsi temporal serta fungsi radial dari metrik Reissner-Nordstrom dan metrik ruang-waktu datar sistem anisotropik akibat rotasi, yang diturunkan dari transformasi koordinat elipsoid oblate. Hal ini dilakukan untuk memenuhi prinsip properti metrik Kerr-Newman yang memiliki variabel rotasi, massa dan muatan. Karena hasil transformasi koordinat elipsoid oblate yang invarian terhadap rotasi anisotropik hanya menghasilkan properti rotasi, maka secara intuitif dapat ditebak bahwa properti yang didapatkan dari metrik Reissner-Nordstrom yaitu properti massa dan muatan. Meskipun algoritma alternatif baru yang kami rumuskan pada artikel ini relatif sederhana dibandingkan algoritma umum penurunan metrik Kerr-Newman, namun solusi metrik yang diperoleh pada artikel ini tidaklah berbeda dengan solusi metrik yang diturunkan berdasarkan algoritma umum. Solusi metrik Kerr-Newman untuk dimensi ruang-waktu 3+1 pada pers.(36) merupakan pemodelan matematis untuk objek masif di alam semesta yang memiliki properti fisis rotasi, massa dan muatan. Objek masif ini dapat tafsirkan sebagai planet, bintang, bintang katai putih, bintang neutron, ataupun lubang hitam.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penurunan metrik Kerr-Newman dapat dilakukan secara matematis tanpa menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit. Di mana, solusi metrik Kerr-Newman yang diperoleh dengan menggunakan persamaan medan Einstein secara eksplisit serupa dengan hasil penurunan metrik Kerr-Newman yang menggunakan prinsip limitasi properti ini.

## REFERENSI

- [1] I. L. Saptiani, "Solusi geometri schwarzschild untuk dimensi 4+1 dengan invarian rotasi isotropik," Institut Pertanian Bogor, 2019.
- [2] G. P. E. and A. N. L. M. P. Hobson, *General relativity: an introduction for physicists*. 2006.
- [3] K. Kassner, "Dust ball physics and the Schwarzschild metric," *Am. J. Phys.*, 2017, doi: 10.1119/1.4982785.
- [4] K. Kassner, "How to obtain the Schwarzschild metric before Einstein's field equations," *Adv. Stud. Theor. Phys.*, vol. 11, pp. 179–212, 2017, doi: 10.12988/astp.2017.61142.
- [5] S. O. Alexeyev and V. A. Prokopov, "Shadows from Spinning Black Holes in Extended Gravity," *J. Exp. Theor. Phys.*, 2020, doi: 10.1134/S1063776120040019.
- [6] E. T. Newman, E. Couch, K. Chinnapared, A. Exton, A. Prakash, and R. Torrence, "Metric of a rotating, charged mass," *J. Math. Phys.*, vol. 6, no. 6, 1965, doi: 10.1063/1.1704351.
- [7] K. Akiyama *et al.*, "First M87 Event Horizon Telescope Results. V. Physical Origin of

- the Asymmetric Ring,” *Astrophys. J.*, 2019, doi: 10.3847/2041-8213/ab0f43.
- [8] I. Jihad, D. P. Wardhani, and M. F. Rosyid, “Tinjauan Singularitas Ruang-waktu dalam Teori Relativitas Umum menggunakan Software Maxima,” *J. Fis. Indones.*, 2020, doi: 10.22146/jfi.v22i1.53836.
- [9] I. G. N. Yudi Handayana and L. M. Angraini, “SINGULARITAS SEMU PADA RUANG-WAKTU REISSNER-NORDSTRÖM,” *ORBITA J. Kajian, Inov. dan Apl. Pendidik. Fis.*, 2019, doi: 10.31764/orbita.v5i2.1203.
- [10] J. P. Hong, M. Suzuki, and M. Yamada, “Spherically Symmetric Scalar Hair for Charged Black Holes,” *Phys. Rev. Lett.*, 2020, doi: 10.1103/PHYSREVLETT.125.111104.

---

## SINTESIS DAN KARAKTERISASI $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ YANG DILAPISI KARBON DENGAN METODE *SOLID STATE REACTION* UNTUK ANODA ION LITHIUM

Lediliocza<sup>1</sup>, Sitti Ahmiatri Saptari<sup>1</sup>, Slamet priyono<sup>1†</sup>

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Negeri Syarifhidayatullah Jakarta, Jl. Ir. H. Juanda No. 95- ciputat-  
Banten, 15412, Indonesia

Pusat Penelitian Fisika- Institusi Sains Indonesia, Tangerang Selatan, Indonesia

†email : [slam013@lipi.go.id](mailto:slam013@lipi.go.id)

### ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis material anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dilapisi karbon melalui metode *solid state*, dengan bahan baku  $\text{LiOH}$   $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{TiO}_2$ . sintesis dilakukan dengan variasi sumber karbon yaitu Super. P, Tapioka, dan karbon aktif *Food grade*. Prekursor  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  disinter pada suhu  $800^\circ\text{C}$  selama 4 jam pada atmosfer udara bebas. Sedangkan proses pelapisan karbon dilakukan dengan milling basah dan sinter pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 1 jam pada atmosfer  $\text{N}_2$ . Karakterisasi yang dilakukan meliputi analisa untuk melihat perbedaan performa elektrokimia pada variasi sumber karbon yang digunakan, diantaranya analisa XRD (X-ray Diffraction) untuk mengetahui pembentukan fasa  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , FESEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy) untuk menganalisa morfologi yang terbentuk, dan untuk mengetahui performa elektrokimia dilakukan pengujian *Cyclic voltammetry*, *charge-discharge* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Hasil karakterisasi terbentuk fasa Lithium titanium oxide ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) sebesar 96,1% dan fasa rutile ( $\text{TiO}_2$ ) sebesar 3,1%. Hasil karakterisasi FE-SEM menunjukkan morfologi penyebaran karbon pada anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Super P, paling homogen dibandingkan dengan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Tapioka kemudian anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon *food grade*. Performa elektrokimia yang dihasilkan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Tapioka memiliki nilai konduktivitas elektronik dan konduktivitas ionik paling besar, dan menunjukkan difusi ion lithium yang sangat kecil, namun memiliki nilai koefisien difusi  $2,54 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  mendekati besar koefisien difusi  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp) sebesar  $2,61 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , serta memiliki nilai kapasitas *discharge* 161,05 mAh/g, mendekati nilai kapasitas *discharge*  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp) sebesar 167,84 mAh/g.

**Kata kunci:** Anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , baterai ion lithium, metode solid state

DOI : [10.15408/fiziya.v3i2.17271](https://doi.org/10.15408/fiziya.v3i2.17271)

## PENDAHULUAN

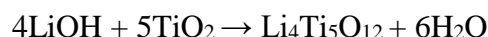
Di Indonesia energi fosil masih mendominasi konsumsi energi primer (tanpa bio massa tradisional), berdasarkan data yang dipaparkan Indonesia outlook 2018, cadangan minyak bumi di Indonesia semakin mengalami penurunan dari tahun ke tahun, pada tahun 2016 cadangan minyak bumi mengalami penurunan sebesar 0,74% terhadap tahun 2015, begitupun dengan cadangan gas bumi dan batu bara yang juga mengalami penurunan.

Oleh karena itu diperlukan sumber daya dan cadangan energi baru terbarukan yang saat ini didominasi oleh tenaga air dalam bentuk PLTA, biomassa, panas bumi, dan biodiesel. Namun potensi EBT masih belum optimal dikembangkan karena berbagai kendala penerapannya seperti biaya investasi yang tinggi, efisiensi teknologi yang relatif rendah, letak geografis, dan faktor sosial masyarakat sebagai pengguna energi [1]. Selain dari pada itu energi baru terbarukan membutuhkan sebuah media penyimpan salah satu penyimpanan energi yang penting adalah energi listrik oleh karena itu baterai adalah salah satu solusi untuk penyimpanan energi listrik.

Baterai terdiri dari dua jenis yaitu baterai primer baterai yang tidak dapat diisi ulang dan baterai sekunder baterai yang dapat diisi ulang. Baterai ion lithium memiliki keunggulan dibandingkan baterai yang lain diantaranya *lifecycle* yang panjang (500-1000 siklus), memiliki *memory effect* yang kecil, tegangan kerja yang tinggi (3,6 v) dan memiliki kapasitas yang lebih tinggi dari pada baterai sekunder yang lain [2].

## METODE EKSPERIMEN

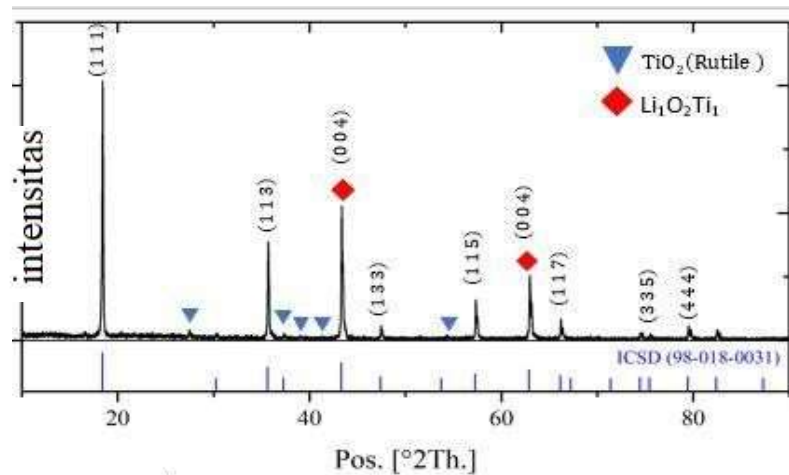
Proses sintesis material keramik  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dilakukan dengan menggunakan metode *Solid state* menurut reaksi :



Dalam penelitian ini, material anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dicoating menggunakan variasi karbon karbon, karbon yang digunakan didalam penelitian ini adalah karbon *mocaf* (tapioka), dan karbon *food grade* (tempurung kelapa), dan dibandingkan dengan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  coating karbon *black*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam sintesis anoda LTO dilakukan reaksi  $4\text{LiOH} + 5\text{TiO}_2 \rightarrow \text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12} + 6\text{H}_2\text{O}$  untuk menghasilkan anoda LTO sebanyak 30 gram dengan metode *solid state*, untuk itu dilakukan uji XRD untuk melihat fasa yang terbentuk. Identifikasi ini dilakukan dengan membandingkan nilai sudut  $2\theta$  antara sampel yang diuji dengan data referensi dengan rentang pengukuran pada sudut  $10^\circ$ - $90^\circ$ . analisa menggunakan *software* HIGHSCORE PLUS diperoleh kurva yang menunjukkan besarnya intensitas terhadap sudut  $2\theta$ , yang mana ditunjukkan oleh gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Kurva XRD material  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  eksperimen kedua

Dari kurva pada gambar 1 diatas terlihat yang terbentuk dua fasa yaitu fasa Lithium titanium oxide ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) sebesar 96,1% dengan fasa rutile ( $\text{TiO}_2$ ) sebesar 3,1%. Hasil analisa menggunakan software HIGHSCORE PLUS terhadap parameter kisi dan volume kisi diperlihatkan pada tabel 1.

**Tabel 1** Parameter kisi  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  menggunakan software HIGHSCORE

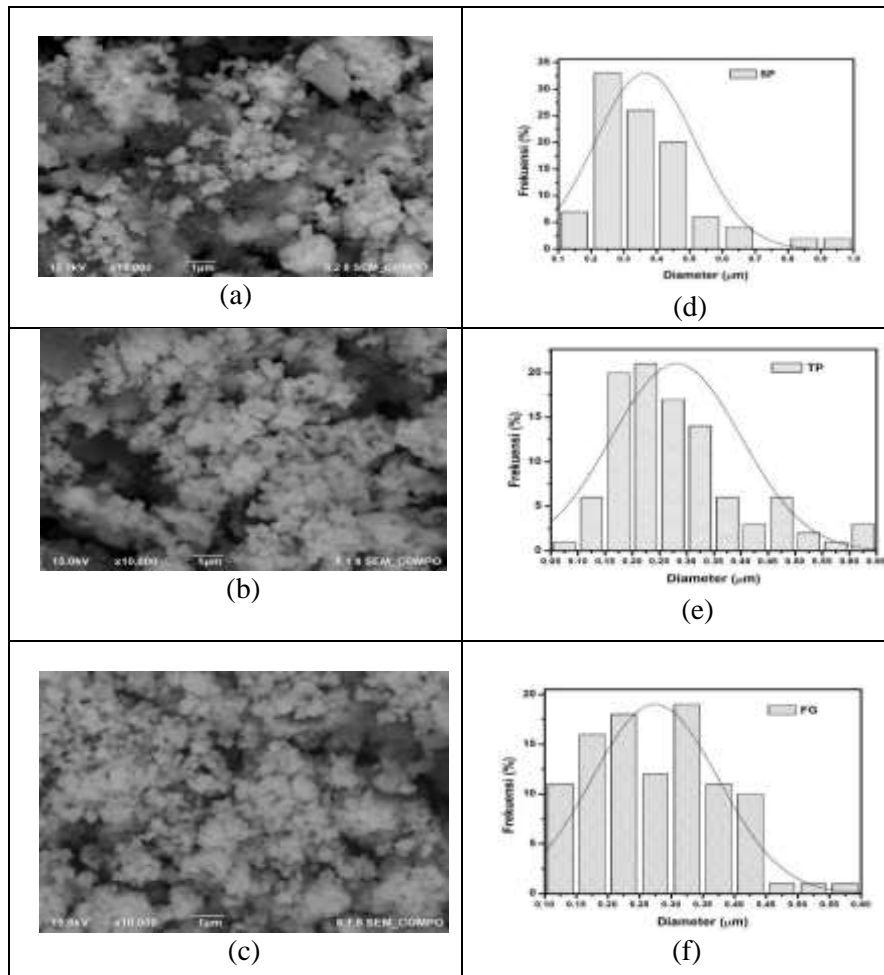
Nama	Senyawa	Parameter Kisi			Volume (Å)	Densitas (g/m <sup>3</sup> )	Komposisi fasa (%)
		a (Å)	b (Å)	c (Å)			
<b>Lithium Titanium Oxide</b>	$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$	8.352	8.352	8.352	582.6	3.49	96,9
<b>Rutile</b>	$\text{TiO}_2$	4,623	4,623	2,986	63,82	4,16	3,1

Dari tabel 1 terlihat fasa  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  telah terbentuk seluruhnya dengan struktur kristal dari fasa dapat dilihat pada gambar 4.2, struktur kristal dari  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  berbentuk spinel kubik FCC.

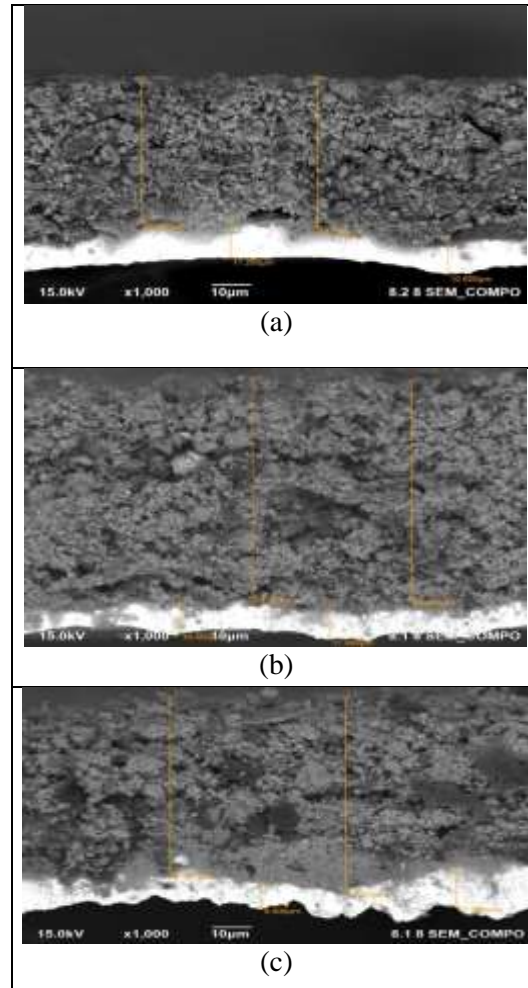
Hasil dari karakterisasi morfologi menggunakan FESEM dengan perbesaran 1k yang berhubungan dengan histogram ukuran partikel perbesaran dapat dilihat pada gambar 2. pengolahan data digunakan software *Image-J* dengan menggunakan gambar yang diperoleh dari hasil pengujian FE-SEM. Data yang diambil sebanyak 100 data dengan ukuran partikel besar, sedang dan kecil. Ukuran partikel pada histogram menunjukkan nilai maksimum pada masing- masing sampel anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp, Tp, Fg). Didapatkan nilai ukuran dengan rentang dari 0,928  $\mu\text{m}$ , 0,641  $\mu\text{m}$  dan 0,556  $\mu\text{m}$  untuk masing-masing anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp, anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Tp, dan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Fg. Dari gambar 2 (a-c) terlihat



terbentuknya aglomerasi pada ketiga sampel, dengan ukuran partikel yang tidak seragam dengan ukuran dibawah 1  $\mu\text{m}$ , dan berbentuk *polyhedral*. Pada sampel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp, terlihat permukaan karbon yang berpori, sedangkan pada  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon TP, dan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon FG terlihat karbon yang tidak berpori. Pada sampel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp dan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Tp, terlihat penyebaran partikel yang kurang homogen dibandingkan dengan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Fg.



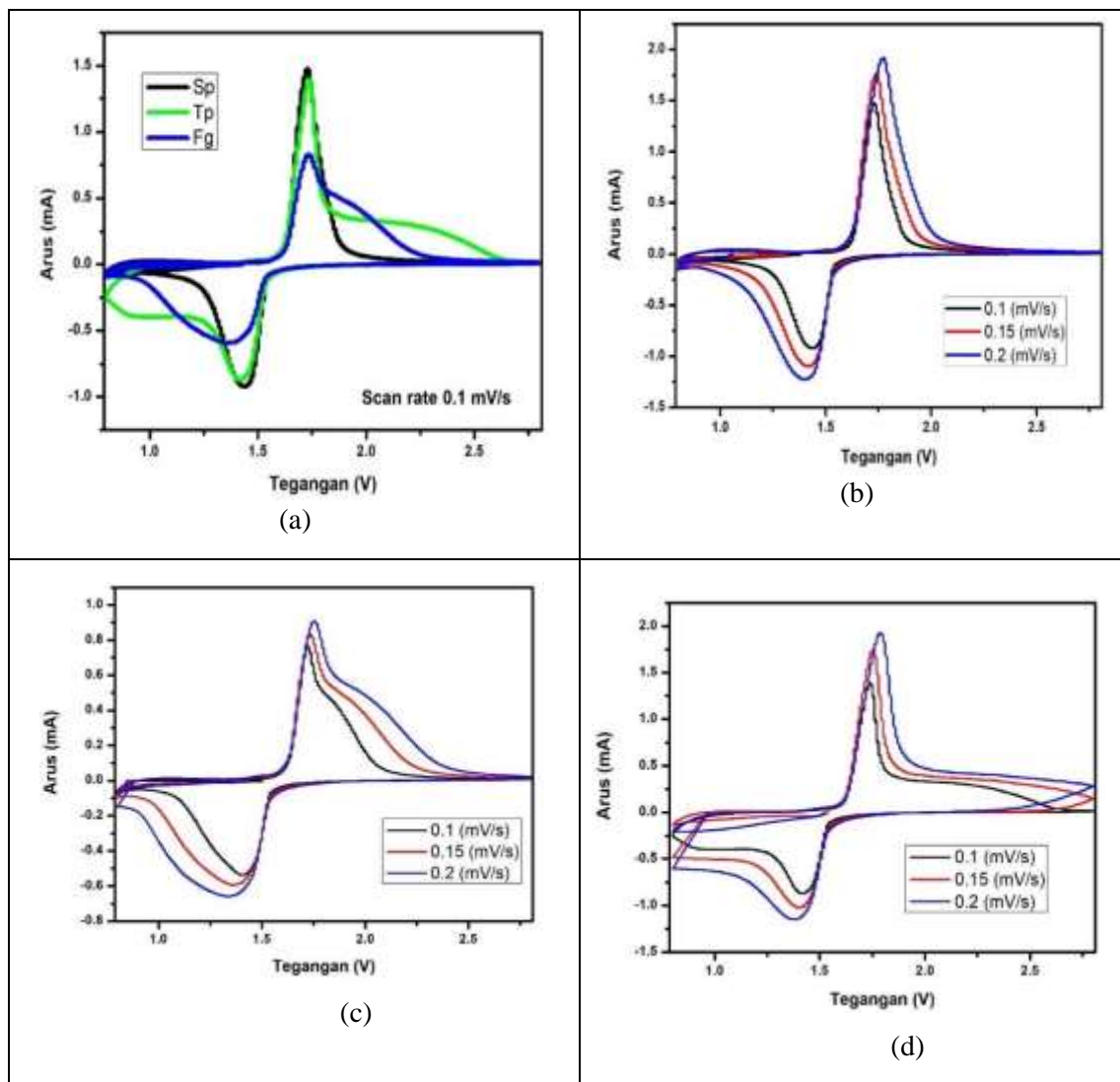
**Gambar 2** FE-SEM dan histogram ukuran partikel dari  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp (a dan d), anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Tp (b dan e) dan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Fg (c dan f)



**Gambar 3** FE-SEM cross section lembaran anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp (a), anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Tp (b), dan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Fg (c)

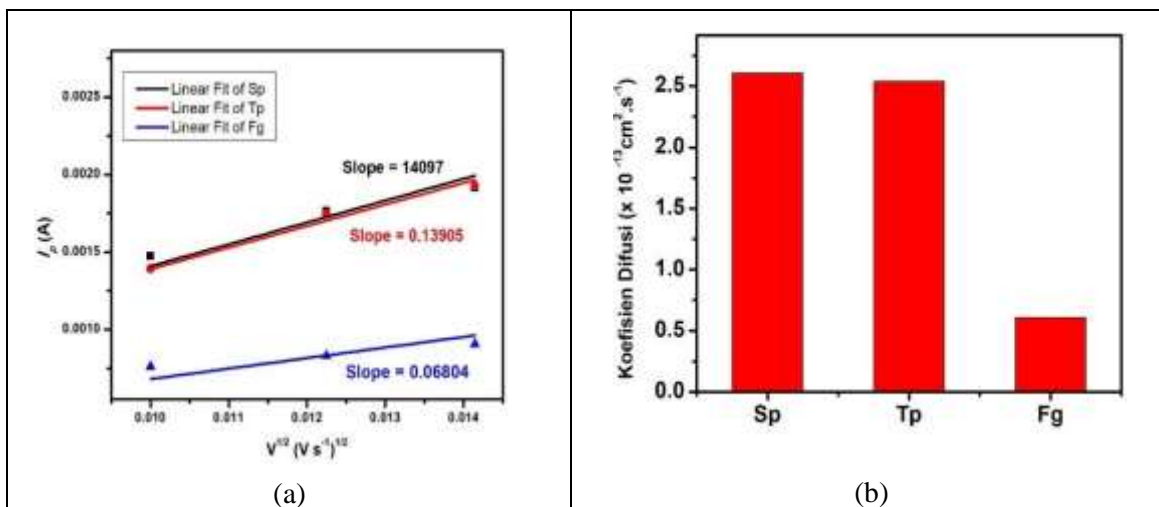
Pada gambar 3 diatas merupakan hasil uji FE-SEM dengan pengambilan sampel *cross section*, dimana terlihat ketebalan elektroda dari ketiga sampel sekitar  $46,800\ \mu\text{m}$ ,  $75,300\ \mu\text{m}$  dan  $68,900\ \mu\text{m}$  untuk masing-masing anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Sp, anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Tp, dan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  sumber karbon Fg.

Pada ujik siklik volrammetri kali ini dilakukan pengujian setengah sel baterai. Sampel berupa *coin cell* dengan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  yang berperan sebagai katoda dipasangkan dengan lithium metal yang berperan sebagai anoda karena tegangannya lebih rendah dibandingkan dengan  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . Data hasil pengujian disini berupa kurva dengan variasi scan rate  $0,01\ \text{mV/s}$ ,  $0,15\ \text{mV/s}$ , dan  $0,2\ \text{mV/s}$ . Kurva tersebut menunjukkan hubungan antara tegangan (V) sebagai input dengan output berupa arus (I).



**Gambar 4** Grafik Cyclic Voltammogram sampel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon (a) gabungan CV pada scan rate 0,1 mV/s (b) super P (SP), (c) Tapioka (Tp), dan (d) karbon aktif food grade (Fg)

Grafik diatas menunjukkan kurva hasil pengujian *cyclic voltammerty* dari ketiga sampel dengan perbedaan sumber karbon yang digunakan dalam pelapisan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat perbedaan kurva yang terbentuk dari hasil pengujian dengan variasi scan rate 0,1 mV/s, 0,15 mV/s dan 0,2 mV/s. Disini terlihat puncak oksidasi dan reduksi yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan scan rate pada ketiga sampel, hal ini disebabkan oleh flux elektroda yang semakin besar sehingga ion  $\text{Li}^+$  yang masuk ke dalam anoda semakin besar.



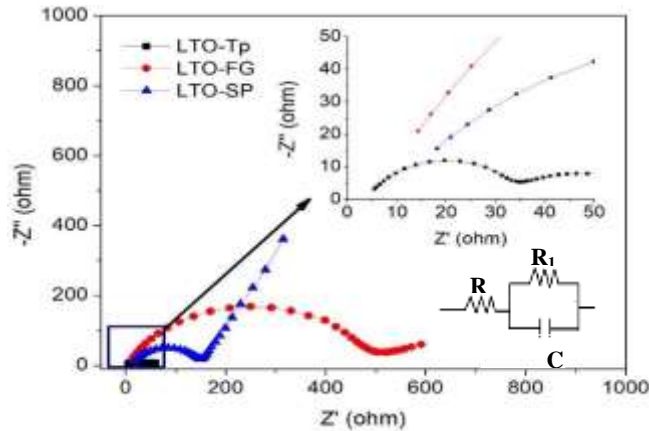
**Gambar 5** (a) grafik linear Sp, Tp, Fg. (b) histogram nilai koefisien difusi dari Sp, Tp, Fg.

Gambar 4 (a) merupakan grafik linear yang menunjukkan nilai gradien yang terbentuk dari hubungan antara arus dengan akar kecepatan scan rate, yang mana dapat disarankan sebagai mekanisme dari kontrol difusi dari reaksi oksidasi/reduksi. Sesuai dengan persamaan *Randles-Sevcik* untuk mengetahui proses elektrokimia reversibel, hubungan  $I_p(v^{1/2})$  dapat dijelaskan sebagai:

$$I_p = 0,4463 \left( \frac{n^3 F^3}{RT} v D \right)^{1/2} AC \quad [3]$$

Dimana  $A$  adalah area permukaan elektroda elektrokimia aktif ( $\text{cm}^2$ ),  $v$  adalah scan rate ( $\text{V s}^{-1}$ ),  $n$  adalah nomor dari elektron yang terlibat selama proses elektrokimia,  $F$  adalah tetapan Faraday ( $\text{C mol}^{-1}$ ),  $R$  adalah konstanta gas ( $\text{J (mol K)}^{-1}$ ),  $T$  adalah temperatur absolut (K),  $C$  adalah konsentrasi molar dari ion lithium dalam kristal  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  ( $\text{mol cm}^{-3}$ ) dan  $D$  adalah koefisien difusi dari lithium ion didalam matriks  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ ).

anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Super.p memiliki nilai yang paling tinggi yaitu  $2,61 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  dan anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Food grade memiliki nilai koefisien difusi paling rendah yaitu  $6,07 \times 10^{-14} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , hal ini dapat terlihat dari uji FE-SEM dimana terlihat bahwa karbon tidak tercampur secara homogen dengan LTO dan PVDF yang kemudian menyebabkan terhambatnya proses interkalasi de interkalasi ion lithium oleh karbon *food grade* itu sendiri. Hasil ini bersesuaian dengan puncak redoks yang terbentuk dari kurva anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber Super p dengan kurva dari anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Tapioka yang memiliki selisih tinggi puncak yang tipis.



**Gambar 6** Plot Nyquist dari  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (Sp, Tp, Fg)

Dari gambar 4.7 diatas terlihat perbedaan kurva *semicircle* yang menunjukkan bahwa ketiga sampel menunjukan sampel bersifat resistif (R) dan kapasitif (C) secara paralel, rangkaian ekuivalen yang dapat menjelaskan fenomena didalam sel baterai tersebut ditunjukkan pada gambar 6 dan nilainya ditunjukan pada tabel 2 sampel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan sumber karbon Tp, memiliki bentuk *semicircle* yang paling kecil dibandingkan dengan kedua sampel yang lain,  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan sumber karbon Tp memiliki hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan sampel yang lain. Besarnya hambatan elektronik ( $R_s$ ), hambatan ionik ( $R_{ct}$ ) dan konduktivitas ditunjukkan pada tabel 4.3 dibawah ini. Meskipun  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan sumber karbon Tp memiliki hambatan yang paling kecil namun menunjukan garis lurus yang kecil pada frekuensi yang rendah, yang menunjukan difusi ion lithium yang terjadi sangat kecil, sampel  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan sumber karbon Fg, memiliki hambatan yang paling besar dan juga namun menunjukan garis lurus yang kecil pada frekuensi yang rendah, yang menunjukan difusi ion lithium yang terjadi sangat kecil, hal ini dapat terlihat pada pengujian FE-SEM dimana karbon Fg meskipun tercampur secara homogen dengan PVDF dan material aktif (LTO) tetapi partikel dari karbon Fg justru menutupi material aktif seperti terlihat pada hasil pengujian FE-SEM sebelumnya, oleh karena itu menyebabkan terhambatnya proses interkalasi de interkalasi ion lithium. [4] [5]  
Nilai konduktivitas dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [6]$$

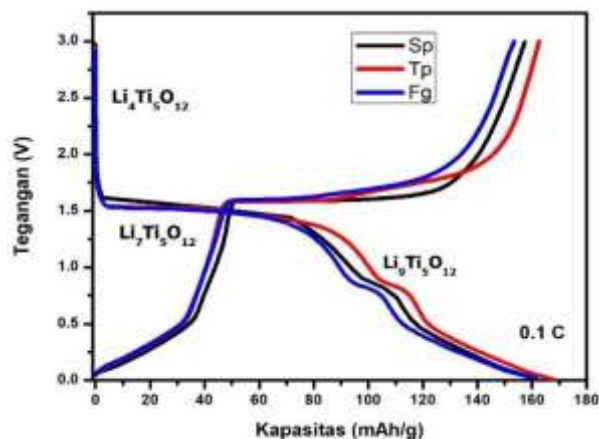
$$\sigma = 1/\rho$$

Dimana R merupakan resistansi ( $\Omega$ ), tebal sampel,  $l$ (cm), luas permukaan sampel,  $A$  ( $\text{cm}^2$ ), adalah konduktivitas dan  $\rho$  adalah resistivitas.

**Tabel 3** Hasil perhitungan konduktivitas  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan variasi sumber karbon (Sp, Tp, Fg)

Sampel	Re ( $\Omega$ )	Rct ( $\Omega$ )	$\sigma_e$ ( $\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )	$\sigma_{ct}$ ( $\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )	$\sigma$ ( $\text{s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ )
LTO/C SP	10,251	146,679	$14,5628 \times 10^{-5}$	$1,01776 \times 10^{-5}$	$15,6 \times 10^{-5}$
LTO/C TP	4,1284	32,6976	$60,2669 \times 10^{-5}$	$7,6093 \times 10^{-5}$	$67,9 \times 10^{-5}$
LTO/C FG	3,9662	501,8338	$37,6389 \times 10^{-5}$	$2,97476 \times 10^{-6}$	$37,9 \times 10^{-5}$

Pada analisis *charge-discharge* dilakukan pengujian sampel anoda LTO dengan variasi karbon Sp, Tp, dan Fg. Tegangan *charge discharge* yang diberikan antara 0-3,0 Volt dan beban arus 0,1 C. Terlihat pada gambar dibawah kurva yang menunjukkan terjadinya reaksi pada saat tegangan diberikan, ketika tegangan *discharge* dari 1-3 V (vs.  $\text{Li}^+/\text{Li}^0$ ) dengan reaksi :  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12} + 3 \text{Li}^+ + 3e^- \leftrightarrow \text{Li}_7\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , Sedangkan potensial yang berundak dari tegangan 1-0 V (vs  $\text{Li}^+/\text{Li}^0$ ) merupakan reaksi dari  $\text{Li}_7\text{Ti}_5\text{O}_{12} + 2 \text{Li}^+ + 2e^- \leftrightarrow \text{Li}_9\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ . [7] [8]



**Gambar 7** Grafik Charge-Discharge  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan variasi karbon (Sp, Tp, Fg)

Pada kurva *charge-discharge* dari ketiga sampel, tegangan yang terbentuk terlihat datar pada range 1,55 V (versus Li), tegangan ini merupakan tegangan kerja yang terbentuk dari ketiga sampel.

**Tabel 4** Performa baterai Anoda LTO/C (Sp,Tp,Fg)

<b>Kapasitas (mAh/g)</b>				
<b>Nama sampel</b>	Charge	Discharge	Energy density (mWh/g)	Efisiensi coulombik (%)
<b>Sp</b>	162,87	167,84	260,152	97,0388
<b>Tp</b>	157,47	161,05	249,6275	97,7771
<b>Fg</b>	153,51	161,23	249,9065	95,2118

Data analisis *charge-discharge*  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  dengan variasi sumber karbon ( Sp, Tp, Fg), ditampilkan pada tabel 4, dari tabel diatas terlihat nilai kapasitas terbesar dihasilkan oleh anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Super p, dan nilai kapasitas terkecil dihasilkan oleh anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon tapioka. Pada tabel 4 diatas menunjukkan nilai efisiensi coulombik (%) dimana nilai yang paling besar dihasilkan oleh sampel anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Super p, semakin besar nilai efisiensi coulombik menunjukkan siklus hidup baterai yang panjang, sebaliknya nilai efisiensi coulombik yang kecil menyebabkan siklus hidup yang pendek.

### KESIMPULAN

Performa elektrokimia anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  dengan sumber karbon Tapioka memiliki nilai konduktivitas elektronik dan konduktivitas ionik paling besar masing-masing  $60,2669 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  dan  $7,6093 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-1}$  dan nilai koefisien difusi  $2,61 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  mendekati besar koefisien difusi  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp) sebesar  $2,54 \times 10^{-13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , serta memiliki nilai kapasitas *discharge* 161,05 mAh/g, mendekati nilai kapasitas *discharge*  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp) sebesar 167,84 mAh/g dengan nilai hasil pengujian yang didapatkan performa elektrokimia dari anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Tp) memiliki nilai konduktivitas dan koefisien difusi yang baik serta kapasitas yang mendekati nilai anoda  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}/\text{C}$  (Sp).

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Outlook energi Indonesia 2018
- [2] Liu, C., Neale, Z. G., & Cao, G. (2016). Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries. *Materials Today*, 19(2), 109–123. doi:10.1016/j.mattod.2015.10.009
- [3] Nordh, T., Younesi, R., Brandell, D., & Edström, K. (2015). Depth profiling the solid electrolyte interphase on lithium titanate ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) using synchrotron-based photoelectron spectroscopy. *Journal of Power Sources*, 294, 173–179. doi:10.1016/j.jpowsour.2015.06.038
- [4] M. Reddy, G.S. Rao, B. Chowdari, (2007). Preparation and characterization of  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.5}\text{O}_2$  and  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.4}\text{Al}_{0.1}\text{O}_2$  by molten salt synthesis for Li ion batteries, *J. Phys. Chem. C* 11, 1172-11720.

- [5] Q. Guo, S. Li, H. Wang, Y. Gao, B. Li, (2014). Molten salt synthesis of nano-sized  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  doped with  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  for use as anode material in the lithium-ion battery. *RSC Adv.* 4, 60327-60333.
- [6] Gamry Instrument. (2010). Basics of Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Appl. Note AC*, 286 (1), R491-7.
- [7] B. Zhao et. al. (2015). A comprehensive review of  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  based electrodes for lithium-ion batteries : the latest advancements and future perspective. *Materials science and engineering*. 98,7.doi:dx.doi.org/10.1016/j.mser.2015.10.001.
- [8] D. K. Kim, P. Muralidharan, H. Wook-Lee, R. Ruffo, Y. Yang, C. K. Chan, H. Peng and R. A. d. Y. Cui, "Spinel  $\text{LiMnO}$  Nanorods as Lithium Ion Battery Cathodes," *Nano Letters*, vol. 8, pp. 3948-3952, 2008



## Analisis Fasa, Struktur Kristal dan Sifat Kemagnetan Material Komposit Berbasis $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3 / \text{Fe}_2\text{O}_3$

Mujadid Al-Rabi<sup>1,†</sup>, Arif Tjahjono<sup>2</sup>, dan Sitti Ahmiatri Saptari<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

†[mujadidalrabi@gmail.com](mailto:mujadidalrabi@gmail.com)

**Abstrak.** Pada penelitian ini dipelajari rekayasa struktur material komposit berbasis neodmium manganit, yang dimulai dengan mensintesis material  $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$  (NSMO) dengan menggunakan metode *sol-gel*, lalu dilanjutkan dengan sintesis material komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x}/(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  dengan persentase berat ( $x = 0; 0,3; 0,5$  dan  $0,7$ ). Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* menunjukkan bahwa sampel NSMO memiliki struktur kristal orthorombik dengan *space group*  $P n m a$ . Setelah dikompositkan dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tidak ada perubahan struktur yang terjadi tetapi muncul fasa lain yang ditandai dengan adanya puncak difraksi milik  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Hasil pengujian *Field Emission Scanning Electron Microscope* menunjukkan persebaran butir yang merata dengan ukuran butir rata-rata  $0,186 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian *Vibrating Sample Magnetometer* pada temperatur ruang (298 K) dengan medan magnet 2 T, menunjukkan material komposit NSMO /  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  bersifat paramagnetik dan nilai magnetisasi serta *susceptibilitas* sampel semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

**Kata Kunci:** Komposit, magnetisasi, NSMO, *sol-gel*, *susceptibility*.

**Abstract.** In this study, the structural engineering of composite materials based on neodmium manganite was studied, starting with synthesizing the  $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$  (NSMO) material using the *sol-gel* method, then continued with the synthesis of composite materials  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  with percentage by weight ( $x = 0; 0,3; 0,5$  and  $0,7$ ). The X-Ray Diffraction test results show that the NSMO sample has an orthorombic crystal structure with a *space group* of  $P n m a$ . After being composited with  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , no structural changes occurred but another phase appeared which was marked by the presence of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  diffraction peaks. Field Emission Scanning Electron Microscope test results showed an even grain distribution with an average grain size of  $0,186 \mu\text{m}$ . The results of the Vibrating Sample Magnetometer test at room temperature (298 K) with a 2 T magnetic field, showed that the NSMO /  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  composite material was paramagnetic and the magnetization value and sample *susceptibility* decreased along with the addition of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  concentration.

**Keywords:** Composite, magnetization, NSMO, *sol-gel*, *susceptibility*.

DOI : [10.15408/fiziya.v3i2.17638](https://doi.org/10.15408/fiziya.v3i2.17638)

## PENDAHULUAN

Material perovskite manganit telah menjadi perhatian luas dikalangan peneliti hingga saat ini, dengan rumus umum  $RE_{1-x}A_xMnO_3$ , dimana RE mewakili ion tanah jarang seperti  $La^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$ ,  $Pr^{3+}$ , dan A mewakili ion *divalent* seperti  $Sr^{2+}$ ,  $Ba^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ . Doping yang dilakukan pada material perovskite manganit akan menimbulkan berbagai fenomena menarik seperti *Colossal Magnetoresistance* (CMR) dan *Magnetocaloric effect* (MCE) [1][2].

Perovskite manganit memiliki beberapa potensi untuk digunakan sebagai media penyimpan magnetik, sensor magnetik, absorber, *thin film*, dan lain-lain [3][4][5]. Sistem ini dipelajari secara luas dan ekstensif sekitar 40 tahun yang lalu mengenai efek *crystal-field* dan kopleing Hund, interaksi *superexchange* dan *double-exchange*, serta efek Jahn-Teller [6].

Saat ini, sebagian besar penelitian berfokus pada doping divalent logam alkali tanah di dalam senyawa  $RE_{1-x}A_xMnO_3$ , maupun dengan penambahan bahan lain untuk merekayasa sifat material dari senyawa  $RE_{1-x}A_xMnO_3$  tersebut. Pada penelitian yang dilakukan oleh M. Naomi dkk [7] terhadap sifat magnetik material  $Nd_{1-x}Sr_xMnO_3$  menyimpulkan bahwa pada  $x = 0,4$  menunjukkan sifat feromagnetik hingga terjadi peralihan menuju paramagnetik pada temperatur curie ( $T_c$ ) 244 K.

Ahmed dkk [8] dalam penelitian yang dilakukannya dengan mengkompositkan material  $Nd_{0,6}Sr_{0,4}MnO_3$  dengan senyawa  $CrO_3$ , menyatakan bahwa penambahan senyawa  $CrO_3$  pada NSMO memperbesar nilai resistivitas dan mengurangi Transisi Metal-Insulator ( $T_{MI}$ ). Pengukuran nilai magnetisasi menunjukkan hampir tidak adanya perubahan pada temperatur curie ( $T_c$ ), meskipun saat telah dihilangkan momen magnetnya. Disebutkan pula bahwa proses komposit material dapat menurunkan interaksi *double exchange* (DE) yang akan menurunkan sifat kemagnetannya. Penelitian yang dilakukan oleh Balaraju dkk [9] terhadap sifat magnetik menyimpulkan bahwa nanopartikel  $\alpha-Fe_2O_3$  yang diukur dengan VSM pada temperatur 100 K dengan medan magnet eksternal -10 kOe to +10 kOe menunjukkan sifat feromagnetik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji struktur kristal dan sifat kemagnetan pada material  $Nd_{0,6}Sr_{0,4}MnO_3$  (NSMO) yang akan dikompositkan dengan prekursor  $Fe_2O_3$ . Dimana berdasarkan karakteristik yang dimiliki oleh  $Fe_2O_3$  yang merupakan feromagnetik, diharapkan dapat meningkatkan sifat kemagnetan pada material komposit yang dihasilkan. Material komposit  $(Nd_{0,6}Sr_{0,4}MnO_3)_{1-x} / (Fe_2O_3)_x$  dibuat dengan variasi persentase berat  $x = 0; 0,3; 0,5; \text{ dan } 0,7$ . Proses sintesis yang digunakan untuk pembuatan sampel NSMO pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *sol-gel*, kemudian dilanjutkan pengkompositan dengan prekursor  $Fe_2O_3$  melalui proses *stiring* dengan menggunakan medium ethanol. Sampel yang telah selesai, dikarakterisasi dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui fasa, struktur kristal dan paramaternya, kemudian dikarakterisasi *Field Emission Scanning Electron Microscope* (FESEM) untuk mengetahui morfologi sampel, serta karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) untuk mengetahui sifat kemagnetan sampel.

## METODE

Pembuatan material  $(Nd_{0,6}Sr_{0,4}MnO_3)_{1-x} / (Fe_2O_3)_x$  diawali dengan mensintesis material  $Nd_{0,6}Sr_{0,4}MnO_3$  menggunakan metode *sol-gel*. Prekursor yang digunakan yaitu  $Nd_2O_3$ ,  $Sr(NO_3)_2$ ,  $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dan  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  dari bahan *pro analysis* dari Merck, Jerman, dengan masing-masing kemurnian 99,9%, 99%, 98,5% dan 99,5%, serta prekursor  $Fe_2O_3$  dari Sigma-Aldrich, India dengan kemurnian 99,98%. Prekursor  $Sr(NO_3)_2$ ,  $Mn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  dan  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$  dilarutkan dengan menggunakan *aquabidest*, dan  $Nd_2O_3$  ditambahkan dengan asam nitrat ( $HNO_3$ ) hingga menjadi basis nitrat ( $Nd_2(NO_3)_2$ ) yang ditandai dengan larutan berubah bening, kemudian dilanjutkan dengan mencampurnya dengan semua prekursor yang telah dilarutkan. Campuran prekursor kemudian diaduk dan dipanaskan hingga  $80^\circ C$  di atas *hot plate* magnetik dan ditambahkan larutan ammonia hingga pH 7. Setelah campuran menggumpal membentuk wujud *gel*, sampel didehidrasi pada suhu  $150^\circ C$  selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan air. Setelah itu dilakukan proses pra kalsinasi pada temperatur  $600^\circ C$  ditahan selama 6 jam dan kalsinasi  $900^\circ C$  ditahan selama 12 jam.

Karakterisasi sampel menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* untuk mengamati fase yang terbentuk. Selanjutnya mengkompositkan sampel NSMO dengan prekursor  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan cara mencampurkan dan mengaduk larutan tersebut dalam medium ethanol selama 30 menit hingga homogen. Kemudian dilakukan dehidrasi sampel pada temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam sampai seluruh ethanol menguap. Dilakukan pengujian selanjutnya yaitu analisis morfologi dan ukuran butir menggunakan *Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)* dan dilanjutkan dengan pengujian sifat kemagnetan menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*.

Dari nilai magnetisasi yang diperoleh dari pengujian VSM dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *susceptibility* ( $\chi$ ), yaitu tingkat kerentanan atau kepekaan suatu material untuk termagnetisasi. Besarnya nilai *susceptibility* ( $\chi$ ) sampel dapat dihitung melalui rasio dari nilai magnetisasi dengan medan magnet seperti pada persamaan 1 [10].

$$\chi = \frac{M}{H} \quad (1)$$

Dimana:

$\chi$  = Nilai *susceptibility* (emu/g.T)

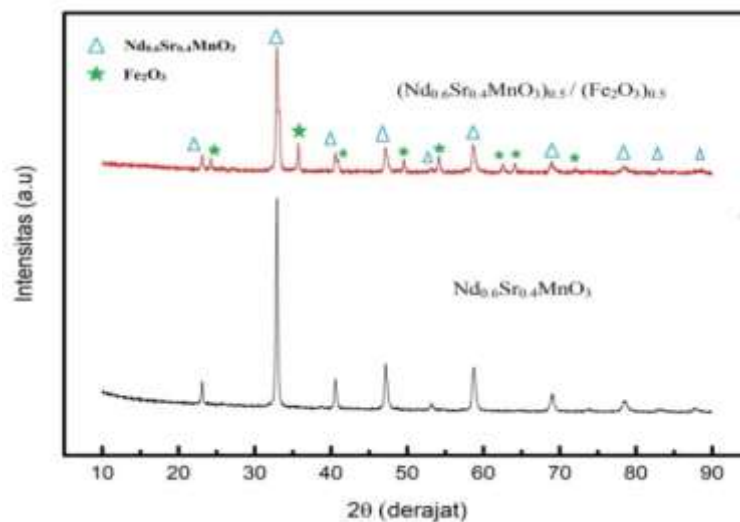
$M$  = Nilai magnetisasi (emu/g)

$H$  = Nilai medan magnet (T)

## HASIL DAN DISKUSI

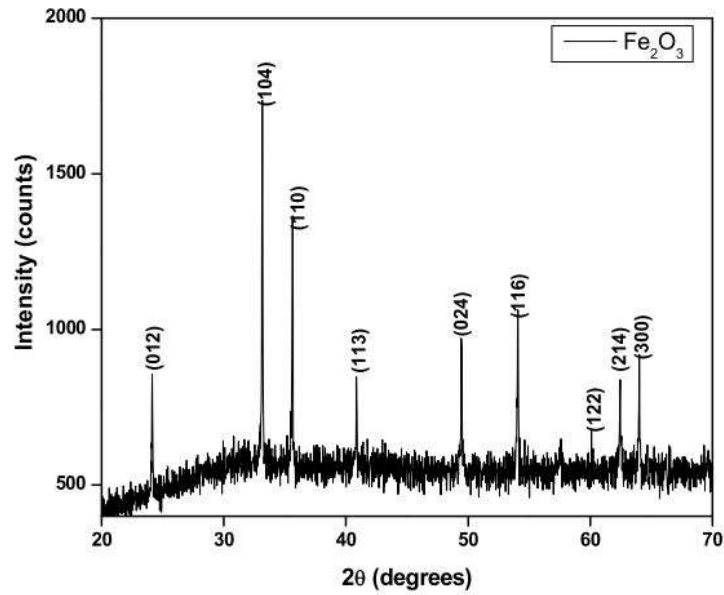
### Karakterisasi XRD

Sampel NSMO dan  $(\text{NSMO})_{0,5} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0,5}$  dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui fasa, struktur kristal dan parameter kisi sampel. Hasil karakterisasi XRD terhadap sampel menghasilkan pola difraksi yang menunjukkan adanya fasa lain milik  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  setelah dikompositkan terhadap sampel NSMO seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Kemudian dilakukan analisis hasil XRD dengan menggunakan metode *rietveld refinement* untuk mengetahui lebih lanjut informasi dari sampel yang telah dikarakterisasi XRD dengan menggunakan *software HighScore Plus* [11][12].

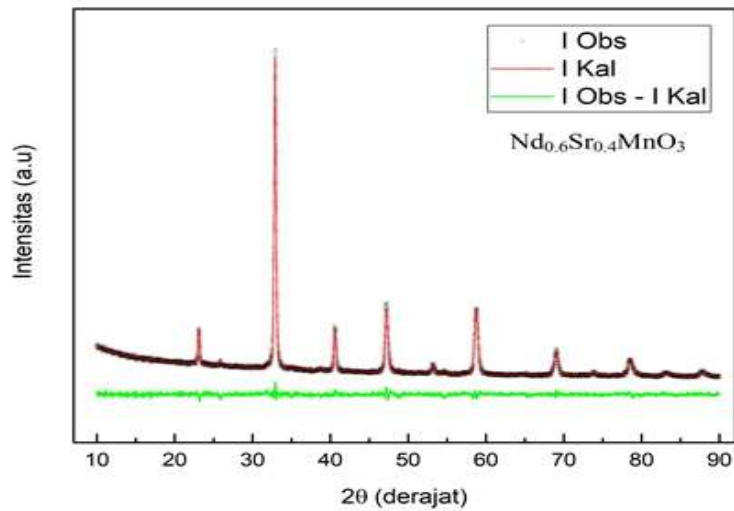


**Gambar 1.** Pola XRD pada material NSMO dan  $(\text{NSMO})_{0,5} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0,5}$

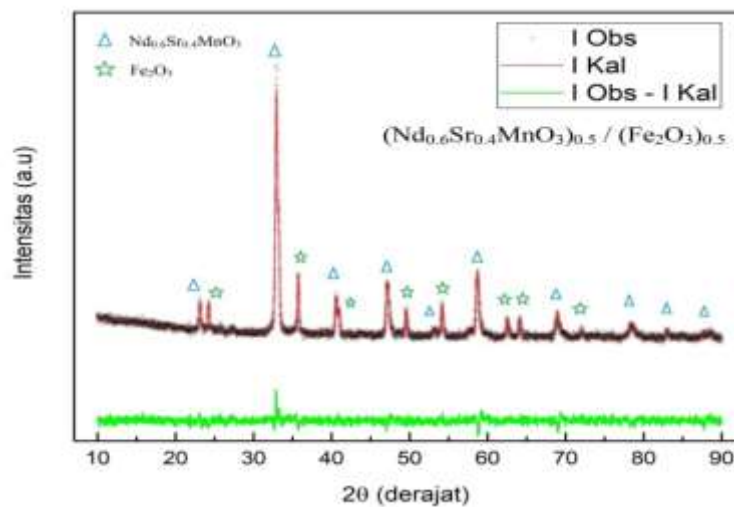
Gambar 2. menunjukkan profil XRD dari penelitian yang dilakukan oleh Balaraju dkk [9] terhadap serbuk  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  yang diproduksi oleh Sigma-Aldrich. Gambar 3. menunjukkan hasil pengolahan data XRD sampel NSMO menggunakan *database ICSD 98-015-7631* [13], dimana didapatkan nilai *chi-square* ( $\chi^2$ ) sebesar 1,08 yang menandakan bahwa hasil *refinement* yang dilakukan memiliki kecocokan yang baik dengan *database* yang digunakan. Analisa ini diperkuat menurut Erfan Handoko dkk [14] yang menyatakan bahwa hasil *refinement* yang baik memiliki nilai *chi-square* dalam rentang 1-1,5. Dari hasil *refinement* menunjukkan bahwa sampel memiliki fasa tunggal dengan tidak adanya fasa pengotor.



Gambar 2. Profil XRD  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [9].



Gambar 3. Pola XRD pada NSMO setelah dilakukan *rietveld refinement*.



Gambar 4. Pola XRD pada  $(\text{NSMO})_{0.5} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.5}$  setelah dilakukan *rietveld refinement*.

Gambar 4. menunjukkan hasil pengolahan data XRD sampel  $(\text{NSMO})_{0.5} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.5}$  menggunakan database ICSD 98-041-5251 [15] dengan nilai *chi-square* ( $\chi^2$ ) sebesar 1,03.

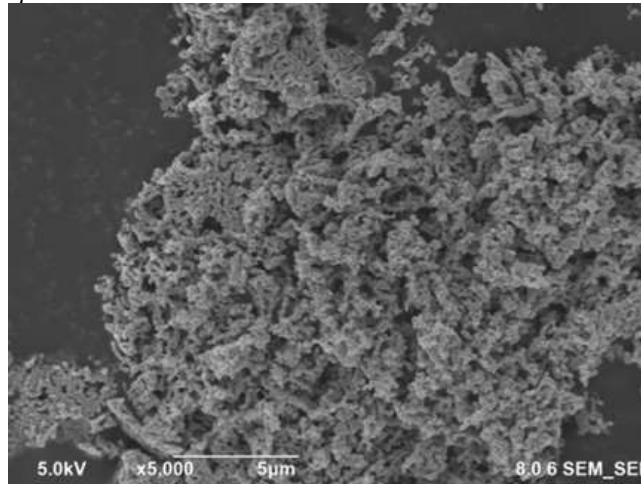
Parameter kisi pada sampel NSMO sebelum dan sesudah dikompositkan dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nilainya tidak berbeda jauh, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1, dapat terlihat nilai *bandwidth* yang diperoleh mengalami penurunan, dikarenakan adanya penambahan panjang ikatan ( $d \langle \text{Mn-O} \rangle$ ) dan penurunan sudut ikatan ( $\theta \langle \text{Mn-O-Mn} \rangle$ ) setelah sampel dikompositkan. Dimana penurunan nilai *bandwidth* berkaitan erat dengan menurunnya kemampuan *double exchange* (DE), dan akan mempengaruhi sifat magnetik dan sifat listriknya [16].

**Tabel 1.** Informasi kristalografi hasil analisis material (NSMO)<sub>0,5</sub> / (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)<sub>0,5</sub>.

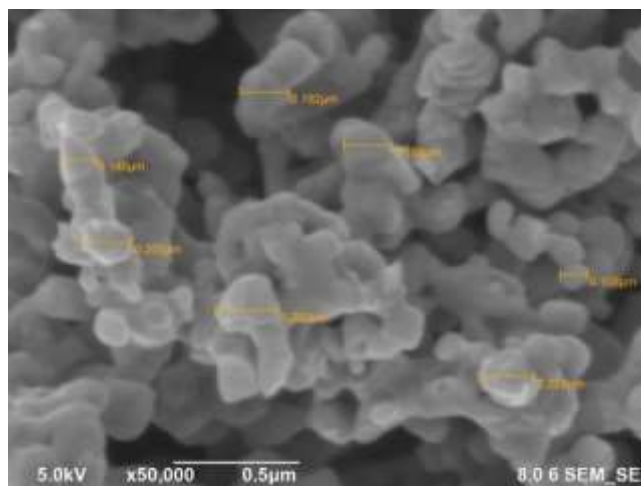
Parameter	$x = 0$	$x = 0,5$	
	Nd <sub>0,6</sub> Sr <sub>0,4</sub> MnO <sub>3</sub>	Nd <sub>0,6</sub> Sr <sub>0,4</sub> MnO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Space Group</i>	Pnma	Pnma	R-3c
a (Å)	54,423	54,563	50,368
b (Å)	76,781	76,849	50,368
c (Å)	54,616	54,715	137,568
V (Å <sup>3</sup> )	228,224	229,426	302,238
Ukuran kristal rata-rata (nm)	23	38	
<b><i>Disrepancy Factors</i></b>			
R <sub>wp</sub> (%)	4,33	2,77	
R <sub>p</sub> (%)	3,34	2,14	
<i>Chi-square</i> ( $\chi^2$ )	1,08	1,03	
<b>Panjang Ikatan (Å)</b>			
Mn-O(1)	1,815	1,912	
	2,074	2,029	
Mn-O(2)	1,946	1,933	
	1,946	1,933	
$\langle \text{Mn-O} \rangle$	1,945	1,952	
<b>Sudut Ikatan (°)</b>			
Mn-O(1)-Mn	164,672	157,211	
Mn-O(2)-Mn	161,655	167,53	
$\langle \text{Mn-O-Mn} \rangle$	163,16	162,37	
<b><i>Bandwidth</i> (u.a)</b>			
W (10 <sup>-2</sup> )	9,64	9,54	
<b><i>Tolerance Factor</i></b>			
Goldsmith	0,933		

### Karakterisasi FESEM

Morfologi sampel NSMO yang telah dikarakterisasi dengan menggunakan FESEM Pada perbesaran 5.000 kali seperti yang ditampilkan pada Gambar 4 terlihat bahwa sampel memiliki butir yang tersebar secara merata dan memiliki bentuk yang relatif sama, yang menunjukkan homogenitas sampel NSMO. Pada perbesaran 50.000 kali yang ditampilkan pada Gambar 5, ukuran butir yang didapat dari beberapa titik pada sampel yang diuji yaitu sebesar 0,140; 0,200; 0,252; 0,192; 0,188; 0,108 dan 0,224  $\mu\text{m}$ , sehingga didapatkan nilai ukuran butir rata-rata sampel sebesar 0,186  $\mu\text{m}$ .



**Gambar 4.** Hasil karakterisasi FESEM material  $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$  dengan perbesaran 5.000 kali.

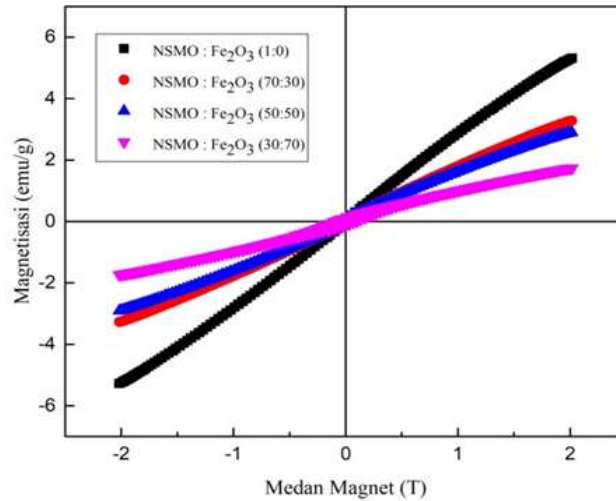


**Gambar 5.** Hasil karakterisasi FESEM material  $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$  dengan perbesaran 50.000 kali.

### Karakterisasi VSM

Karakterisasi VSM dari sampel komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  ( $x = 0, 0,3; 0,5; 0,7$ ) dilakukan pada temperatur disekitar temperatur ruang (298 K) dengan medan magnet sebesar 2 T. Kurva histeresis dari sampel material komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  ditampilkan pada Gambar 6, dan terlihat bahwa sampel memiliki nilai magnetisasi yang kecil, yang menandakan bahwa sampel tersebut merupakan material paramagnetik.

Kurva histeresis pada Gambar 6 menunjukkan bahwa sampel NSMO tanpa komposit memiliki nilai magnetisasi lebih besar yaitu sebesar 5,32 emu/g dibandingkan dengan setelah dikompositkan. Saat material dikompositkan  $(\text{NSMO})_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  dengan  $x = 0,3$  nilai magnetisasinya berkurang menjadi 3,28 emu/g. Saat komposisi  $x$  ditambah menjadi  $x = 0,5$  nilai magnetisasinya berkurang lagi menjadi 2,91 emu/g. Pada penambahan komposisi  $x = 0,7$  nilai magnetisasi berkurang menjadi 1,74 emu/g.

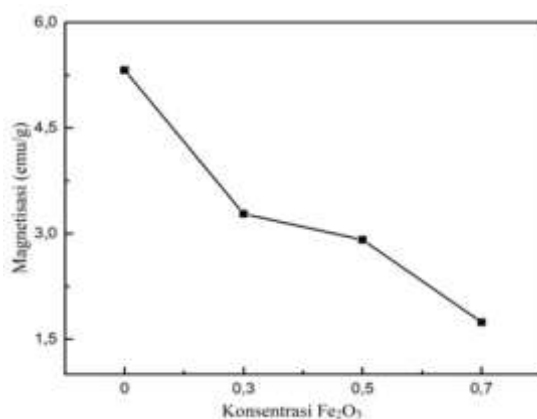


**Gambar 6.** Grafik magnetisasi terhadap medan magnet pada sampel  $(\text{NSMO})_{1-x}/(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  ( $x = 0; 0,3; 0,5; 0,7$ ) pada temperatur ruang.

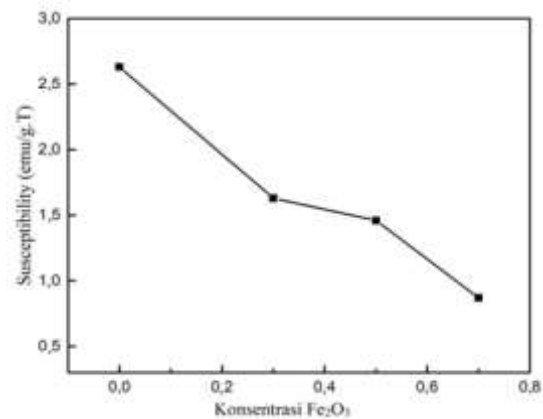
Berdasarkan nilai magnetisasi yang diperoleh dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) untuk mendapatkan nilai *susceptibility* ( $\chi$ ), yaitu tingkat kerentanan atau kepekaan suatu material untuk termagnetisasi. Dan didapatkan hasil perhitungan nilai *susceptibility* ( $\chi$ ) yang ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian VSM sampel komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$ .

Konsentrasi $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (x)	Magnetisasi (emu/g)	<i>Susceptibility</i> (emu/g.T)
0	5,32	2,63
0,3	3,28	1,63
0,5	2,91	1,46
0,7	1,74	0,87



(a)



(b)

**Gambar 7.** (a) Hubungan magnetisasi terhadap konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . (b) Hubungan *susceptibility* terhadap konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Berdasarkan Gambar 7 (a) dan (b) terlihat bahwa nilai magnetisasi serta *susceptibility* material  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  akan semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , karena  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang dikompositkan, akan menghambat proses *double exchange* yang terjadi. Dimana menurunnya kemampuan *double exchange*, akan menyebabkan



penurunan nilai magnetisasinya [17].

Seperti yang dilaporkan oleh Ahmed dkk [8] dalam penelitiannya mengenai material NSMO yang dikompositkan dengan  $\text{CrO}_3$ , dimana terjadi pergantian ion  $\text{Cr}^{3+}$  dengan ion  $\text{Mn}^{3+}$  yang melemahkan proses *double exchange* yang terjadi yang menyebabkan penurunan momen magnetik dan pada akhirnya akan menyebabkan penurunan nilai magnetisasi serta menunjukkan pertambahan nilai resistivitas seiring dengan penambahan  $\text{CrO}_3$ .

Grafik hubungan nilai *susceptibility* terhadap konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang digunakan, menunjukkan adanya penurunan yang menandakan bahwa tingkat kerentanan atau kepekaan magnetik material  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  akan semakin rendah seiring dengan penambahan konsentrasi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang digunakan.

## KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat material komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  ( $x = 0; 0,3; 0,5; \text{ dan } 0,7$ ) dengan menggunakan metode *sol-gel. Refinement* hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa material  $\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3$  yang telah disintesis memiliki fasa tunggal dan memiliki struktur orthorombik ( $P n m a$ ), dan setelah dikompositkan dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  memiliki dua fasa yang ditandai dengan adanya puncak milik  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Berdasarkan hasil dari pengujian VSM nilai magnetisasi dan *susceptibility* yang dimiliki material komposit  $(\text{Nd}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{MnO}_3)_{1-x} / (\text{Fe}_2\text{O}_3)_x$  ( $x = 0; 0,3; 0,5; \text{ dan } 0,7$ ) mengalami penurunan seiring dengan penambahan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

## REFERENSI

- [1] I. A. Abdel-Latif, "Rare Earth Manganites and their Applications," *J. Phys.*, vol. 1, no. 3, pp. 15–31, 2012.
- [2] B. Viswanathan, V. Suryakumar, B. Venugopal, S. H. Roshna, and N. Hariprasad, "Perovskite Materials an Introduction," 2019.
- [3] V. R. Sakhalkar, "Structural, Magnetic and Surface Properties Of RF Magnetron Sputtered Undoped Lanthanum Manganite Thin Films," The University Of Texas At Arlington, 2009.
- [4] S. O. Manjunatha, A. Rao, T. Lin, C. Chang, and Y. Kuo, "Effect of Ba substitution on structural , electrical and thermal properties of  $\text{La}_{0.65}\text{Ca}_{0.35-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$  ( $0 << x << 0.25$ ) manganites," *J. Alloys Compd.*, vol. 619, pp. 303–310, 2015.
- [5] R. K. Nekouei and V. Sahajwalla, "A Green Route to Synthesize  $\text{Pr}^{3+}/\text{Dy}^{3+}$  -Doped  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  Nanoreplicas from  $\text{Nd-Fe-B}$  Magnets," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 2017.
- [6] M. Korotin, "Spin and orbital ordering of  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  from LSDA+U calculations," *Phys. Rev. B*, vol. 59, no. 15, pp. 9903–9910, 1999.
- [7] M. Noumi, F. Issaoui, E. Dhahri, and E. K. Hlil, "Study of Critical Behavior and Magnetocaloric Effect in  $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  Compounds," *Journal Supercond. Nov. Magn.*, pp. 1507–1516, 2019.
- [8] A. M. Ahmed, H. F. Mohamed, A. K. Diab, and S. A. Mohamed, "Synthesis, characterization and low field magnetotransport of  $\text{Nd}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{MnO}_3/\text{CrO}_3$  composite," *Indian J Phys*, 2016.
- [9] B. Balaraju *et al.*, "Structural, Optical and Magnetic Properties of  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  Nanoparticles," *Journal Mech. Mater. Eng.*, pp. 0–5, 2017.
- [10] M. A. Islam, "Direc Comparison of the Magnetic Properties of  $\text{Gd}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$  Nanoparticles with Bulk Counterparts," University of Engineering & Technology Dhaka 1000, 2012.
- [11] N. Perdrial, "Quantitative X-Ray Diffraction : X'Pert Highscore Plus Rietveld Module," 2010.
- [12] J. Setiawan, "Introduction Rietveld Analysis in X'Pert Highscore Plus," no. May, 2018.
- [13] G. Venugopal Reddy, P.;Prasad, V.;Venkataiah, "Anomalous variation of magnetoresistance in  $\text{Nd}_{0.67-y}\text{Eu}_y\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$  manganites," *Solid State Commun.*, vol. 141, no. 0, pp. 73–78, 2007.



- [14] E. Handoko, B. Soegijono, and F. R. Tama, *Tehnik Difraksi Sinar-X Dalam Analisis Struktur Kristal*. .
- [15] K. Mader, W.;Kelm, "Synthesis and structural analysis of epsilon-(Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>)," *Zeitschrift fuer Anorg. und Allg. Chemie*, vol. 631, no. 0, pp. 2383–2389, 2005.
- [16] M. A. Gdaiem, S. Ghodhbane, A. Dhahri, J. Dhahri, and E. K. Hlil, "Effect of cobalt on structural, magnetic and magnetocaloric properties of La<sub>0.8</sub>Ba<sub>0.1</sub>Ca<sub>0.1</sub>Mn<sub>1-x</sub>CoxO<sub>3</sub> (x = 0.00, 0.05 and 0.10) manganites," *J. Alloys Compd.*, vol. 3, 2016.
- [17] I. N. Rahman, "Pengaruh Substitusi Cu Terhadap Sifat Kemagnetan dan Kelistrikan Material La<sub>0.7</sub>(Ba<sub>0.97</sub>Ca<sub>0.03</sub>)<sub>0.3</sub>Mn<sub>1-x</sub>CuxO<sub>3</sub> (x = 0; 0,03; 0,05; 0,07 dan 0,10)," Universitas Indonesia, 2019.

## Identifikasi Objek Bawah Permukaan Untuk Fondasi Jalan Tol di Jakarta Menggunakan Metode Ground Penetrating Radar (GPR) Pada Segmen Area Y

Tika Devi Widayanti <sup>1,†</sup>, Sutrisno <sup>1</sup>, Titi Anggono <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten 15412, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (P2F-LIPI) Kawasan PUSPIPEK, Gedung 440-442, Muncul, Setu, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

<sup>†</sup>[tikadeviwidayanti@gmail.com](mailto:tikadeviwidayanti@gmail.com)

**Abstrak.** Penelitian ini dilakukan di Jakarta dengan tujuan untuk mendeteksi keberadaan utilitas di bawah permukaan tanah sebelum dilakukan pembangunan fondasi jalan tol. Saat ini Jakarta sedang melakukan pembangunan infrastruktur jalan tol. Untuk itu perlu diketahui apakah ada utilitas di bawah permukaan tanah yang dapat mengganggu pembangunan fondasi jalan tol. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR). Terdapat 32 lintasan yang datanya telah diolah menggunakan *software reflexw* 2008. Dari hasil pengolahan dan interpretasi adanya material pasir kering dengan kecepatan gelombang 0,140 m/ns pada kedalaman ~1-2m. Jenis anomali dari radargram menggambarkan lempengan berbentuk kotak dan hiperbola yang menunjukkan utilitas berbentuk silinder. Dari lintasan 1 – 32 terdapat 115 utilitas yang bisa mengganggu pembangunan fondasi jalan tol. Lintasan 5 merupakan lintasan yang paling banyak adanya utilitas terdeteksi sebanyak 6, sedangkan lintasan 10, 23 dan 28 memiliki utilitas terdeteksi paling sedikit sebanyak 2, untuk lintasan 18 dan 19 memiliki 5 utilitas terdeteksi, kemudian lintasan 2, 3, 7, 8, 11, 12, 16, 20, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31 terdapat 4 utilitas terdeteksi, dan lintasan 1, 4, 6, 9, 13, 14, 15, 17, 21, 24, 32 terdapat 3 utilitas terdeteksi. Dari utilitas yang terdeteksi itu perlu dilakukan konfirmasi dengan Lembaga yang mempunyai utilitas tersebut.

**Kata Kunci:** *Ground Penetrating Radar, processing, radargram, reflexw, utilitas.*

**Abstract.** *This research was conducted in Jakarta with the aim of detecting the presence of utilities below ground level before to the construction of the toll road foundation. Currently Jakarta is developing toll road infrastructure. For this reason, it is necessary to know whether there are utilities below ground level that can interfere with the construction of the toll road foundation. This research was conducted using the Ground Penetrating Radar (GPR) method. There are 32 tracks whose data has been processed using Reflexw 2008 software. From the results of processing and interpretation of dry sand material with a wave speed of 0.140 m/ns at a depth of ~ 1-2m. This type of anomaly of a radargram depicts a rectangular plate and a hyperbola indicating cylindrical utility. From routes 1 - 32, there are 115 utilities that can interfere with the construction of the toll road foundations. Line 5 is the path with the most detected utility as many as 6, while lines 10, 23 and 28 have the least detected utility of 2, for lines 18 and 19 it has 5 detected utilities, then trajectories 2, 3, 7, 8, 11, 12, 16, 20, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31 there are 4 utilities detected, and trails 1, 4, 6, 9, 13, 14, 15, 17, 21, 24, 32 there are 3 utilities detected. From the detected utility, it is necessary to confirm with the institution that owns the utility.*

**Keywords:** *Ground Penetrating Radar, processing, radargram, reflexw, utility.*

DOI : 10.15408/fiziya.v3i2.17764

## PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman kebutuhan manusia semakin meningkat yang dimana mengakibatkan perkembangan pada ilmu dan teknologi, serta meningkatnya perkembangan dalam pembangunan di suatu wilayah negara. Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki cukup banyak penduduk serta masih banyak terdapat sumber daya alam di dalamnya. Saat ini Indonesia sedang aktif melakukan pembangunan infrastruktur khususnya di wilayah DKI Jakarta, dimana fungsi dari pembangunan infrastruktur sendiri untuk memajukan wilayah dan meningkatkan perkembangan ekonomi serta memudahkan masyarakat Jakarta dalam beraktivitas. Jakarta sudah memiliki beberapa akses jalan tol salah satunya yaitu jalan tol Jagorawi (Jakarta-Bogor-Ciawi) dengan memiliki panjang 59 km yang menghubungkan antara Jakarta, Cibubur, Citeureup, Bogor, hingga Ciawi yang dikelola oleh PT Jasa Marga [1].

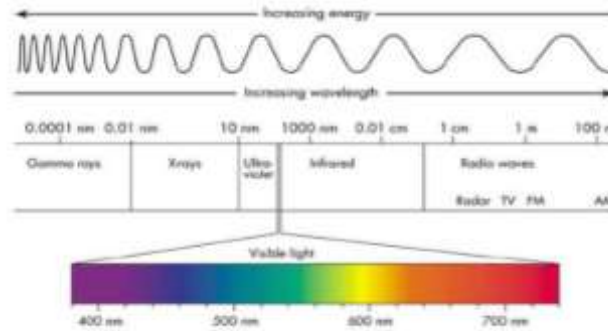
Pada pembangunan tentunya membutuhkan bahan-bahan material, dari bahan material dan kondisi bawah permukaan tanahlah yang akan menentukan bagaimana kualitas bangunannya. Melihat dari fungsi sebuah jalan itu sendiri baik jalan raya maupun jalan tol bahwa jalan harus memiliki daya topang atau fondasi yang kuat karena nantinya banyak yang akan melintasi jalan tersebut. Dalam pembangunan ada yang dinamakan jalur utilitas, dimana jalur utilitas yang sudah ada di bawah permukaan ini bisa mengganggu proses pembangunan dan juga bisa mengurangi fungsi kekuatan dari fondasi. Untuk itu perlu mengetahui terlebih dahulu utilitas tertanam yang ada supaya mengurangi kerusakan demi kelancaran proses pembangunan tersebut. Mengamankan utilitas adalah suatu kewajiban untuk memastikan keberlanjutan pembangunan dan mengurangi kerusakan utilitas tertanam.

Metode GPR ini merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan gelombang elektromagnetik, bersifat non destruktif (tidak merusak) serta mempunyai resolusi tinggi terhadap kontras dielektrik material bumi dan mampu melakukan pendeteksian formasi geologi yang relatif dangkal dengan resolusi tinggi. Metode ini selain digunakan pada bahan geologi bumi, banyak juga yang menggunakan GPR pada sejumlah media lain yaitu kayu, beton, dan aspal. Tujuan dari survey GPR ini untuk memperoleh informasi tentang struktur bawah permukaan secara tidak langsung dengan menggunakan gelombang radio. Pada metode GPR ini sangat memanfaatkan karakteristik dari gelombang.

Teknologi georadar ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan metode yang lainnya, yaitu salah satunya frekuensi yang digunakan sangat tinggi (Mhz) maka resolusi yang diperoleh juga sangat tinggi. Penerapan dalam teknologi ini seperti untuk mendeteksi utilitas, investigasi lapisan struktur bawah permukaan tanah, arkeologi, pertambangan dan geo-teknologi. Karena memiliki resolusi akuisisi data yang sangat tinggi dengan frekuensi tinggi dengan sifat tidak merusak GPR ini dianggap metode yang paling prospektif.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka penelitian ini penting dilaksanakan karena sangat berhubungan dengan pembangunan yang sering dilakukan di wilayah Jakarta. Penelitian ini bertujuan mendeteksi keberadaan utilitas di bawah permukaan tanah sebelum dilakukan pembangunan fondasi jalan tol di wilayah DKI Jakarta. Data yang digunakan adalah data hasil rekaman *Ground Penetrating Radar* (GPR) melalui gelombang elektromagnetik. Untuk menggambarkan rekaman radargram pada penelitian metode GPR ini yaitu menggunakan *software ReflexW 2008*. Karena jika adanya utilitas yang terdeteksi di bawah permukaan tanah kemungkinan tidak akan bisa memulai proses pembangunan sebab dapat berpotensi merusak utilitas tertanam dan akan mengurangi fungsi kekuatan dari fondasi itu sendiri.

## Gelombang Elektromagnetik



**Gambar 1.** Spektrum Gelombang Elektromagnetik [2]

Gelombang elektromagnetik yang digunakan pada GPR termasuk dalam spektrum gelombang mikro, yaitu gelombang yang memiliki frekuensi paling tinggi ~3 GHz. Dalam sistem kerja radar, gelombang mikro dipancarkan ke segala arah oleh pemancar. Jika terdapat suatu objek di bawah permukaan tanah yang mengenai gelombang, maka sinyal gelombang akan dipantulkan oleh objek yang ada di bawah permukaan tanah serta diterima kembali oleh penerima. Sinyal dari pantulan ini akan memberikan informasi mengenai keberadaan objek yang ada di bawah permukaan tanah kemudian akan ditampilkan oleh layar radar berupa gambaran radargram [2]. Sifat dari material-material bumi bergantung dari komposisi dan kandungannya. Komposisi dan kandungan material tersebut mempengaruhi cepat rambat gelombang dan atenuasi gelombang elektromagnetik.

Gelombang elektromagnetik memiliki konsep dasar dari persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell ini menggambarkan terbentuknya medan listrik dan medan magnet yang saling berkaitan. Di sebuah ruang hampa atau medium udara, berikut persamaan-persamaan Maxwell yaitu [3]:

$$\nabla \cdot E = \frac{1}{\epsilon_0} \rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times E = - \frac{\partial B}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times B = \mu_0 J + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} \quad (4)$$

Dimana:

E = kuat medan listrik (V/m)

$\rho$  = tahanan jenis ( $\Omega \cdot m$ )

J = rapat arus ( $A/m^2$ )

B = induksi medan magnet (tesla)

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik dalam ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} C^2/Nm^2$ )

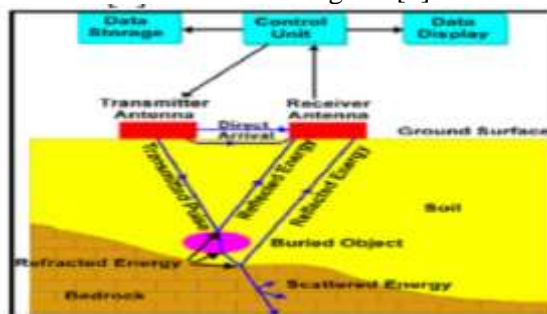
$\mu_0$  = permeabilitas magnetik

**Tabel 1.** Konstanta Dielektrik dan Kecepatan Gelombang pada berbagai material [4]

Material	$\epsilon_r$	V (m/n <sub>s</sub> )
Udara	1	0,3
Air Murni	81	0,033
Air Laut	81	0,033
Salju Kutub	1,4 - 3	0,194 – 0,252
Es Kutub	3 – 3,15	0,168
Es Murni	3,2	0,167
Air Tawar	4	0,15
Pasir Pantai	10	0,095
Pasir Kering	3 – 6	0,120 – 0,170
Pasir Basah	25 – 30	0,055 – 0,06
Lanau	10	0,095
Tanah liat basah	8 – 15	0,086 – 0,11
Tanah liat kering	3	0,173
Rawa	12	0,086
Tanah pertamina	15	0,077
Tanah rata-rata	16	0,075
Granit	5 – 8	0,106 – 0,115
Batu Kapur	7 – 9	0,1 – 0,113
Dolomit	6,8 – 8	0,106 – 0,115
Basal	8	0,106
Serpilh	7	0,113
Batu pasir	6	0,112
Batu bara	4 – 5	0,134 – 0,15
Kuarsa	4,3	0,145
Beton	6 – 12	0,055 – 0,112
Aspal	3 – 5	0,134 – 0,173

**Prinsip Metode Ground Penetrating Radar (GPR)**

Prinsip kerja alat GPR yaitu dengan mentransmisikan gelombang radar (*Radio Detection and Ranging*) ke dalam medium target dan selanjutnya gelombang tersebut dipantulkan kembali ke permukaan dan diterima oleh alat penerima radar (*receiver*), dari hasil refleksi itulah berbagai macam objek dapat terdeteksi dan terekam dalam radargram [5].



**Gambar 2.** Skema Kerja GPR [5]

Semua sistem GPR pasti memiliki rangkaian pemancar (*transmitter*), yaitu sistem antenna yang terhubung ke sumber pulsa, dan rangkaian penerima (*receiver*), yaitu sistem antenna yang terhubung ke unit pengolahan sinyal. Rangkaian pemancar akan menghasilkan pulsa listrik dengan bentuk prf (*Pulse Repetition Frequency*), energi, dan durasi tertentu. Pulsa ini akan dipancarkan oleh antenna ke dalam tanah. Pulsa ini akan mengalami atenuasi dan cacat sinyal lainnya selama perambatannya di tanah. Jika tanah bersifat homogen, maka sinyal yang dipantulkan akan sangat kecil. Jika pulsa menabrak suatu inhomogenitas di dalam tanah, maka akan ada sinyal yang dipantulkan ke antenna penerima. Sinyal ini kemudian diproses oleh

rangkaian penerima. Kedalaman objek dapat diketahui dengan mengukur selang waktu antara pemancaran dan penerimaan pulsa. Dalam selang waktu ini, pulsa akan bolak balik dari antenna ke objek dan kembali lagi ke antenna. Jika selang waktu dinyatakan dalam  $t$ , dan kecepatan penjalaran gelombang elektromagnetik dalam tanah  $v$ , maka kedalaman objek yang dinyatakan dalam  $h$  adalah [2]:

$$h = \frac{1}{2} tv \tag{5}$$

Frekuensi gelombang radar yang dipancarkan dapat diatur dengan mengganti antenna. Pemilihan Frekuensi yang digunakan bergantung pada ukuran target, aproksimasi *range* kedalaman dan aproksimasi maksimum kedalaman penetrasi yang ditunjukkan pada Tabel 2 [6].

**Tabel 2.** Resolusi dan Daya Tembus Gelombang Radar [6]

Frekuensi Antena (MHz)	Ukuran target minimum yang terdeteksi (m)	Aproksimasi range kedalaman (m)	Penetrasi kedalaman maksimum (m)
25	$\geq 1,0$	5 -30	35 – 60
50	$\geq 0,5$	5 -20	20 – 30
100	0,1 – 1,0	2 - 15	15 – 25
200	0,05 – 0,50	1 - 10	5 – 15
400	$\approx 0,05$	1 - 5	3 – 10
1000	Cm	0,05 - 2	0,5 - 4

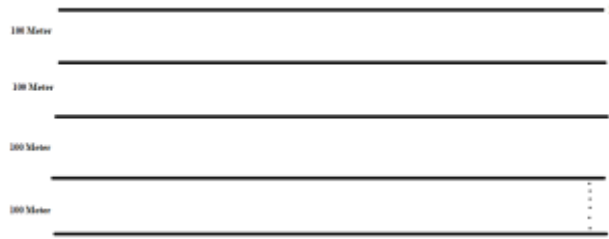
Sinyal yang dipancarkan oleh GPR ke bawah permukaan akan berbentuk seperti kerucut atau serupa dengan cahaya yang dipancarkan oleh torsi. Pada GPR ini ada yang Namanya resolusi vertikal maupun resolusi horizontal. Dimana untuk resolusi vertikal ini merupakan resolusi yang tidak bergantung pada kedalaman penetrasi (*skin depth*), objek yang akan terdeteksi yaitu jika objek tersebut memiliki ketebalan minimal  $\lambda/4$ , jadi frekuensi yang dipancarkan ke bawah permukaan hanya meresolusi ukuran minimum ketebalan dari objek. Jika objek tersebut memiliki ketebalan kurang dari  $\lambda/4$  maka tidak dapat terdeteksi oleh GPR. Sedangkan untuk resolusi horizontal/lateral yaitu resolusi yang menggambarkan jarak antara objek di permukaan. Untuk *skin depth* dimana frekuensi yang dipancarkan ke bawah permukaan hanya berhubungan dengan jarak kedalaman dari permukaan tanah tersebut.

### Hubungan Antara Geoteknik dan *Ground Penetraing Radar*

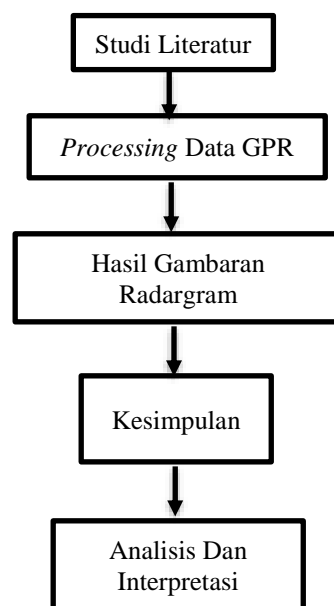
Geoteknik adalah ilmu yang membahas mengenai permasalahan kekuatan tanah dan batuan serta berperan penting dalam kemampuan dasar menahan beban bangunan. Geoteknik berguna untuk kepentingan dalam mencapai keberhasilan pembangunan fisik infrastruktur yang kuat dan aman dari ancaman kerusakan. Dalam pembangunan infrastruktur khususnya pembangunan fondasi jalan tol, geoteknik dengan GPR sangat berkesinambungan. Dimana fungsi dari geoteknik yakni untuk menentukan kekuatan tanah dan batuan serta berhubungan dengan kemampuan menahan beban bangunan yang berdiri di atasnya. Sedangkan, *Ground Penetraing Radar* berfungsi untuk mendeteksi objek yang terkubur di bawah permukaan tanah dan mengevaluasi kedalaman objek tersebut. GPR juga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan karakteristik permukaan bawah tanah tanpa mengebor ataupun menggali permukaan tanah. Untuk resolusi yang tinggi, objek harus berada di dekat permukaan bumi (0,1-3 meter) [7].

## METODE

Data penelitian ini berupa data sekunder yang terdapat 32 lintasan dalam format file data (.rd3). Lokasi penelitian ini di suatu wilayah di Jakarta yang bertujuan untuk mengetahui keberadaan utilitas di bawah permukaan tanah sebelum dilakukan pembangunan fondasi pada salah satu segmen jalan tol yang ada di Jakarta.



Gambar 3. Contoh Pola Sketsa Lintasan Pada Segmen Area Y



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

### Processing Data GPR

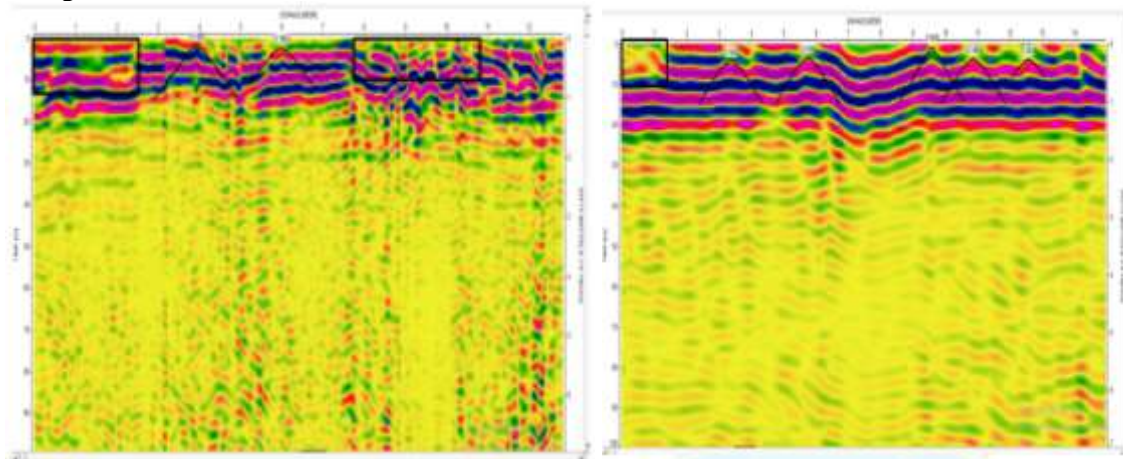
1. *Static Correction*  
Pada proses ini akan melakukan pengoreksian untuk menghilangkan pengaruh dari gelombang udara dengan menggunakan *processing - static correction - move starttime* pada *software reflexw*.
2. *Dewow*  
Dalam tahap proses ini, akan menghilangkan sinyal-sinyal yang tidak diinginkan dengan menggunakan *processing - 1D filter - dewow*.
3. *Gain*  
Di gain ini akan dilakukan perubahan sinyal yang berfungsi untuk memperjelas sinyal yang lemah dengan *processing - gain - gain function*.
4. *Bandpass Filter*  
Pada tahap ini akan dilakukan proses penghilangan berbagai frekuensi yang tidak diinginkan dengan menggunakan *processing - 1D filter - bandpass frequency*.
5. *2D Filter - Background Removal*  
Proses penghilangan *noise* yang muncul secara konsisten pada radargram dengan menggunakan *processing - 2D filter - background removal*.

6. *Fk-filter*

Pada proses terakhir ini, akan dilakukan penghilangan *noise* dari keseluruhan profil radargram yang belum dihilangkan dengan menggunakan *processing –fk filter – generate fk spectrum*, setelah itu akan mendapatkan hasil gambaran radargramnya.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada hasil pengolahan data yang sudah dilakukan dan didapatkan kemudian akan di analisis. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan tanah guna melihat keberadaan utilitas berdasarkan data georadar (GPR) *Reflexw 2008* yang akan menunjukkan hasil radargram.



**Gambar 5.** Hasil Gambaran Radargram, (a) Lintasan 3 – Data 3, (b) Lintasan 5 – Data 4.b

Pada gambar 5(a) lintasan 3 di atas garis – garis horizontal yang ada pada radargram tidak lurus atau terlihat tidak beraturan, berbeda dengan lintasan 5. Hal ini kemungkinan data yang mengalami masalah (*error*). Salah satunya dengan ditunjukkan pada hasil *processing* yang memperlihatkan horizon yang tidak lurus. Data yang *error* ini bisa juga disebabkan karena banyaknya *noise* pada saat akuisisi data, sehingga pada tahapan *processing*-pun *noise* sulit untuk dihilangkan.

Pada gambar 5(b) lintasan 5 terdeteksi 6 jenis anomali, yaitu pada jarak  $\pm 1$  meter terlihat anomali berbentuk lempengan/kotak, dan untuk jarak  $\pm 3$  meter, 6, 10, 11 dan 13 meter terlihat 5 anomali berbentuk hiperbola. Dimana anomali tersebut diindikasikan sebagai utilitas yang ada di bawah permukaan tanah, dengan diasumsikan kecepatan gelombang pada material berupa pasir kering sebesar 0,140 m/ns. Frekuensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 250 Mhz.

**Tabel 3** Kedalaman, lokasi dan jenis anomali terdeteksi

Lintasan	Jenis Anomali	Lokasi (m)	Kedalaman (m)
Line 1	Kotak	0 – 2	1
	Kotak	4 – 5	0 – 0,5
	Hiperbola	7	0,2 – 0,7
Line 2	Kotak	3 – 4	1
	Kotak	6 – 7	0 – 0,5
	Hiperbola	9	0,2 – 1
Line 3	Hiperbola	11	0,2 – 1
	Kotak	0 – 2	0 – 1
	Kotak	8 – 11	0 – 0,8
Line 3	Hiperbola	4	0,2
	Hiperbola	6	0,2
Line 4	Kotak	2 – 4	0 – 0,8



	Hiperbola	10	0,3
	Hiperbola	13	0,5
	Kotak	0 – 1	0 – 0,8
	Hiperbola	3 – 4	0,3
<b>Line 5</b>	Hiperbola	6	0,3
	Hiperbola	10	0,1
	Hiperbola	11	0,3
	Hiperbola	13	0,3
	Kotak	0 – 2	0,4
<b>Line 6</b>	Hiperbola	3	0,5
	Hiperbola	6 – 7	0,5
	Kotak	0 – 3	0,5 – 1
<b>Line 7</b>	Kotak	6 – 10	0 – 0,7
	Hiperbola	5	0,1
	Hiperbola	11	0,5
	Kotak	0 – 1	~ 1
<b>Line 8</b>	Kotak	7 – 8	0,1
	Hiperbola	4	0,1
	Hiperbola	8 – 9	0,1
	Kotak	2 – 3	~ 1
<b>Line 9</b>	Kotak	4	0,5 – 1
	Hiperbola	5	0,1
<b>Line 10</b>	Kotak	3	~ 1
	Hiperbola	4 – 5	0,2
	Kotak	0 – 2	0,2
<b>Line 11</b>	Kotak	~ 6	0,2
	Hiperbola	3	0,2
	Hiperbola	5	0,2
	Kotak	0 – 1	0,6
<b>Line 12</b>	Kotak	~ 4	0,6
	Kotak	6 – 8	0,3
	Hiperbola	5	0,1
	Kotak	1 – 5	0,1
<b>Line 13</b>	Kotak	8 – 9	0,1
	Hiperbola	6 – 7	0,3
	Kotak	0 – 2	0,1 – 0,5
<b>Line 14</b>	Kotak	9 – 10	0,1 – 0,5
	Hiperbola	7	0,4
	Kotak	3	1
<b>Line 15</b>	Kotak	7 – 8	0,3
	Hiperbola	10 – 11	0,3
	Kotak	0 – 2	0,2 – 0,5
<b>Line 16</b>	Kotak	7 – 9	0,2
	Hiperbola	5	0,2
	Hiperbola	6	0,2
	Hiperbola	2	0,3
<b>Line 17</b>	Hiperbola	6	0,3
	Hiperbola	13	0,3
	Kotak	0 – 3	0,3
	Kotak	18 – 20	0,2
<b>Line 18</b>	Hiperbola	4	0,3
	Hiperbola	8	~ 1
	Hiperbola	15	0,2
	Kotak	5 – 7	0 – 0,2
	Kotak	11 – 15	0 – 0,2
<b>Line 19</b>	Hiperbola	2 – 3	0,3
	Hiperbola	3 – 4	0,3
	Hiperbola	8	0,3

	Kotak	1 – 3	0,2 – 0,8
<b>Line 20</b>	Kotak	9 – 11	0,2 – 0,5
	Kotak	13 – 15	0,2 – 0,8
	Hiperbola	4	0,5
<b>Line 21</b>	Kotak	1 – 4	0,2 – 1
	Kotak	9 – 11	0,2
	Hiperbola	5	0,3
<b>Line 22</b>	Kotak	0 – 2	0,2
	Hiperbola	3	0,2
	Hiperbola	5	0,3
<b>Line 23</b>	Hiperbola	9 – 10	0,3
	Kotak	8 – 9	0,2
	Kotak	~ 11	0,2
<b>Line 24</b>	Kotak	3 – 4	0 – 1
	Hiperbola	5	0,2
	Hiperbola	9	0,2
<b>Line 25</b>	Kotak	1 – 3	0,5
	Kotak	5 – 7	0 – 1
	Hiperbola	4	0,3
<b>Line 26</b>	Hiperbola	10 – 11	0,2
	Kotak	1 – 2	~ 1
	Kotak	8 – 9	0 – 0,8
<b>Line 27</b>	Hiperbola	5 – 6	~ 1
	Hiperbola	11	0,5
	Kotak	1 – 3	~ 1
<b>Line 28</b>	Hiperbola	4	0,3
	Hiperbola	7	0,3
	Hiperbola	10	0,2
<b>Line 29</b>	Kotak	0 – 3	0 – 0,5
	Hiperbola	6	0,2
	Kotak	0 – 3	0 – 0,4
<b>Line 30</b>	Kotak	5 – 6	0 – 0,5
	Hiperbola	3 – 4	0,4
	Hiperbola	9 – 10	~ 1
<b>Line 31</b>	Kotak	2 – 4	0 – 0,3
	Hiperbola	8	0,2
	Hiperbola	12 – 13	0,3
<b>Line 32</b>	Hiperbola	14	0,3
	Kotak	1 – 3	0 – 0,5
	Hiperbola	5	0,2
<b>Line 33</b>	Hiperbola	7 – 8	0,3
	Hiperbola	9	0,3
	Kotak	11 – 12	0,8
<b>Line 34</b>	Hiperbola	6 – 7	0,3
	Hiperbola	9	0,3

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan dan interpretasi data yang dilakukan menggunakan metode *Ground Penetrating Radar (GPR)* dengan *software Reflex 2008* di suatu wilayah studi dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil *processing* secara keseluruhan, setiap lintasan menunjukkan adanya objek terdeteksi berbentuk lempengan/kotak dan hiperbola. Objek hiperbola menunjukkan utilitas dalam bentuk silinder.
2. Anomali yang terdeteksi paling banyak berbentuk hiperbola sejumlah 63 buah dengan jenis material pasir kering pada kedalaman ~0,1 – 0,5m, dan kecepatan gelombang 0,140 m/ns.

3. Dari seluruh lintasan, anomali yang terdeteksi sebagai utilitas sebanyak 115. Enam utilitas terdeteksi di lintasan 5, lima utilitas di lintasan 18 dan lintasan 19, empat utilitas di lintasan 2, lintasan 3, lintasan 7, lintasan 8, lintasan 11, lintasan 12, lintasan 16, lintasan 20, lintasan 22, lintasan 25, lintasan 26, lintasan 27, lintasan 29, lintasan 30, dan lintasan 31, tiga utilitas di lintasan 1, lintasan 4, lintasan 6, lintasan 9, lintasan 13, lintasan 14, lintasan 15, lintasan 17, lintasan 21, lintasan 24, lintasan 32, dan dua utilitas di lintasan 10, lintasan 23, dan lintasan 28. Untuk mengetahui apakah utilitas tersebut mengganggu pembangunan jalan tol atau tidak, perlu konfirmasi dengan Lembaga yang mempunyai utilitas tersebut.

## REFERENSI

- [1] PT Jasa Marga - Informasi layanan ruas tol, Jakarta, 2020. [Online]. Available:<https://www.jasamarga.com/>. [Accessed: 12-Apr-2020].
- [2] A. Bahri, dkk., Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunungkidul Dengan Metode Ground Penetrating Radar, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2009. [Online]. Available:<http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-12481-Paper.pdf>. [Accessed: 18-Apr-2020]
- [3] Supriyanto, Y.D. Ladjar, and P.A.D. Lazar, Interpretasi Keberadaan Goa Bawah Tanah (Bunker) Berdasarkan Data Ground Penetrating Radar (GPR) di Desa Jembayan, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, J. Geosains Kutai Basin., vol. 2, no. 2, 2019
- [4] N. Ramadianti, dkk., - PT Abhinaya Mappindo Bumitala, Aplikasi Ground Penetrating Radar untuk Mengidentifikasi Voids pada Beton, 2019. [Online]. Available:<https://www.researchgate.net/publication/337006324>. [Accessed: 30-Mar-2020].
- [5] Agung, dkk., Modul Eksplorasi Elektromagnetik. Bandarlampung: Universitas Lampung, 2011. [Online]. Available:[https://www.academia.edu/31652341/eksplorasi\\_elektromagnetik\\_pdf](https://www.academia.edu/31652341/eksplorasi_elektromagnetik_pdf). [Accessed: 12-Apr-2020]
- [6] Astutik, Penggunaan Ground Penetrating Radar(GPR) Sebagai Metal Detektor, Univ. Jember, J. ILMU Dasar, vol. 2, no. 1, p. 9-16, 2001.
- [7] U. Achsanika, dkk., SURVEI BAWAH TANAH. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015. [Online]. Available:[https://www.academia.edu/19659161/Geolistrik\\_geoteknik\\_gpr](https://www.academia.edu/19659161/Geolistrik_geoteknik_gpr). [Accessed: 1-Sept-2020]

