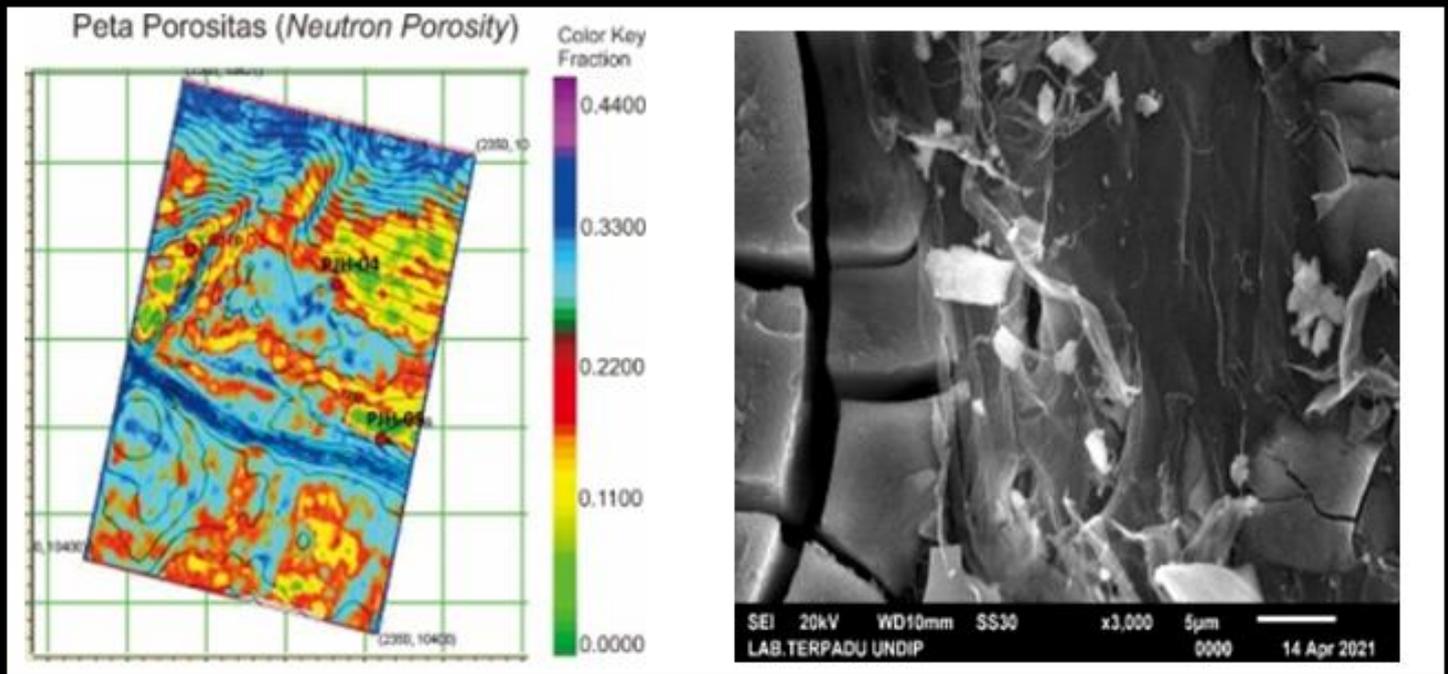


Komunikasi Fisika Indonesia





Susunan Dewan Redaksi Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia (KFI)

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

Penanggungjawab : Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

Pimpinan Redaksi : Drs. Usman Malik, M.Si

Managing Editor:

1. Dr. Rakhmawati Farma, M.Si, Universitas Riau
2. Romi Fadli Syahputra, S.Si, Universitas Riau
3. Wahyu Candra, S.Si, Universitas Riau
4. Yan Soerbakti, Universitas Riau

Dewan Reviewer / Editorial Board:

- Ketua** : Prof. Dr. Saktioto, S.Si., M.Phil (Universitas Riau)
- Anggota** :
1. Prof. Dr. Erwin, M.Sc (Universitas Riau)
 2. Prof. Dr. Warsito, DEA (Fisika FMIPA Univ. Lampung)
 3. Prof. Dr. Timbangan Sembiring, M.Sc (Universitas Sumatera Utara)
 4. Prof. Dr. Edy Saputra, M.Sc (Universitas Riau)
 5. Prof. Dr. Erman Taer, M.Si (Universitas Riau)
 6. Dr. Minarni, M.Sc (Universitas Riau)
 7. Dr. Okfalisa (UIN Suska Riau)
 8. Dr. Dedi Irawan (Universitas Riau)
 9. Dr. Ing. Rahmondia Nanda Setiadi, M.Si (Universitas Riau)
 10. Dr. Efizal, M.Sc (Universitas Islam Riau)
 11. Dr. Hamzah, M.Sc (Universitas Lancang Kuning)
 12. Rizadi Sasmita Darwis, S.T., M.T. (Politeknik Caltex Riau)

Alamat Redaksi:

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

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	i
DAFTAR ISI	ii
PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN <i>HYBRID THERMOELECTRICS</i> DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MATAHARI DARI KOLEKTOR PARABOLA SILINDRIS <i>Defrianto, Eri Wiyadi, Lazuardi Umar</i>	167-172
IDENTIFIKASI LAPISAN AKUIFER MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER DI PERUMAHAN ARZA GRIYA MANDIRI JAMBI <i>Irfan Afifuddin, Rustan, Tika Restianingsih</i>	173-178
MEMBANGUN MODEL <i>NEUTRON POROSITY</i> BAWAH PERMUKAAN DENGAN PROPERTI FISIK DATA SEISMIK PADA <i>RESERVOIR</i> KARBONAT <i>Tabah Rubiyana, Paul Hutabarat</i>	179-190
POTENSI DAUN KETAPANG (<i>TERMINALIA CATAPPA</i>) SEBAGAI BIOREDUKTOR UNTUK SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DALAM PENYERAPAN METILEN BIRU <i>Mega Wati Siregar, Yanuar</i>	191-196
SURVEI <i>HYDROCHEMICAL</i> AIR TANAH DANGKAL DAN SIFAT KARAKTERISTIK TANAH DILAHAN PERTANIAN PALAWIJA DI MARPOYAN DAMAI <i>Sari Agriona, Juandi M</i>	197-203
PENGARUH UKURAN BOLA <i>MILLING</i> TERHADAP NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN DISTRIBUSI UKURAN NANOPARTIKEL MAGNETIK DISINTESIS DARI PASIR PANTAI SUNGAI SUCI BENGKULU <i>Nindy Daviny, Erwin</i>	204-207
PERANCANGAN SISTEM PEMANTAUAN PARAMETER FISIS AIR BERBASIS <i>INTERNET OF THINGS (IoT)</i> MENGGUNAKAN <i>RASPBERRY PI</i> <i>Mardian Peslinof, M Ficky Afrianto, Yoza Fendriani, Benedika Ferdian Hutabarat</i>	208-216
KAJIAN PENGARUH <i>MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEX</i> DI PULAU JAWA TERHADAP CURAH HUJAN SAAT KEJADIAN BANJIR DI KENDAL PADA 26-27 JANUARI 2019 <i>Muhammad Ikko Safrilda Maulana, Nur Irfan Wicaksono, Yosafat Donni Haryanto</i>	217-224
ANALISA PERUBAHAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN KOMPOSISI PARTIKEL PASIR ALAM SUNGAI ROKAN SEBAGAI FUNGSI KECEPATAN PUTAR TABUNG <i>BALL MILLING</i> <i>Salomo S, Erwin A, Diah Nurrohmah, Tri Wulandari</i>	225-229
EFEK LAPISAN GANDA ANTIREFLEKTIF UNTUK MENINGKATKAN TRANSMISI <i>PHOTOVOLTAICS</i> DARI SEL SURYA <i>Asnawi, T N Faiza, C Diningsih, Muhimmatul Khoiro, Rohim Amirullah Firdaus</i>	230-237

PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN *HYBRID* *THERMOELECTRICS* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MATAHARI DARI KOLEKTOR PARABOLA SILINDRIS

Defrianto*, Eri Wiyadi, Lazuardi Umar
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru

*E-mail korespondensi: defrianto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Thermoelectric Generator type 10W-4V-40s power generation works through temperature differences on both sides. The hot side (T_h) of a TEG element is placed on a cradle made of Dural Aluminum material and given a heat source derived from a parabolic solar collector, on a cold side (T_c) TEG element mounted heatsink to reduce heat energy through the cold side and keep its temperature to keep it low, the results of the research show that the parabolic solar collectors in this research were able to produce a maximum temperature of 64,2 °C. The maximum Voc voltage generated from the research is 1,087 V in addition to the Vo load voltage on the load resistance variation R_L at T_h 40 °C and the cold side temperature T_c 32 °C is 459,47 mV at R_L 20 Ω. The load current the maximum gain is 125,97 mA at R_L 0,5 Ω and tends to decrease as R_L increases by 23,63 mA at R_L 20 Ω. The highest V_L and I_L voltage when the receiver is at a height of 17,5 cm or right at the reflector focal point, which is 120,90 mV and 31,87 mA with ΔT of 25 °C.

Keywords: Thermoelectric Generator, Seebeck Coefficient, Figure of Merit, Efficiency, Internal Resistance.

ABSTRAK

Pembangkit energi listrik Thermoelectric Generator tipe 10W-4V-40s bekerja melalui perbedaan suhu dikedua sisinya. Sisi panas (T_h) dari sebuah elemen TEG diletakan pada dudukan yang terbuat dari bahan Alumunium Dural dan diberi sumber panas yang berasal dari kolektor surya parabola, pada sisi dingin (T_c) elemen TEG dipasang heatsink guna mengurangi energi panas yang menembus sisi dingin serta menjaga suhunya agar tetap rendah, hasil dari penelitian menunjukan bahwa Kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar 64,2 °C. Tegangan Voc maksimum yang dihasilkan dari penelitian adalah sebesar 1,087 V selain itu tegangan beban Vo terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h 40 °C dan suhu sisi dingin T_c 32 °C adalah 459, 47 mV pada R_L 20 Ω., arus beban maksimum yang diperoleh adalah 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω. Nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor, yaitu sebesar 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 °C.

Kata kunci: Termoelektrik Generator, Koefisien Seebeck, *Figure of Merit*, Efisiensi, Hambatan Internal.

Diterima 07-10-2021 | Disetujui 12-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Sejalan dengan tingkat kehidupan dan perkembangan teknologi, kebutuhan terhadap penyediaan energi listrik terus mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi energi listrik diakibatkan oleh bertambahnya

penggunaan perangkat elektronik dalam media telekomunikasi, transportasi, maupun industry [1-3]. Kondisi ini bertentangan dengan realita penyediaan energi listrik yang dilakukan secara konvensional dengan sumber terbesar menggunakan bahan bakar fosil [4]. Berdasarkan laporan dari *International Energy*

Agency, sumber yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dunia sebesar 41.3 % berasal dari batu bara, 21.7 % berasal dari gas alam, 4.4 % berasal dari bahan bakar minyak, 10.6% berasal dari nuklir, 6.3 % dari air, dan 5.7 % dari sumber lainnya, hal ini dapat menyebabkan terjadinya krisis listrik dimasa mendatang karena batu bara sebagai bahan bakar fosil dengan persentase terbesar akan habis seiring berjalannya waktu [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha-usaha untuk menemukan sumber energi listrik alternatif yang ramah lingkungan serta melakukan pengembangan dalam meningkatkan efisiensi sumber energi listrik yang sudah ada.

Untuk mencapai tujuan itu, suatu sistem pembangkit energi tenaga mikro merupakan jawabannya. Secara umum, ditinjau dari besarnya daya listrik yang dihasilkan ada dua jenis sumber energi yang dapat digunakan dalam menghasilkan energi listrik [6]. Pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, nuklir dan lain sebagainya. Kedua, pembangkit listrik dengan kapasitas mikro yang salah satunya memanfaatkan energi berupa panas, energi panas tersebut antara lain berasal dari sinar matahari, Apabila energi panas tersebut dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi listrik tentunya akan dapat membantu memenuhi kebutuhan energi yang meningkat tersebut [7].

Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Selain itu, kondisi cuaca cerah Indonesia pertahun (*sunshine hours annually*) adalah sekitar 2975 jam atau 124 hari sedangkan rata-rata lamanya penyinaran sekitar 8,2 jam per hari [1, 8, 9].

Salah satu piranti elektronik yang dapat menghasilkan energi listrik dari energi panas adalah elemen termoelektrik (Termoelektrik Generator ,TEG) yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, teknologi ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain aman terhadap lingkungan, sederhana, berukuran kecil, sangat

ringan, tidak bersuara, dan tidak memerlukan perawatan karena tidak ada bagian yang bergerak [2, 10].

METODE PENELITIAN

Kolektor surya parabola dan dudukan TEG didesain menggunakan fasilitas desain grafis pada software AutoCAD, penentuan bentuk kurva dari parabola ini tergantung dari lebar aperture kolektor panas dan sudut rim, data ini merupakan langkah awal dalam menentukan titik fokus dan bentuk kurva parabola dari kolektor surya. Untuk mencari spesifikasi kolektor surya digunakan persamaan (1) sampai (6) berikut.

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\psi \text{ rim}}{2}\right)} \quad (1)$$

Dengan aturan dari jarak fokus (f) dan diameter/lebar aperture (d), maka untuk menentukan tinggi (h) dari kurva parabola menggunakan persamaan:

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2)$$

Rasio konsentrasi merupakan perbandingan diameter dari aperture/ pemantul (d) dengan diameter pipa penerima (D) menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{d}{\pi D} \quad (3)$$

Selanjutnya untuk menghitung dimensi lebar sebenarnya dari kolektor panas jenis parabola yaitu dengan menentukan lebar dari permukaan pemantul (lebar permukaan sebelum dibentuk parabola). Dimensi dari lebar permukaan pemantul s dapat ditentukan menggunakan persamaan:

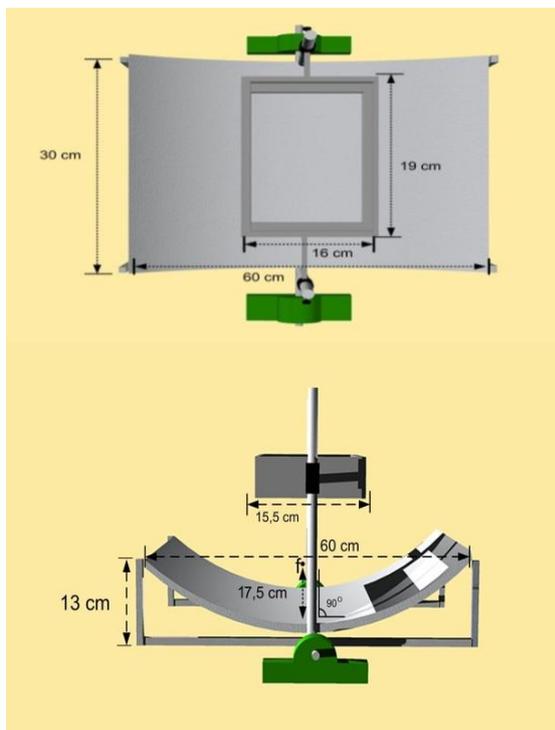
$$S = \frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1} + 2f \ln\left[\left(\frac{4h}{d}\right) + \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] \quad (4)$$

Lebar *aperture* (d), tinggi kurva parabola (h), dan jarak fokus parabola mempengaruhi total loss pada permukaan *aperture* (A_l) dari sebuah kolektor panas parabola. Dimana A_l mempengaruhi faktor geometri (A_f) dari sebuah kolektor panas parabola.

$$A_l = \frac{2}{3} d \cdot h + f \cdot d \left[1 + \frac{d}{48 f^2} \right] \quad (5)$$

$$A_f = \frac{A_l}{A_a} \quad (6)$$

A_f merupakan perbandingan total loss pada permukaan *aperture* (A_l) dengan luas permukaan *aperture* (A_a). Semakin besar A_f , maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan dari sebuah kolektor panas. Persamaan (5) dan (6) adalah untuk menentukan besar A_l dan A_f .



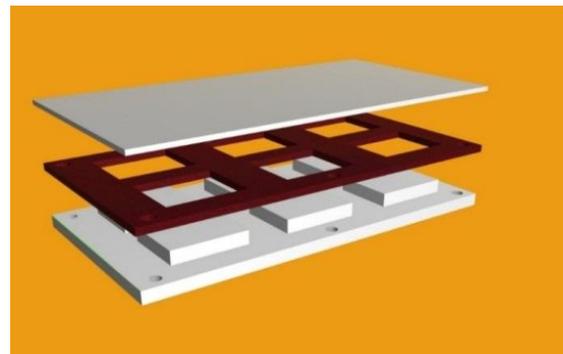
Gambar 1. Desain kolektor surya konsentrator parabola.

Berdasarkan persamaan (1) sampai (6) dapat ditentukan spesifikasi serta dimensi dari kolektor surya parabola sebagai sumber panas elemen TEG.

Tabel 1. Spesifikasi kolektor surya parabola.

Spesifikasi Kolektor Panas Parabola	
Dimensi kolektor	60 × 30 cm
Luas <i>aperture</i> (A_a)	1800 cm ²
Sudut rim (ψ_{rim})	90°
Rasio f/d	0,25
Jarak fokus (f)	17,5 cm
Rasio konsentrasi (C)	0,597
Faktor geometri (A_f)	0,0132
Panjang penerima (L)	16 cm
Bahan <i>aperture</i>	Plat <i>stainless steel</i> (0,6 mm)
Bahan receiver	<i>Stainless Steel</i>

Dudukan elemen terbuat dari bahan Aluminium Dural yang disekat dengan logam pertinaks sebagai isolator panas dan terdiri atas enam arrays untuk enam modul TEG yang tersusun seri, dudukan elemen diletakan di dalam kotak receiver dan tegak lurus terhadap reflektor, bagian sisi dingin elemen termoelektrik diberi heatsink yang bertujuan agar suhu pada sisi dingin elemen dapat dipertahankan. Susunan dari dudukan TEG dapat dilihat dari Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Desain dudukan elemen TEG.

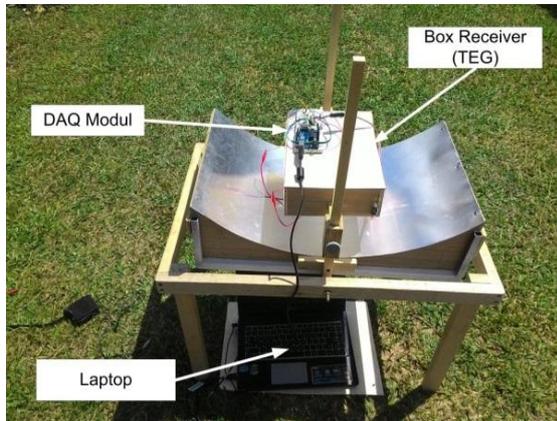
Modul Thermoelektrik yang digunakan adalah tipe TEGpro 10W-4V-40s dengan spesifikasi temperatur panas maksimum adalah 300 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Voc TEG dengan variasi suhu T_h dan T_c

Setup pengukuran output TEG kolektor surya terdiri atas reflektor dari kolektor surya, box receiver sebagai tempat elemen TEG, dan DAQ modul sebagai akuisisi data untuk

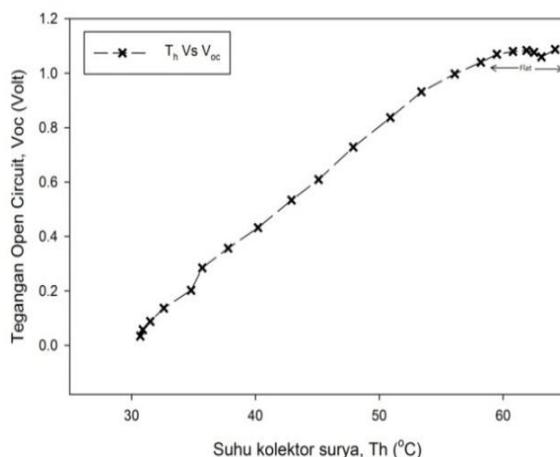
mencatat parameter berupa suhu, tegangan, dan arus. Data yang diperoleh langsung di import kedalam *microsoft excel* sehingga besarnya tegangan, arus, dan suhu TEG kolektor ini dapat diketahui secara langsung.



Gambar 3. Set-up pengukuran TEG kolektor surya.

Gambar 4 memperlihatkan grafik perbandingan antara tegangan open circuit V_{oc} dari modul elemen TEG terhadap suhu yang dihasilkan oleh reflektor kolektor surya parabola, suhu awal pada pengukuran ini adalah $30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan tegangan awal yang sudah terbaca pada alat ukur sebesar $34,2\text{ mV}$.

Tegangan awal yang terbaca pada alat ukur ini disebabkan oleh sensitivitas Termoelektrik yang tinggi sehingga saat terjadi perbedaan suhu akan dikonversi menjadi listrik secara langsung.



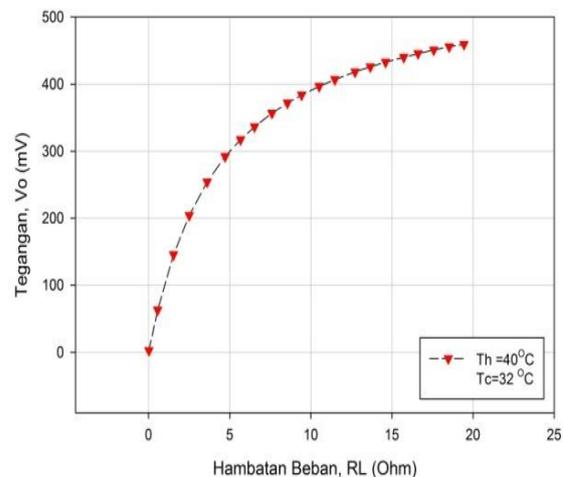
Gambar 4. Grafik perbandingan suhu sisi bagian panas (T_h) terhadap tegangan open circuit (V_{oc}) TEG.

Kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar $64,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan cenderung konstan saat receiver tepat berada pada titik fokusnya, tegangan V_{oc} maksimum yang dihasilkan dari penelitian pada saat mencapai suhu maksimum adalah sebesar $1,087\text{ V}$.

Pengukuran I_L dan V_o elemen TEG dengan variasi R_L

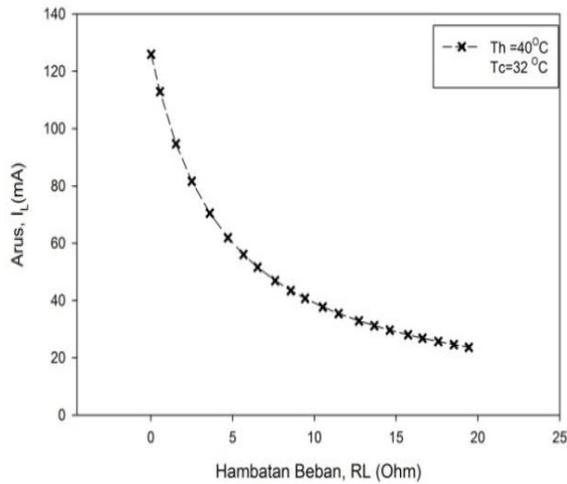
Pengukuran arus dan tegangan beban (I_L dan V_o) dilakukan dengan memvariasikan nilai hambatan beban yang terpasang pada output TEG dengan range nilai R_L yang digunakan adalah $1\ \Omega$ sampai $20\ \Omega$.

Gambar 5 memperlihatkan kurva eksponensial dari tegangan beban V_o terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu sisi dingin T_c $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tegangan maksimum yang diperoleh adalah $459,47\text{ mV}$ dan terus naik namun tidak begitu signifikan hal ini disebabkan oleh adanya panas yang menembus elemen dari sisi panas menuju sisi dingin elemen TEG sehingga memperkecil ΔT diantara kedua sisi elemen.



Gambar 5. Grafik perbandingan V_o terhadap R_L .

Perbandingan Arus I_L terhadap R_L diperlihatkan pada Gambar 6 yang merupakan fungsi kebalikan dari perbandingan tegangan dan hambatan beban R_L dimana semakin besar hambatan beban maka arus yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 6. Grafik perbandingan I_L terhadap R_L .

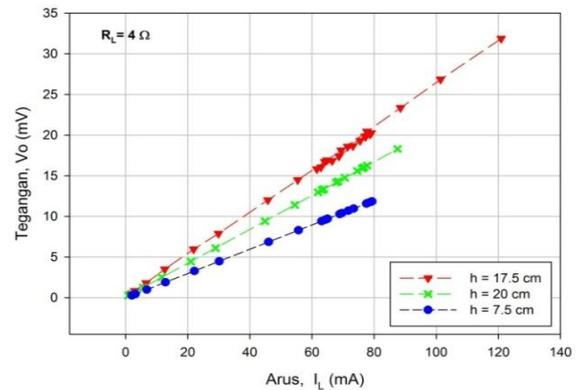
Arus maksimum yang dicapai pada pengukuran tahap ini mencapai 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω .

Pengukuran V_L dan I_L TEG berdasarkan variasi ketinggian titik fokus

Suhu yang dihasilkan oleh kolektor surya parabola bervariasi bergantung dengan ketinggian receiver terhadap titik fokusnya. Pengukuran V_L dan I_L dilakukan dengan memberi hambatan beban sebesar 4 Ω untuk setiap variasi ketinggian yaitu saat berada di titik fokus dengan jarak 17.5 cm dari pusat kelengkungan (vertex), diatas titik fokus dengan jarak 20 cm dari vertex dan dibawah titik fokus dengan jarak 7,5 cm dari vertex.

Perbedaan output yang dihasilkan oleh TEG melalui variasi ketinggian terlihat jelas pada Gambar 7, tegangan dan arus maksimum yang diperoleh pada kondisi ini adalah 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 $^{\circ}C$, saat ketinggian receiver berada diatas titik fokus atau pada jarak 20 cm dari vertex tegangan dan arus yang dihasilkan adalah 87,57 mV dan 18,28 mA dengan ΔT sebesar 20 $^{\circ}C$, dan pada saat receiver berada 7,5 cm dibawah titik fokus tegangan dan arus yang dihasilkan adalah 77,93 mV dan 11,616 mA dengan ΔT sebesar 18,7 $^{\circ}C$. Perbandingan tegangan dan arus output paling

kecil terletak pada ketinggian receiver 7,5 cm disebabkan oleh tidak adanya cahaya matahari yang mengenai sisi panas elemen karena terlalu dekat dengan pusat reflektor sehingga refleksi dari cahaya matahari hanya mengenai dinding box dari receiver, sedangkan nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor.



Gambar 7. Perbandingan V_L terhadap I_L berdasarkan variasi ketinggian receiver.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar 64,2 $^{\circ}C$. Tegangan V_{oc} maksimum yang dihasilkan dari penelitian adalah sebesar 1,087 V. Tegangan beban V_o terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h 40 $^{\circ}C$ dan suhu sisi dingin T_c 32 $^{\circ}C$ adalah 459, 47 mV pada R_L 20 Ω . Arus beban maksimum yang diperoleh adalah 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω . Nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor, yaitu sebesar 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 $^{\circ}C$.

DAFTAR PUSTAKA

- Jaramillo, O. A., Venegas-Reyes, E., Aguilar, J. O., Castrejón-García, R., &

- Sosa-Montemayor, F. (2013). Parabolic trough concentrators for low enthalpy processes. *Renewable Energy*, **60**, 529–539.
2. Molki, A. (2010). Simple Demonstration of the Seebeck Effect. *Science Education Review*, **9**(3), 103–107.
 3. Puspita, W., Defrianto, D., & Soerbakti, Y. (2021). Prediksi Kadar Particulate Matter (PM10) Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan di Kota Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 1–4.
 4. Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
 5. Baltrenas, P., Vaitiekūnas, P., Vasarevičius, S., & Jordaneh, S. (2008). Modelling of motor transport exhaust gas influence on the atmosphere. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **16**(2), 65–75.
 6. Juostas, A., & Janulevičius, A. (2009). Evaluating working quality of tractors by their harmful impact on the environment. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **17**(2), 106–113.
 7. Zhao, D., & Tan, G. (2014). A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, **66**(1-2), 15–24.
 8. DiSalvo, F. J. (1999). Thermoelectric cooling and power generation. *Science*, **285**(5428), 703–706.
 9. Seprima, M. & Defrianto, D. (2020). Prediksi Curah Hujan dan Kelembaban Udara Kota Pekanbaru Menggunakan Metode Monte Carlo. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 134–138.
 10. Talom, H. L., & Beyene, A. (2009). Heat recovery from automotive engine. *Applied Thermal Engineering*, **29**(2-3), 439–444.



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

IDENTIFIKASI LAPISAN AKUIFER MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI SCHLUMBERGER DI PERUMAHAN ARZA GRIYA MANDIRI JAMBI

Irfan Afifuddin, Rustan*, Tika Restianingsih
Program Studi Fisika, Universitas Jambi, 36361, Indonesia

*E-mail korespondensi: rustan.rustan@unja.ac.id

ABSTRACT

Water resources are important for the community because water is a basic need for living things, including humans. The increasing human population and rapid infrastructure development have led to a very high demand for clean water. On the other hand, environmental pollution and global warming have caused sources of clean water on the surface to continue to decrease. It is necessary to explore subsurface groundwater to meet the need for clean water. This study aims to determine the distribution and depth of the aquifer layer, which has the potential to store groundwater reserves. The method used in this research is the geoelectrical resistivity method with schlumberger configuration. Data acquisition was carried out at 16 line with a length of each line is 200 m. Data processing is done using Res2Dinv software and Surfer software. From the results of the study, it can be concluded that from the 16 geoelectric line used, the aquifer layer which can be interpreted as containing groundwater is located between 1035'50" - 1036'40" South Latitude and 103030'50" - 104031'40" East Longitude towards the south with a depth of 50 - 100 meters.

Keywords: Aquifer, Geoelectric, Schlumberger Configuration, Water Resources.

ABSTRAK

Sumber daya air merupakan hal penting bagi masyarakat karena air merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup termasuk manusia. Meningkatnya populasi manusia disertai dengan perkembangan sektor pembangunan mengakibatkan kebutuhan akan air bersih sangat tinggi. Di sisi lain, pencemaran lingkungan dan pemanasan global telah menyebabkan sumber air bersih di permukaan terus berkurang. Perlu dilakukan eksplorasi air tanah bawah permukaan untuk memenuhi kebutuhan terhadap air bersih. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan sebaran dan kedalaman lapisan akuifer, yang berpotensi menyimpan cadangan air bawah tanah. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode geolistrik resistivitas konfigurasi schlumberger. Akuisisi data dilakukan menggunakan 16 lintasan dengan panjang masing-masing lintasan yaitu 200 m. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Res2Dinv dan perangkat lunak Surfer. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dari 16 lintasan pengukuran, lapisan akuifer yang dapat diinterpretasi mengandung air tanah terletak antara 1035'50" - 1036'40" Lintang Selatan dan 103030'50" - 104031'40" Bujur Timur mengarah ke selatan dengan kedalaman 50 - 100 meter.

Kata kunci: Akuifer, Geolistrik, Konfigurasi Schlumberger, Sumber Daya Air.

Diterima 13-10-2021 | Disetujui 12-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

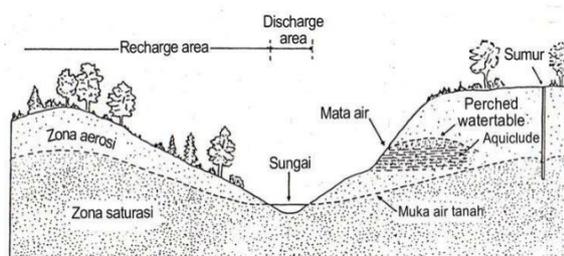
PENDAHULUAN

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan primer makhluk hidup terutama manusia. Air digunakan untuk memenuhi kebutuhan manusia sehari-hari seperti keperluan air minum, keperluan rumah tangga, kegiatan pertanian,

dan kegiatan industri [1]. Persediaan air permukaan hanya sekitar 3% dari total air yang ada di bumi, sedangkan sebanyak 97% sisanya merupakan air bawah permukaan tanah [2]. Air tanah bawah permukaan tersimpan di dalam lapisan batuan kedap air yang disebut akuifer. Metode identifikasi keberadaan lapisan akuifer

dapat dilakukan menggunakan metode geofisika seperti metode magnet, metode gravitasi, metode geolistrik, dan metode seismik [3, 4]. Metode geolistrik merupakan metode yang cocok digunakan dengan hasil yang akurat untuk kegiatan eksplorasi dangkal khususnya eksplorasi air tanah. Selain itu metode geolistrik relatif membutuhkan biaya yang lebih murah dibandingkan metode seismik [5].

Air tanah bawah permukaan berada pada kedalaman tertentu dan terkandung di dalam pori-pori tanah maupun lapisan batuan. Air tersebut dapat naik ke permukaan tanah dalam bentuk rembesan dan pancaran (mata air), namun sebagian besar tersimpan di lapisan akuifer. Sumber air tanah yaitu berasal dari air hujan yang masuk melalui pori-pori batuan dan tanah dalam bentuk perkolasi kemudian menjadi air tanah, perlahan-lahan mengalir ke laut, atau mengalir langsung dalam tanah atau dipermukaan dan bergabung dengan aliran sungai [6]



Gambar 1. Ilustrasi sistem air tanah.

Akuifer merupakan lapisan bawah permukaan yang dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah relatif besar. Lapisan tersebut memiliki sifat permeable dan pori-pori untuk mengalirkan air dengan mudah. Contoh batuan yang dapat memenuhi syarat sebagai lapisan akuifer adalah batu pasir, kerikil, dan batu gamping rekahan [7].

Metode geolistrik resistivitas dapat digunakan untuk mempelajari kondisi bawah permukaan bumi berdasarkan nilai tahanan jenis lapisan tanah atau batuan. Setiap lapisan memiliki kemampuan menghantarkan arus listrik yang berbeda-beda, semakin sulit lapisan tersebut dilewati oleh arus listrik maka semakin

tinggi nilai resistivitasnya [8]. Metode resistivitas bekerja berdasarkan prinsip Hukum Ohm. Hukum Ohm menyatakan hubungan antara beda potensial V pada bahan dan arus listrik I yang melalui bahan menghasilkan perbandingan yang konstan [9]. Parameter itu disebut resistansi R , yang didefinisikan sebagai hasil bagi tegangan V dan arus I , sehingga dituliskan:

$$V = I \times R \quad (1)$$

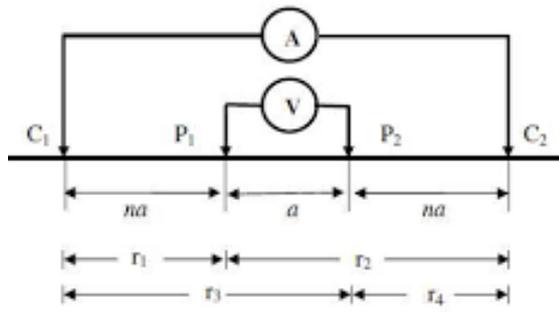
dimana R adalah hambatan (Ω), I adalah nilai arus listrik (A), dan V adalah beda potensial (Volt).

Prinsip metode geolistrik resistivitas yaitu menginjeksikan arus listrik tertentu di permukaan tanah melalui elektroda, kemudian mengukur beda potensial yang dihasilkan. Resistivitas lapisan-lapisan material bawah permukaan tanah dapat dihitung dengan mengetahui besar arus yang diinjeksikan melalui elektroda tersebut dan besar potensial dihasilkan. Bawah permukaan tanah terdiri dari lapisan-lapisan tanah dan batuan dengan nilai hambatan jenis yang bervariasi secara vertikal maupun lateral. Untuk lapisan non homogen, nilai tahanan jenis yang terukur adalah tahanan jenis semu:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

dengan ρ_a sebagai tahanan jenis dalam satuan ohm-meter, K sebagai faktor geometri, I sebagai arus listrik yang diinjeksikan dengan satuan ampere, ΔV sebagai beda potensial listrik terukur dengan satuan volt [10].

Metode geolistrik konfigurasi Schlumberger menggunakan empat buah elektroda yang terdiri dari 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial dimana jarak antar elektroda potensial lebih kecil dari jarak antar elektroda arusnya. Jarak elektroda arus ke elektroda potensial adalah kelipatan bilangan bulat dari jarak antara elektroda potensial [11]. Susunan elektroda dari konfigurasi Schlumberger dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Schlumberger.

Untuk identifikasi struktur lapisan bawah permukaan pada kedalaman tertentu, maka jarak masing-masing elektroda arus dan elektroda potensial diperbesar secara bertahap. Semakin besar spasi elektroda maka efek penembusan arus ke bawah makin dalam, sehingga batuan yang lebih dalam akan dapat diketahui sifat-sifat fisiknya.

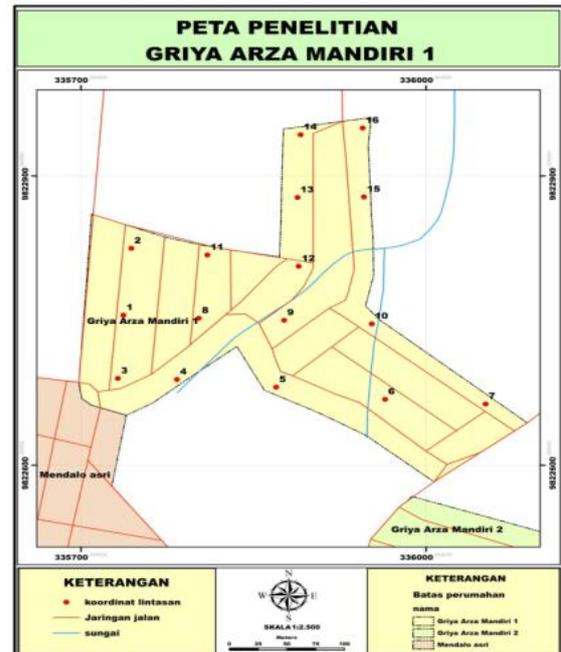
Tabel 1. Nilai resistivitas batuan dan fluida [12].

Jenis Material	Resistivitas ($\Omega \cdot m$)
Air permukaan	1 – 100
Air tanah	10 – 100
Pasir dan kerikil	100 – 1.000
Batu lumpur	150 – 200
Konglomerat	100 – 500
Lempung	150 – 200
Batu gamping	300 – 1.000
Batu pasir lempung	250 – 500
Tufa gunung api	350 – 1.200
Kelompok andesit	300 – 2.000
Kelompok chert, slate	500 – 2.000
Kelompok granit	1.000 – 10.000

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kedalaman dan distribusi lapisan akuifer bawah permukaan sebagai upaya menemukan cadangan air bersih di Perumahan Arza Griya Mandiri 1 Kabupaten Muaro Jambi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Perumahan Arza Griya Mandiri 1 Kelurahan Mendalo Indah, Kecamatan Jambi Luar Kota, Kabupaten Muaro Jambi, Provinsi Jambi. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian di Perumahan Arza Griya Mandiri I Jambi .

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Resistivimeter Single Channel Merk GSR, Elektroda 4 buah, Palu geologi, Aki, Meteran, Kabel Listrik, Laptop, dan GPS. Tahapan pertama yaitu observasi lokasi yang akan menjadi tempat pengambilan data kemudian melakukan perizinan kepada Kepala Desa lokasi penelitian. Tahap selanjutnya adalah proses pembuatan rancangan penelitian yang terdiri dari jumlah lintasan (16 lintasan), serta desain teknik pengambilan data dengan panjang lintasan masing-masing 200 m.

Teknik pengambilan data dilakukan dengan cara yaitu mapping dengan tujuan untuk mengetahui struktur lapisan di bawah permukaan secara 2D. Beda potensial (ΔV) dan arus listrik (I) merupakan variabel yang diperoleh dari pengukuran. Proses pengolahan data dari variabel yang didapat untuk memperoleh nilai tahanan jenis semu. Langkah selanjutnya dilakukan proses inversi dengan metode *least square* untuk mendapatkan model bawah permukaan. Proses inversi dapat dilakukan dengan menggunakan software Res2Dinv. Res2Dinv adalah perangkat lunak pengolah data resistivitas yang secara otomatis dapat menentukan model resistivity 2D untuk data di bawah permukaan yang dihasilkan dari

pengamatan *electrical imaging*. Hasil dalam proses inversi menghasilkan model 2D dalam bentuk pseudosection resistivity yang dapat menggambarkan litologi bawah permukaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

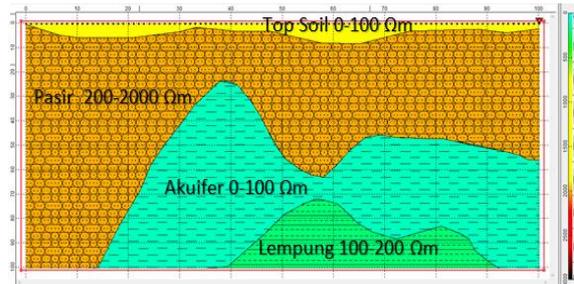
Hasil pengolahan data geolistrik single channel 1-Dimensi dengan menggunakan program IPI2Win. Pada hasil penelitian Lintasan 1-16 memiliki kurva resistivitas dari nilai yang terendah sampai pada nilai tertinggi yaitu 3,23 dan 8466 Ωm . Kurva resistivitas tersebut memiliki nilai resistivitas dan akan diinterpretasikan berdasarkan tabel resistivitas pada Tabel 1. Nilai resistivitas terendah antara 10-100 Ωm merupakan air tanah atau bisa disebut dengan ground water, untuk rentang menengah antara 100-200 Ωm merupakan lempung dan untuk rentang tertinggi antara 200-2000 Ωm merupakan batuan pasir. Ditemukan potensi air tanah pada lintasan 1,2,3,4,5,6,7, 11, dan 12. Informasi potensi air tanah pada setiap lintasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Informasi air tanah kurva IPI2WIN.

Lintasan	Potensi air tanah	Error (%)
01	Ada	17,2%
02	Ada	0,66%
03	Ada	0,22%
04	Ada	0,23%
05	Ada	14,5%
06	Ada	0,18%
07	Ada	21,8%
08	Ada	25,9%
09	Tidak Ada	12,1%
10	Tidak Ada	45,7%
11	Ada	13,3%
12	Ada	13,6%
13	Tidak Ada	21%
14	Tidak Ada	0,09%
15	Tidak Ada	0,13%
16	Tidak Ada	8,9%

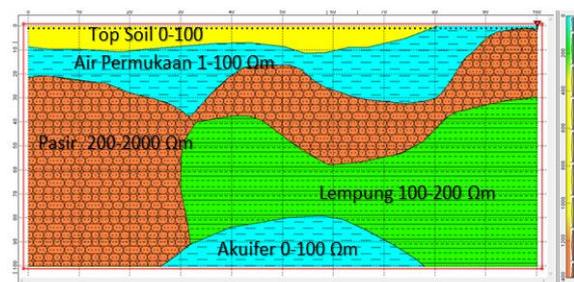
Selanjutnya dari hasil pemodelan diperoleh hasil penampang 2D secara horizontal untuk lintasan 3,4,5,6,7. Lapisan akuifer memiliki

berada pada kedalaman 50 – 100 meter (warna biru) yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampang 2D horizontal lintasan 3,4,5,6,7.

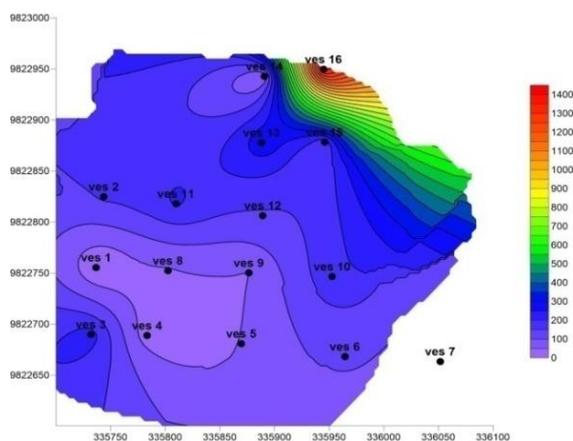
Berdasarkan integrasi dengan geologi regional dan studi literatur daerah Perumahan Arza Griya Mandiri 1 yang dilalui formasi Muara Enim dimana bagian bawah formasi ini tersusun oleh batu lempung dan batu pasir. Bagian atas formasi ini tersusun oleh Top Soil. Berdasarkan pengolahan data didapatkan 4 lapisan yang terdiri batu lempung, lapisan akuifer, batu pasir, dan top soil. Batuan yang paling tinggi resistivitasnya adalah lapisan 2 yaitu 200 - 2000 Ωm dan yang paling rendah adalah lapisan 1 yaitu 0 - 100 Ωm . Diantara lapisan 2 dan 4 (lapisan 3) merupakan lapisan akuifer. Pada lintasan 14,13, 12, 9, dan 5 didapatkan 5 jenis batuan yang terdiri dari top soil, air permukaan, air tanah, lempung dan pasir. Batuan yang paling tinggi resistivitasnya adalah lapisan 3 yaitu 200 - 2000 Ωmeter dan yang paling rendah adalah lapisan 1 yaitu 0 - 100 Ωm . Diantara lapisan 2 dan 4, lapisan 5 merupakan lapisan akuifer. Hasil penampang 2D secara Horizontal pada lintasan 14, 13, 12,9, 5 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Penampang 2D horizontal lintasan 14, 13, 12,9, 5.

Hasil dari penampang 2D didapat dari interpolasi setiap lintasan menggunakan aplikasi surfer yang terbagi menjadi $ab=5$ meter, $ab=10$ meter, $ab=20$ meter, $ab=40$ meter, $ab=60$ meter, $ab=100$ meter. Pada $ab=5$ meter air tanah dangkal berada pada titik ves 1,8,5,9,6,7,12,14 berada pada rentang 5-100 Ω meter mewakili warna ungu. Pada $ab=10$ meter air tanah dangkal berada pada titik ves 1,3,4,5,6,7,8,9,10,12,14 berada pada rentang 5-100 Ω m mewakili warna ungu. Pada $ab=20$ meter air tanah dangkal berada pada titik ves 1,3,5,6,7,8,9,10 berada pada rentang 5-100 Ω m mewakili warna ungu.

Pada $ab=40$ meter air tanah dangkal berada pada titik ves 1,4,6,7,8,9 berada pada rentang 5-100 Ω meter mewakili warna ungu. Pada $ab=60$ meter air tanah berada pada titik ves 8,9,11,12 berada pada rentang 5-100 Ω meter mewakili warna ungu. Pada $ab=80$ meter air tanah berada pada titik ves 1,8,6,7 berada pada rentang 5-100 Ω meter mewakili warna ungu. Pada $ab=100$ meter air tanah berada pada titik ves 11 dan 12 berada pada rentang 5-100 Ω meter mewakili warna ungu.



Gambar 6. Distribusi resistivitas lokasi penelitian.

Pada Gambar 6 diatas dapat disimpulkan bahwa distribusi titik air tanah berada pada ves 1,4,5,8,9,14 dan sebaran air tanah mendominasi kearah selatan pada kedalaman 50 – 100 meter.

KESIMPULAN

Kedalaman akuifer yang didapat menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di Perumahan Arza Griya Mandiri 1 berada pada

titik ves 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, dan 12 dengan rentang kedalaman 50 - 100 meter dengan distribusi dibagian selatan pada koordinat 1035'50'' - 1036'40'' Lintang Selatan dan 103030'50'' - 104031'40'' Bujur Timur.

REFERENSI

1. Kodoatie, R. J. (2021). *Tata ruang air tanah*. Penerbit Andi.
2. Purwantara, S., Pramono, H., Khotomah, N., Rusadi, D. S., & Digsinarga, S. A. (2012). Studi Air Permukaan di Wilayah Topografi Karst Gunung Kidul. *Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta*.
3. Kette, O., Sutaji, H. I., & Bernandus, B. (2020). Interpretasi Pola Penyebaran Batuan Dan Daerah Terakumulasi Air Tanah Menggunakan Metode Magnetik Desa Oematnunu Kabupaten Kupang. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 5(2), 133–138.
4. Noor, R. H., Ishaq, I., Jarwanto, J., & Priono, D. (2020). Eksplorasi Akuifer Air Bawah Tanah Menggunakan Metode Tahanan Jenis 2d Di Desa Selaru Kabupaten Kotabaru, Kalimantan Selatan. *Al Ulum Jurnal Sains Dan Teknologi*, 5(2), 74–82.
5. Dzakiya, N. (2021). Pengantar Geofisika Eksplorasi. AKPRIND PRESS.
6. Bisri, M. (2012). *Air Tanah*. Universitas Brawijaya Press.
7. Santosan, L. W., & Adji, T. N. (2018). *Karakteristik Akuifer dan Potensi Airtanah Graben Bantul*. UGM PRESS.
8. Vebrianto, S. (2016). Eksplorasi Metode Geolistrik: Resistivitas, Polarisasi Terinduksi, dan Potensial Diri.
9. Walker, J., Serway, R. A., Jewett, J. W., Tipler, P. A., Mosca, G., Ohanian, H. C., ... & Palm III, W. J. (2013). *Halliday & Resnick Fundamentals of Physics*

- (Extended 10th Edition).
10. Hendrajaya, L., & Arif, I. (1990). Metode Geolistrik Tahanan Jenis. *ITB, Bandung*.
 11. Usman, B., Manrulu, R. H., Nurfalaq, A., & Rohayu, E. (2017). Identifikasi Akuifer Air Tanah Kota Palopo Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, **14**(2), 65–72.
 12. Telford, W. M., Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*. Cambridge university press.



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

MEMBANGUN MODEL *NEUTRON POROSITY* BAWAH PERMUKAAN DENGAN PROPERTI FISIK DATA SEISMIK PADA *RESERVOIR* KARBONAT

Tabah Fatchur Rubiyana^{1*}, Paul Hutabarat²

¹Program Studi Teknik Perminyakan, STT Migas Cilacap

²Pusat Pengembangan dan Penelitian Teknologi Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS

*E-mail korespondensi: tabahfr@gmail.com

ABSTRACT

Physical properties are often applied to oil and gas exploration analysis using seismic data. However, in reality, none of the physical properties (attributes) of seismic data can describe the entire type of lithology of a subsurface layer. It takes a combination of various physical properties (multi-attributes) and other data to map the lithological distribution of a subsurface layer. One of the seismic attributes that can be used in describing the condition of subsurface lithology is acoustic impedance (AI). Acoustic impedance can provide information in the form of rock lithology in a layer. This information can be interpreted by inversion. Inversions performed on acoustic impedance obtain the results of cross-sectional distribution of acoustic impedance that shows lithology. As existing lithological conditions, correlations to other physical properties can be modeled. Combination of the physical property used is called multi-attribute. Multi-attribute methods can predict and model the porosity of rocks from seismic attributes. The application of this method is used to describe lateral distribution and porosity mapping (neutron porosity). The results of the study using the multi-attribute seismic method applied to the LMGs Field seismic data obtained a distribution map of neutron porosity. Neutron porosity values obtained to show a hydrocarbon reservoir range from 0.05 to 0.2 on the fraction scale.

Keywords: Seismic Attribute, Porosity, Neutron Porosity, Acoustic Impedance, Multi-Attribut.

ABSTRAK

Properti fisik sering diaplikasikan pada analisis eksplorasi migas dengan menggunakan data seismik. Namun, pada kenyataannya, tidak satupun properti fisik (atribut) dari data seismik yang dapat mengungkapkan seluruh jenis litologi suatu lapisan bawah permukaan. Diperlukan kombinasi dari berbagai properti fisik (multi-atribut) dan data lain untuk melakukan pemetaan terhadap sebaran litologi suatu lapisan bawah permukaan. Salah satu dari atribut seismik yang dapat digunakan dalam menggambarkan keadaan litologi bawah permukaan adalah impedansi akustik (AI). Impedansi akustik dapat memberikan informasi berupa litologi batuan pada suatu lapisan. Informasi ini dapat diinterpretasikan dengan melakukan inversi. Inversi yang dilakukan terhadap impedansi akustik mendapatkan hasil penampang sebaran impedansi akustik yang menunjukkan litologi. Dengan kondisi litologi yang ada, korelasi terhadap properti fisik lain dapat dimodelkan. Beberapa properti fisik yang digunakan ini disebut dengan istilah multi-atribut. Metode multi-atribut dapat memprediksi dan memodelkan porositas batuan dari atribut seismik. Penerapan metode ini digunakan untuk menggambarkan sebaran lateral dan pemetaan porositas (neutron porosity). Hasil penelitian dengan menggunakan metode multi-atribut seismik yang diterapkan pada data seismik Lapangan LMGs diperoleh peta sebaran neutron porosity. Nilai neutron porosity yang didapatkan untuk menunjukkan suatu reservoir hidrokarbon berkisar antara 0,05 sampai dengan 0,2 dalam skala fraction.

Kata kunci: Atribut Sesimik, Porositas, *Neutron Porosity*, Impedansi Akustik, Multi-Atribut.

Diterima 29-10-2021 | Disetujui 13-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Metode seismik banyak digunakan untuk memberikan gambaran kondisi bawah permukaan dan sifat-sifat batuan reservoir dengan interpretasi data [1]. Berbagai metode juga dikembangkan untuk melakukan interpretasi sebagai tahap akhir dalam mendapatkan gambaran atau deskripsi keadaan bawah permukaan. Kemajuan teknologi memungkinkan untuk melakukan gambaran litologi reservoir hidrokarbon secara lebih akurat dengan memadukan data lapangan yang didapat dengan metode yang paling tepat untuk keadaan data tersebut.

Beberapa metode dikembangkan untuk mendapatkan gambaran keadaan bawah permukaan yang lebih akurat. Atribut seismik sering diterapkan pada analisis eksplorasi dengan menggunakan data seismik. Namun, pada kenyataannya, tidak satupun atribut seismik yang dapat mengungkapkan seluruh jenis litologi suatu lapisan. Atribut seismik lebih menunjukkan batas kontras antar lapisan. Oleh karena itu, diperlukan kombinasi dari berbagai atribut (multi-atribut) dan diperlukan data lain untuk menemukan potensi hidrokarbon.

Tabah [2] menyatakan satu dari atribut seismik yang dapat digunakan dalam penggambaran litologi reservoir hidrokarbon adalah impedansi akustik. Impedansi akustik (AI) merupakan hasil dari kecepatan gelombang P (v_p) dan densitas (ρ). Kecepatan gelombang P merupakan fungsi dari unsur batuan, sehingga impedansi akustik ini akan menggambarkan keadaan litologi dari batuan dari lapisan bawah permukaan.

Peningkatan akurasi gambaran bawah permukaan pada penelitian ini menggunakan suatu metode yang sedang berkembang yaitu metode inversi. Jejak seismik yang masuk kedalam bumi sebagai kumpulan-kumpulan amplitudo seismik diubah ke dalam nilai impedansi akustik. Impedansi secara langsung berhubungan dengan sifat-sifat batuan, maka impedansi dapat menghasilkan hasil yang lebih berarti daripada analisis amplitudo seismik

konvensional. Inversi yang dilakukan pada atribut impedansi akustik akan memperoleh suatu model geologi bawah permukaan yang dapat menggambarkan adanya litologi batuan dan kandungan fluida didalamnya dengan menggunakan data seismik sebagai masukan dan data geologi sebagai kontrol.

Menurut Russel [3], multi-atribut seismik merupakan pengembangan dari atribut seismik, dimana metode ini menggunakan lebih dari satu atribut seismik untuk mengetahui hubungan antara data log sumur dengan atribut seismik. Berdasarkan proses pencocokan atribut, maka kombinasi atribut terbaik akan digunakan untuk memprediksi sifat fisis batuan pada data seismik dan dapat memperkirakan sebaran porositas dengan melakukan pemetaan.

Perpaduan antara metode inversi impedansi akustik dan multi-atribut seismik diharapkan dapat memberikan hasil peta sebaran litologi dan porositas dengan baik dibandingkan dengan analisis amplitudo konvensional karena atribut-atribut yang dipilih berdasar kecocokan beberapa atribut.

TINJAUAN PUSTAKA

Impedansi Akustik

Gelombang seismik dipancarkan melalui batuan dalam bentuk gelombang elastis yang berupa gerakan partikel batuan. Kecepatan gelombang dalam batuan umumnya bernilai ribuan feet per sekon. Pergerakan partikel tersebut juga mengalirkan energi dan berkaitan dengan kecepatan gelombang seismik dalam batuan tersebut. Anstey [4] menyatakan bahwa salah satu sifat akustik yang khas pada batuan adalah impedansi akustik (Z) yang merupakan hasil perkalian antara densitas (ρ) dan kecepatan (v), yang dapat dituliskan sebagai:

$$Z = \rho \cdot v \quad (1)$$

Pada pengontrolan pada nilai Z , kecepatan v memiliki arti yang lebih penting daripada densitas. Sebagai contoh, porositas atau

material pengisi batuan (air, minyak dan gas) lebih mempengaruhi harga kecepatan daripada densitas. Batuan yang keras (*hard rock*) seperti batu gamping ataupun granit mempunyai z yang tinggi, sedangkan batuan yang lunak seperti lempung mempunyai z yang rendah. Adapun nilai densitas (ρ) dan kecepatan (v) batuan berperan dalam pembuatan seismogram sintetis guna mendapatkan nilai koefisien refleksi sebelum dikonvolusikan dengan *wavelet*.

Koefisien Refleksi

Prinsip dari koefisien refleksi (**RC**) adalah bahwa bumi terbagi atas beberapa lapisan dengan ρ_1 dan ρ_2 masing-masing adalah densitas lapisan pertama dan kedua. v_1 dan v_2 adalah kecepatan lapisan pertama dan kedua, sehingga dapat dituliskan dengan persamaan [5]:

$$RC = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (2)$$

atau dapat juga dituliskan:

$$RC = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \quad (3)$$

Harga kontras z dapat diperkirakan dari amplitudo refleksinya. Jika amplitudonya semakin besar, maka koefisien refleksi (**RC**) dan kontras z semakin besar. Dapat dikatakan bahwa hanya sebagian kecil energi yang direfleksikan, sedang sebagian besar lainnya akan terus dipancarkan pada lapisan lebih dalam yang akan memungkinkan terjadinya refleksi berikutnya [4].

Pengikatan Data Sumur dan Data Seismik (*Well-Seismic Tie*)

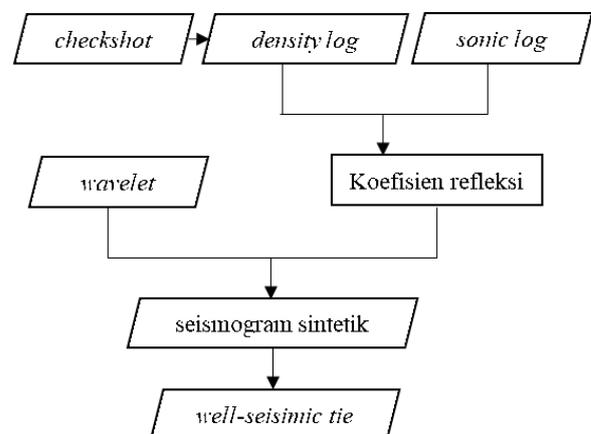
Data sumur merupakan data hasil rekaman pengambilan informasi melalui proses logging data. Data sumur memuat informasi kondisi fisik dari respon batuan yang menggambarkan

kondisi geologi sumur. Data ini disajikan dalam domain kedalaman.

Data seismik merupakan data informasi bawah permukaan yang menggambarkan respon sifat fisis batuan berdasarkan besaran akustik. Suara (akustik) yang ditransmisikan ke bawah permukaan memperoleh respon dari lapisan bawah permukaan terhadap akustik dari sumber. Informasi ini kemudian diterima oleh penangkap berupa data tras seismik dalam bentuk wiggle yang disusun membentuk penampang seismik. Data yang didapat merupakan informasi dalam domain waktu.

Informasi yang ada dalam data seismik dapat memberikan informasi fisik yang menggambarkan kondisi geologi. Hal ini tentunya membutuhkan informasi tambahan agar dapat diinterpretasikan. Informasi ini dapat diperoleh dari data sumur yang dikorelasikan dengan data seismik.

Proses korelasi data sumur dengan data seismik dapat dilakukan dengan meletakan data sumur pada data seismik. Proses ini memerlukan langkah yang tidak sederhana. Data seismik merupakan data yang berada pada domain waktu, sedangkan data sumur merupakan data yang berada pada domain kedalaman.



Gambar 1. Diagram alir proses *well-seismic tie* [7].

Untuk meletakan horison seismik (skala waktu) pada posisi kedalaman sebenarnya dan dapat dikorelasikan dengan data geologi yang diplot pada skala kedalaman, maka perlu dilakukan *well-seismic tie*. Terdapat beberapa

metode pengikatan ini, tetapi yang umum dipakai adalah dengan memanfaatkan seismogram sintetik dari hasil survei kecepatan (*well velocity survey*) [6]. Proses *well-seismic tie* dapat digambarkan seperti pada Gambar 1.

Metode Inversi Berdasarkan Model (*Based Model Inversion*)

Based model inversion merupakan salah satu metode inversi yang diajukan oleh Russel [3]. Metode ini melakukan proses inversi melalui model yang dibangun, kemudian dicocokkan dengan hasil inversi. Langkah pertama yang dilakukan pada metode ini adalah membangun model geologi. Kemudian model tersebut dibandingkan dengan data seismik dan diperbarui secara iteratif.

Hasil yang didapatkan, dicocokkan dengan data seismik untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Semakin banyak iterasinya, maka koefisien korelasi antara seismik sintetik (model) dan seismik riilnya semakin besar dan *error* semakin kecil. Kelebihan metode *based model inversion* adalah memiliki nilai kontras antar lapisan yang baik sehingga mempermudah dalam penentuan batas atas (*top*) dan batas bawah (*bottom*) suatu lapisan reservoir.

Hasil keluarannya berupa model yang sesuai dengan data masukan. Metode ini membutuhkan suatu model impedansi akustik awal yang biasanya diperoleh dari hasil perkalian antara data log kecepatan dengan data log densitas:

$$z = \rho \cdot v \quad (4)$$

dengan

z : impedansi akustik (m/s²·g/cm³)

ρ : densitas (g/cm³)

v : kecepatan (m/s)

Impedansi akustik tersebut kemudian diturunkan untuk memperoleh harga koefisien refleksinya dengan persamaan:

$$RC = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1} \quad (5)$$

sehingga dapat ditulis dengan persamaan:

$$RC = \frac{z_2 - z_1}{z_2 + z_1} \quad (3)$$

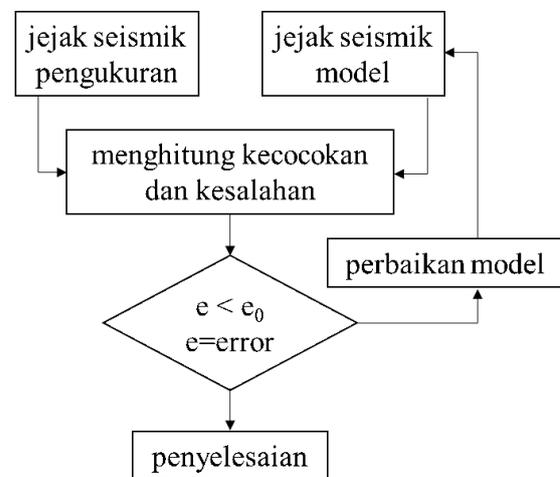
dengan

RC : koefisien refleksi

z_1 : impedansi akustik pada lapisan ke 1

z_2 : impedansi akustik pada lapisan ke 2

Hasil seismogram sintetik ini dibandingkan dengan jejak seismik riil secara iteratif dengan mengubah-ubah parameter pada model awal untuk memperoleh korelasi yang bagus antar kedua data ini dengan tingkat kesalahan yang terkecil. Secara sederhana, proses inversi dengan menggunakan *based model* digambarkan dengan diagram alir yang ditunjukkan Gambar 2.



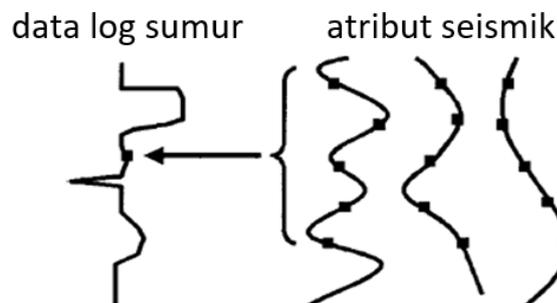
Gambar 2. Diagram alir penyelesaian *based model inversion* [3].

Hasil akhir dari suatu proses inversi data seismik adalah berupa data impedansi akustik yang memiliki informasi lebih komperhensif dibandingkan data seismik. Perubahan amplitudo pada data seismik mencerminkan suatu bidang batas antar lapisan batuan sehingga bisa dikatakan bahwa data seismik adalah atribut dari suatu bidang batas lapisan batuan, sedangkan impedansi akustik mencerminkan sifat fisis dari batuan. Impedansi akustik merupakan sifat fisis batuan yang dengan mudah dapat langsung dikonversikan

menjadi karakter suatu batuan reservoir seperti ketebalan maupun sifat pori batuan.

Metode Multi-atribut Seismik

Menurut Schultz dalam [3], analisis multi-atribut seismik adalah suatu hubungan dengan pendekatan geostatistik yang menggunakan lebih dari satu atribut untuk prediksi beberapa properti fisik bumi. Data seismik yang diperoleh dari informasi lapangan, direkonstruksi untuk menghasilkan data sintetik log sumur. Properti seismik yang berupa waktu, amplitudo, frekuensi dan atenuasi digunakan untuk membangun kondisi yang menggambarkan sumur yang dicocokkan dengan data riil lapangan.



Gambar 3. Hubungan antara data log dan atribut seismic [3].

Barnes [8] mendefinisikan atribut seismik sebagai karakterisasi secara kuantitatif dan deskriptif dari data seismik yang secara langsung dapat ditampilkan dalam skala yang sama dengan data awal. Secara matematis, properti log atau sifat fisis dari sumur dapat dituliskan dengan menggunakan sebuah persamaan. Kasus yang paling umum, dicari sebuah fungsi yang akan mengkonversi m atribut yang berbeda ke dalam properti yang diinginkan, ini dapat ditulis sebagai:

$$P(x, y, z) = F[A_1(x, y, z), \dots, A_m(x, y, z)] \quad (7)$$

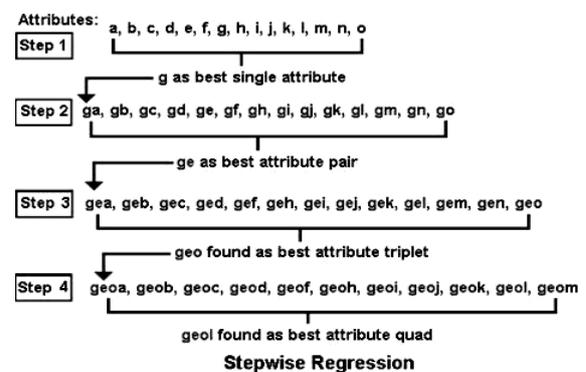
dengan:

P : properti log, sebagai fungsi x, y, z

F : fungsi atribut seismik dan properti log

A_i : atribut m , dimana $i = 1, \dots, m$

Gambar 3 merupakan ilustrasi hubungan antara data log dan atribut seismik. Properti log yang akan dibangun digunakan sebagai kontrol dalam pemilihan atribut yang nantinya akan digambarkan. Atribut seismik dari data informasi berupa properti seismik dari data waktu, amplitudo, frekuensi, dan atenuasi dikombinasikan untuk membentuk data sintetik dari properti log. Proses kombinasi terbaik dapat dianalogikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses kombinasi atribut terbaik [3].

Kondisi Geologi Data

Secara geografis data yang digunakan terletak pada Cekungan Sumatra Selatan. Daerah ini dibatasi oleh kawasan kaki Pegunungan Barisan di sebelah barat daya, Paparan Sunda di sebelah timur laut, Tinggian Lampung dan Palembang di sebelah selatan dan timur. Sedangkan tinggian Pegunungan Tiga Puluh di sebelah utara dan barat laut [9].

Penelitian dilakukan pada Formasi Baturaja yang diendapkan diatas Formasi Talang Akar. Formasi ini berada pada lingkungan pengendapan laut dangkal. Ketebalannya antara 19-150meter dan berumur Miosen awal. Formasi Baturaja disusun terutama oleh batu gamping dan berkembang dengan baik secara lokal di Cekungan Sumatera Selatan [10].

Batu gamping Formasi Baturaja diawali dengan onggokan karbonat secara lokal yang diendapkan di daerah tinggian. Batu ini ada kalanya berkembang menjadi tumpukan karbonat yang berasal dari hancuran terumbu kemudian terbentuk sebagai bagian dasar karbonat [11]. Kondisi ini menggambarkan

bahwa daerah ini merupakan potensi reservoir yang cukup baik.

METODE PENELITIAN

Data seismik penelitian merupakan *seismic non-preserve data*. Data seismik telah diolah untuk meningkatkan kualitas agar mudah untuk diinterpretasikan. Data ini berupa data stack yang merupakan tras seismik yang sudah menjadi *seismic section*. *Seismic section*, menurut Yilmaz [12], merupakan deskripsi dari sebuah penampang seismik yang digambarkan secara vertikal sebagai domain kedalaman waktu.

Seismic section ini kemudian diolah dengan menggunakan metode inversi untuk menghasilkan data properti fisik yang diperlukan. Pada penelitian ini properti fisik yang diperlukan adalah impedansi akustik. Impedansi akustik dibangun dengan berdasarkan properti dari sesimik berupa kecepatan dan properti dari data sumur berupa densitas. Impedansi akustik ini yang akan menjadi masukan dalam menghasilkan data properti fisik lain.

Keseuaian antara data impedansi akustik dan properti fisik yang dibangun dilakukan dengan menggambarkan *crossplot*. Analisis *crossplot* dilakukan pada properti fisik yang akan dibangun dari properti seismik. *Crosplot* harus dapat memisahkan dengan baik nilai korelasi antar beberapa parameter fisik.

Properti fisik yang diharapkan untuk dapat digambarkan adalah data sumur yang memungkinkan sebagai suatu reservoir. Data sumur digunakan sebagai kontrol dalam penentuan batas geologi bawah permukaan. Pada penelitian ini, properti sumur yang akan digambarkan adalah neutron porosity.

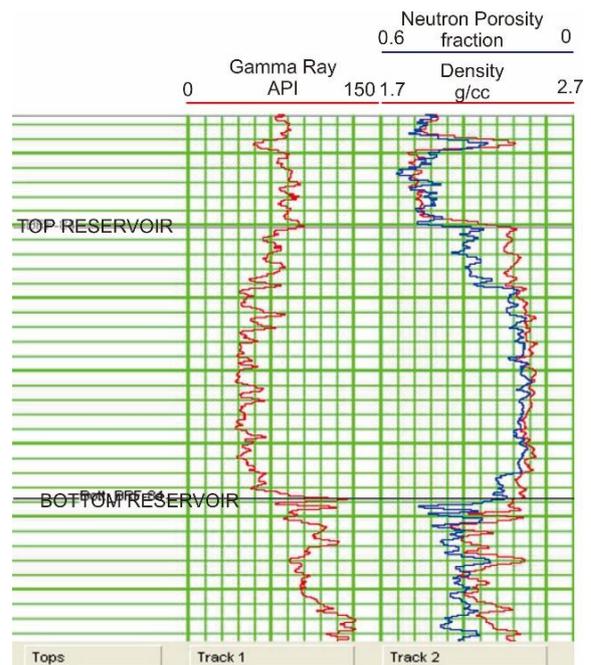
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Sumur

Penelitian dilakukan pada reservoir yang memiliki litologi pasir atau sand. Analisis untuk zona reservoir dilakukan dengan melakukan

interpretasi terhadap data log sumur. Litologi pasir dapat diindikasikan dengan adanya nilai *gamma ray* yang rendah.

Pada kurva data log sumur, zona reservoir dapat diinterpretasikan dengan memberikan *marker* (tanda) pada zona yang menunjukkan pasir. Tanda yang menunjukkan zona reservoir digambarkan pada kurva data log dengan notasi *top* dan *bottom* reservoir. Pada Gambar 5, kurva log *gamma ray* menunjukkan bahwa zona reservoir ditandai dengan nilai *gamma ray* yang rendah kurang dari 70 API. Nilai *gamma ray* yang rendah mengindikasikan bahwa zona tersebut merupakan zona permeabel [13].



Gambar 5. Integrasi log permeabel dan log porositas.

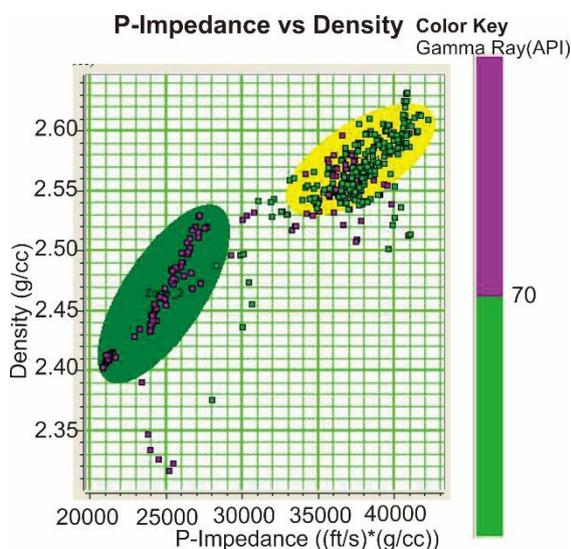
Penentuan properti (atribut) yang sesuai sebagai masukan pada metode multi-atribut adalah dengan melakukan perbandingan hubungan antar atribut. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan *crossplot* parameter yang dibandingkan. Apabila dalam perbandingan (*crossplot*) dapat memisahkan empat bagian (zona) pemisah dengan baik, maka parameter yang dihubungkan terdapat korelasi yang baik sebagai pembanding.

Adapun *crossplot* parameter-parameter log yang dilakukan dalam penelitian ini adalah *crossplot* antara P-Impedance (AI) dan *density*

(densitas), serta *P-Impedance* (AI) dan *neutron porosity*. Apabila zona pemisah antara nilai setiap parameter terlihat dengan jelas, maka parameter yang menjadi properti (atribut) dapat digunakan sebagai masukan. Sedangkan apabila zona pemisah tidak dapat membedakan dengan jelas, maka parameter yang digunakan perlu dipertimbangkan sebagai masukan.

Data yang digunakan sebagai properti masukan dikatakan kurang baik apabila sebaran data tidak terkumpul pada satu zona. Data menyebar pada setiap zona sehingga tidak dapat membedakan dengan baik zona dengan nilai rendah atau nilai tinggi. Hal ini akan mempersulit penentuan dalam penilaian masukan.

Korelasi digambarkan dengan grafik hubungan antara *P-Impedance* (AI) dengan *Density* (densitas) dengan parameter pemisah (*cut-off*) adalah *gamma ray*. Untuk memudahkan pembagian nilai, pemisah nilai digambarkan dengan warna yang berbeda. Nilai *gamma ray* rendah digambarkan dengan warna hijau dan nilai *gamma ray* tinggi digambarkan dengan warna ungu. Sedangkan untuk pembagian zona, zona reservoir digambarkan dengan warna kuning dan zona non-reservoir digambarkan dengan warna hijau.

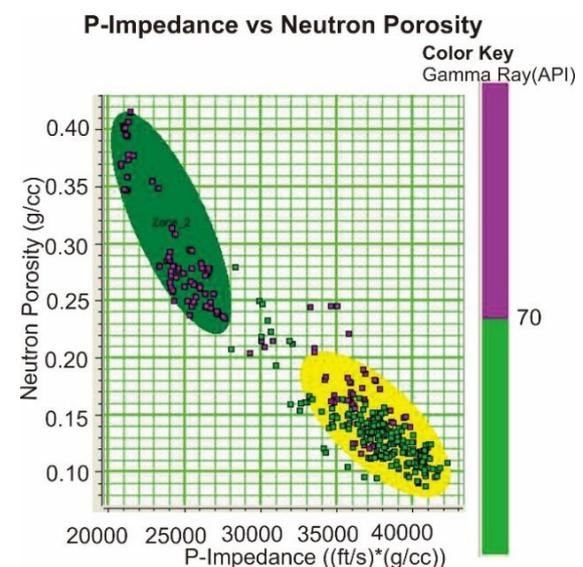


Gambar 6. Crossplot *P-Impedance* vs *Density*.

Gambar 6 menunjukkan korelasi antara *P-Impedance* (AI) dan *Density* (densitas) dengan *cut-off gamma ray*. Hasil *crossplot*

menunjukkan nilai *gamma ray* rendah sudah terpisah dengan baik yaitu pada zona densitas tinggi dan *P-Impedance* tinggi. Sedangkan nilai *gamma ray* rendah terletak pada zona densitas rendah dan *P-Impedance* rendah.

Hal ini menunjukkan bahwa reservoir terletak pada daerah yang memiliki nilai AI tinggi dan densitas yang tinggi. Kondisi ini tergambar cukup baik, mengingat reservoir berada pada formasi karbonat dengan densitas yang tinggi. Nilai densitas yang merupakan zona reservoir sesuai dengan *crossplot* pada Gambar 6 adalah di atas 2,53 g/cc, sedangkan nilai *P-impedance* yang menunjukkan zona reservoir adalah 32500 ((ft*s)/(g/cc)).



Gambar 7. Crossplot *P-Impedance* vs *Neutron Porosity*.

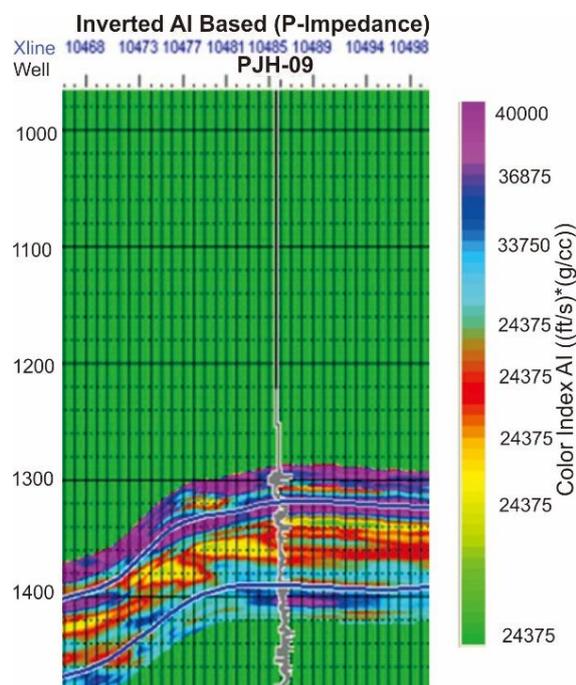
Gambar 7 menunjukkan *crossplot* *P-Impedance* dan *Neutron Porosity* dengan parameter *cut-off gamma ray*. Pada *color key*, parameter *cut-off gamma ray* ditunjukkan dengan warna hijau untuk nilai *gamma ray* kurang dari 70 API dan warna ungu untuk nilai *gamma ray* lebih dari 70 API. Nilai *gamma ray* rendah atau pada kasus ini kurang dari 70 API menunjukkan merupakan zona reservoir.

Neutron porosity yang menunjukkan reservoir pada Gambar 7 digambarkan dengan zona warna kuning. Sedangkan zona non-reservoir digambarkan dengan warna hijau. Nilai *neutron porosity* yang menunjukkan

reservoir adalah 0,05 sampai dengan 0,2 pada skala fraksi.

Inversi Impedansi Akustik (AI)

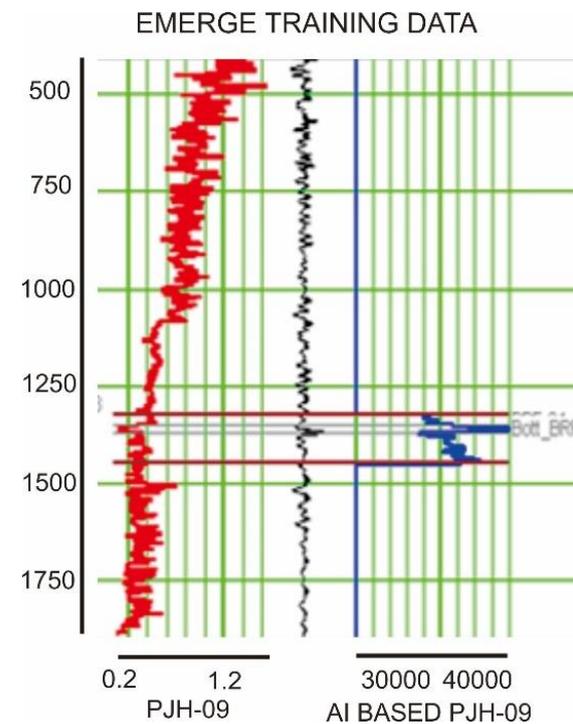
Menurut Sukmono [14] (2000) metode seismik inversi pada dasarnya untuk meningkatkan resolusi data seismik sehingga dapat dilihat dimensi dan delineasi penyebaran reservoir. Data jejak seismik refleksi pada metode inversi seismik diubah menjadi impedansi akustik yang merupakan sifat fisis batuan, sehingga akan lebih mudah untuk diinterpretasikan menjadi parameter petrofisik reservoir. Metode ini digunakan misalnya untuk menghitung ketebalan dan porositas reservoir serta penyebarannya. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *based model inversion*.



Gambar 8. Display model inverted-AI dengan korelasi Sumur PJH-09.

Gambar 8 merupakan hasil dari proses inversi ini menunjukkan bahwa *top* dan *bottom* dari zona target sudah dapat didelineasi dengan cukup baik. Berdasarkan analisis hasil inversi di atas, metode inversi *based model* merupakan metode yang cukup baik karena mampu menghasilkan hasil inversi yang memiliki tren impedansi (*AI-based*) yang hampir sama

dengan aslinya. Begitu juga antara tras sintetis dan tras seismiknya, kurva seismogram sudah dapat memisahkan batas antar lapisan dengan jelas.



Gambar 9. Analisis hasil inversi AI Sumur PJH-09.

Kesesuaian antara data sumur, data sintetis dan data hasil inversi ditunjukkan pada Gambar 9. Gambar menunjukkan garis (kurva) berwarna merah, hitam dan biru yang menggambarkan masing-masing parameter. Garis merah merupakan data properti sumur yang dijadikan masukan untuk dikorelasikan dengan data seismik. Garis warna hitam merupakan tras seismik sintetis dari masukan data sumur garis berwarna merah. Garis berwarna biru merupakan hasil inversi dari data seismik. Dari tras sintetis dan hasil inversi yang ada pada Gambar 9, analisis dapat dilakukan untuk melihat kesesuaian tren. Tren dari kurva tersebut menunjukkan kemiripan sehingga kondisi ini dapat dikatakan proses inversi mendapatkan hasil yang baik.

Multi-Atribut untuk Porositas

Analisis multi-atribut dilakukan dengan korelasi antara beberapa atribut, dimana

masukan berupa data seismik sebagai atribut internal dan impedansi akustik sebagai atribut eksternal serta data sumur sebagai kontrol. Metode ini akan memilih atribut yang cocok dengan data log yang propertinya akan digambarkan. Hal ini dilakukan untuk mendapat prediksi yang mendekati nilai riil dari log.

Kesesuaian antara log yang didapatkan dari data sumur dan data masukan atribut seismik dinyatakan dalam data korelasi. Atribut yang cocok dikombinasikan untuk membangun data kontrol yang berupa data sumur. Data sumur yang akan dibangun pada penelitian ini adalah *neutron porosity*.

Data yang dibangun adalah data target berupa data *neutron porosity*, sedangkan data yang digunakan sebagai masukan adalah data atribut seismik. Kesesuaian antara data yang dibangun dan masukan data dinyatakan dalam data kesesuaian hubungan (korelasi) dan nilai ketidak sesuaian (*error*). Hasil validasi ditunjukkan dengan ketidak cocokan atribut (*error*) pada Tabel 1.

Table 1. Nilai error atribut masukan.

Target	Attribute	Training Error	Validation Error
Neutron Porosity	Amplitude Weighted Frequency	0.077224	0.081244
Neutron Porosity	Integrate (AI-Based)	0.071112	0.075392
Neutron Porosity	Filter 15/20- 25/30	0.069007	0.072137
Neutron Porosity	Second Derivative	0.066055	0.069181
Neutron Porosity	Instantaneous Frequency (AI-Based)	0.063186	0.067071

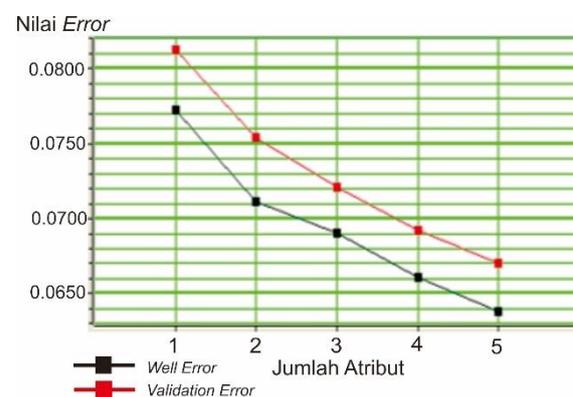
Jumlah atribut yang digunakan sebagai masukan untuk membangun data *neutron porosity* adalah lima atribut. Data tersebut diperoleh dari atribut data seismik dan data luaran hasil inversi impedansi akustik (AI) yang sesuai dengan daftar atribut pada Tabel 1. Nilai ketidak cocokan (*error*) dapat dinyatakan dalam masukan data dan validasi data.

Atribut yang diterapkan sebagai masukan untuk membangun data *neutron porosity* akan

dinilai sebagai data masukan yang akan diprediksi nilai ketidak cocokan dengan *training error*. Data atribut masukan yang sudah diterapkan kemudian divalidasi untuk memastikan nilai ketidak sesuaian pada luaran proses multi-atribut. Nilai ketidak cocokan implementasi dinyatakan dalam *validation error*.

Nilai ketidak cocokan (*error*) yang dihasilkan dalam membangun data sumur (*neutron porosity*) terlihat memiliki tren yang cukup baik. Hal ini terlihat dari nilai *error* yang menurun seiring bertambahnya masukan atribut. Semakin banyak atribut yang ditambahkan akan mendekati target atau kondisi yang diharapkan.

Penggambaran tren penurunan nilai *error* dapat dilihat pada Gambar 10. Nilai *error* terlihat mengalami penurunan dengan semakin bertambahnya masukan atribut yang ditambahkan. Penurunan terjadi tidak hanya pada analisis data masukan, tetapi juga pada validasi. Titik berwarna hitam menunjukkan nilai *error* pada saat estimasi masukan, sedangkan titik berwarna merah menunjukkan nilai *error* setelah masukan diimplementasikan dan dilakukan validasi.

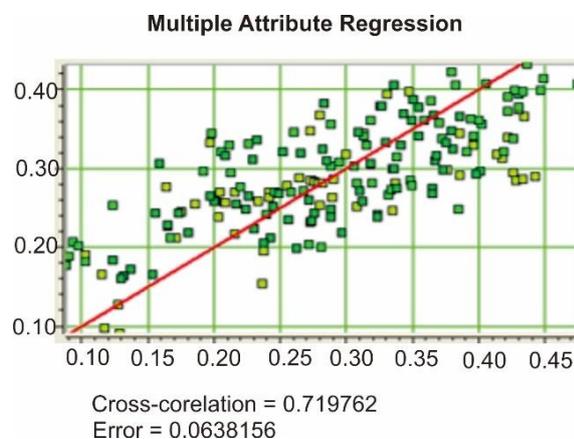


Gambar 10. Grafik *error* pada proses multi-atribut sumur PJH-09.

Kesesuaian antara data yang dibangun dari multi-atribut dan data sumur dapat dinyatakan dalam nilai korelasi. Korelasi menyatakan hubungan yang sesuai untuk membangun sebuah model data sumur dari atribut seismik. Semakin baik (sesuai) data hasil multi-atribut dengan data riil (data sumur), maka nilai

korelasinya akan semakin tinggi. Apabila hasil proses multi-atribut sama (presisi) dengan data target, maka nilai korelasi adalah 1. Sedangkan apabila hasil multi-atribut tidak sesuai dengan data target, maka nilai korelasi adalah 0.

Pada penelitian ini, nilai korelasi diperoleh dari membandingkan masukan dengan data target. Nilai yang dibandingkan berupa data masukan dari variabel sumur berupa kedalaman target yang dihitung. Perhitungan dilakukan dengan menghitung korelasi antara data masukan dan data target dengan perhitungan. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan regresi linier. Nilai korelasi masukan dan target yang diperoleh adalah 0,719762 dengan nilai prediksi kesalahan perhitungan (*error*) adalah 0.063815. Nilai korelasi yang dianalisis dengan menggunakan hubungan regresi linier dapat dilihat pada Gambar 11.



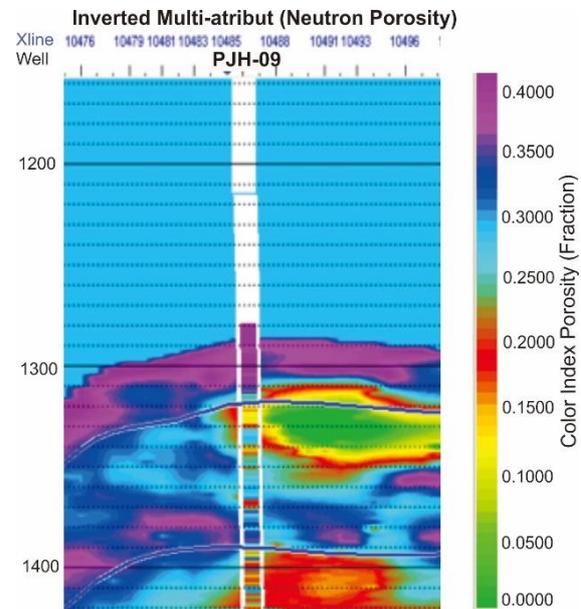
Gambar 11. Grafik korelasi multi-atribut dengan data Sumur PJH-09.

Model Vertikal Porositas (*Neutron Porosity*)

Multi-atribut mengkorelasikan antara beberapa atribut yang cocok sehingga mendapatkan hasil porositas arah vertikal dari data log dan arah lateral dari seismik. Jika perhitungan dan analisis cukup baik, maka proses multi-atribut dapat dilakukan. Proses ini dijalankan (*run*) dengan mengkorelasikan data sumur dan data seismik. Hasil *running* multi-atribut ditunjukkan pada Gambar 12.

Pada Gambar 12, terlihat dengan jelas lapisan yang menjadi target. Sesuai analisis *crossplot* yang dilakukan, zona potensial

reservoir hidrokarbon terletak pada lapisan dengan nilai *neutron porosity* berkisar 0,05 sampai dengan 0,2 dalam skala fraksi. Berdasarkan hasil proses multi-atribut, reservoir potensial sesuai analisis *crossplot* terletak pada kontur antara warna kuning dan merah dengan sedikit warna hijau kekuningan.



Gambar 12. Model porositas (*neutron porosity*) dengan kontrol sumur LMG-09.

Kontrol sumur pada Gambar 12 menggunakan Sumur PJH-09. Terlihat pada gambar tersebut, kontrol sumur dan seismik terikat (*well-seismic tie*) dengan baik. Kontur dengan warna kuning dan merah disebar dari sumur ke arah lateral, dimana warna kontur pada sumur dan seismik sebagian besar terlihat cukup cocok.

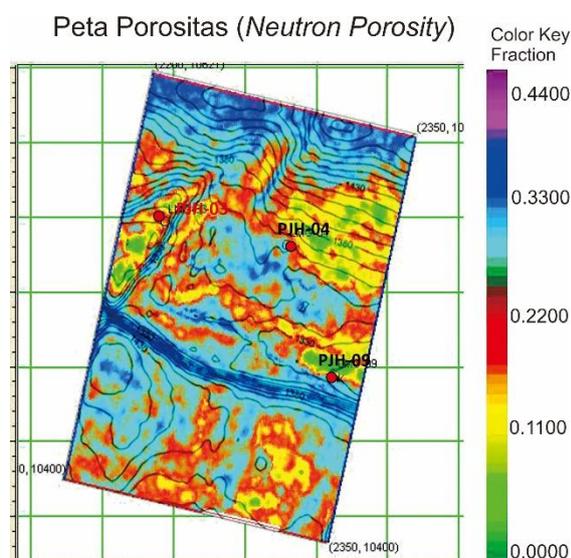
Peta Sebaran Porositas (*Neutron Porosity*)

Hasil proses membangun data porositas dengan menggunakan beberapa properti seismik diperoleh model prorositas (*neutron porosity*) multi-atribut. Hasil multi-atribut yang berupa data vertikal dengan kontrol sumur kemudian diterapkan pada data seismik. Penerapan hasil multi-atribut pada data seismik dilakukan untuk menghasilkan data porositas (*neutron porosity*) yang disebar secara lateral dengan menggunakan data seismik. Sebaran porositas dengan menggunakan data

seismik secara lateral dapat dipetakan sejauh data seismik yang tersedia. Namun, untuk memperoleh hasil sebaran yang baik diperlukan beberapa sumur agar kontrol data porositas dilakukan dengan baik.

Sebaran porositas dapat dilihat tidak hanya secara vertikal ke lateral saja, tetapi dapat dilihat gambaran sebaran secara lateral mendatar atau luasan lateral. Sebaran lateral secara luasan dapat dilihat dengan memetakan. Pemetaan dilakukan dengan melakukan sayatan (*slice*) pada data vertikal dengan menggunakan data horison (*horizon*) dari kemenerusan (*sequence boundary*) lapisan yang tergambar pada data seismik.

Peta sebaran porositas didapatkan setelah melakukan sayatan (*slice*) pada hasil porositas (*neutron porosity*) dari metode multi-atribut seismik yang dibatasi oleh horison yang menjadi zona target. Parameter yang menjadi masukan adalah horison BRF dengan mengambil window rata-rata dibawahnya sebesar 10 ms. Window di bawah horison BRF lebih menunjukkan adanya zona interest yang yang dapat dianggap sebagai zona porositas yang memiliki nilai porositas yang dianggap sebagai reservoir yang berpotensi.



Gambar 13. Peta porositas (*neutron porosity*) dengan sekuen pada window 10 ms di bawah horison BRF.

Gambar 13 menunjukkan peta sebaran porositas (*neutron porosity*) dengan warna yang

menunjukkan perbedaan porositas. Peta tersebut merupakan gabungan (*overlay*) dengan peta struktur waktu dengan batas horison BRF. Struktur waktu digunakan untuk mengetahui letak sebaran dalam peta kontur kedalaman waktu.

Multi-atribut seismik menghasilkan peta yang menunjukkan sebaran porositas (*neutron porosity*). Reservoir yang dianggap berpotensi berdasarkan hasil analisis data sumur berdasarkan Gambar 5 merupakan zona dengan nilai *gamma ray* rendah yang menunjukkan zona permeabel. Sedangkan berdasar analisis sensitivitas dari *crossplot* pada Gambar 7 dapat dilihat nilai porositas yang merupakan zona reservoir.

Berdasarkan analisis *crossplot*, reservoir karbonat pada penelitian ini memiliki nilai porositas (*neutron porosity*) rendah dengan nilai kisaran 0,05 sampai dengan 0,20 dalam skala fraksi (*fraction*). Reservoir yang kurang berpotensi ditunjukkan dengan nilai kisaran 0,20 sampai dengan 0,40 dalam skala fraksi. Warna yang menunjukkan potensi adanya reservoir adalah warna kuning dan merah. Sedangkan zona yang menunjukkan daerah kurang berpotensi sebagai reservoir ditunjukkan dengan warna biru sampai dengan ungu.

KESIMPULAN

Multi-atribut merupakan salah satu metode yang cukup baik dalam membangun properti sumur yang diperoleh dari *logging* data. Salah satu yang menggambarkan properti sumur adalah data *neutron porosity*. Dari analisis, terlihat bahwa korelasi antara properti yang dibangun dari data seismik untuk mendapatkan properti sumur memiliki korelasi yang cukup baik. Hal ini terlihat dari hasil korelasi yang memiliki nilai 0,719762 dengan nilai *error* 0.063815. Berdasarkan nilai tersebut, masukan properti seismik dapat digunakan untuk membangun properti sumur yaitu *neutron porosity*. Nilai *neutron porosity* yang menunjukkan reservoir hidrokarbon adalah berkisar 0,05 sampai dengan 0,20 dalam skala fraksi. Pada peta sebaran *neutron porosity*,

potensial reservoir digambarkan dengan sebaran peta berwarna kuning hingga merah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PPPT Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS yang telah memberikan banyak dukungan berupa ketersediaan data dan tempat serta referensi. Selanjutnya kami sampaikan terima kasih juga kepada Bapak Dr. Hernowo Danusaputro dari Universitas Diponegoro untuk bimbingan teknis dan teoritis, serta masukan dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

1. Rubiyana, T. F., & Nurcahya, B. E. (2021). Study of Constrained Velocity Inversion of Seismic Data in North Sumatra Basin. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, **53**(1).
2. Tabah, F. R., & Danusaputro, H. (2010). Inversi Model Based Untuk Gambaran Litologi Bawah Permukaan. *Jurnal Sains dan Matematika*, **18**(3), 88–93.
3. Hampson, D. (2004). AVO Theory: Hampson-Russell Software Services Ltd.
4. Anstey, N. A. (1977). Seismic interpretation: the physical aspects: International Human Resources Development Corporation. *Boston, MA*, **625**.
5. Bacon, M., & Barclay, W. (1984). *An introduction to seismic interpretation: reflection seismic in petroleum exploration* (No. 550.83 MCQ).
6. Hadi, J. M., Nurwidyanto, M. I., & Yulianto, G. (2006). Analisis Atribut Seismik untuk Identifikasi Potensi Hidrokarbon. *BERKALA FISIKA*, **9**(4), 165–170.
7. Canning, A. (2000). *AVO Inversion*. Tulsa-USA, Manual Book of Paradigm, Geophysical.
8. Barnes, A. E. (1999). Seismic attributes past, present, and future. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 1999* (pp. 892–895). Society of Exploration Geophysicists.
9. De Coster, G. L. (1974). The geology of the central and south Sumatra basins.
10. LEMIGAS, Team Research and Development Center for Oil and Gas Technology. (2005). *Petroleum Geology of Indonesia's Sedimentary Basins*, Jakarta: LEMIGAS. *Tidak dipublikasi*.
11. Spruyt, J. N. (1956). Subdivisions and nomenclature of the Tertiary sediments of the Djambi-Palembang area. *Pertamina, Jakarta*. (Tidak dipublikasikan).
12. Yilmaz, Ö. (2001). *Seismic data analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data*. Society of exploration geophysicists.
13. Tiab, D., & Donaldson, E. C. (2015). *Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties*. Gulf professional publishing.
14. Sukmono, S. (2000). Seismik Inversi Untuk Karakterisasi Reservoir. *Departemen Teknik Geofisika ITB. Bandung*.



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

POTENSI DAUN KETAPANG (*TERMINALIA CATAPPA*) SEBAGAI BIOREDUKTOR UNTUK SINTESIS NANOPARTIKEL PERAK DALAM PENYERAPAN METILEN BIRU

Mega Wati Siregar*, Yanuar

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: wati.mega233@gmail.com

ABSTRACT

*Silver nanoparticles are produced by chemical method, but this method can have a negative impact on the environment due to the use of toxic substances. So, green synthesis is more desirable for producing silver nanoparticles that has the minimum environmental hazard. Biosynthesis of silver nanoparticles was mixed using ketapang leaf extract (*Terminalia Catappa*) as a bioreductor to potential of methylene blue absorption. Silver nanoparticles is a good semiconductor materials used as photocatalists to absorbing of methylene blue. The synthesis process was carried out at a temperature of 80 °C for 10 minutes. The analysis of UV-Vis spectra found that the silver nanoparticles were synthesized using comparison of extract and AgNO_3 solution 1:7 with maximum wavelength absorption which is characteristic of the formation of silver nanoparticles at a wavelength 424 nm. SEM characterization indicates that the silver nanoparticles had a morphology of nanofibers. In this study showed that higher contact time of degradation will increase the percentage of methylene blue degradation. The degradation activity of methylene blue at a concentration of 25 mg/L in an optimal time of 6 hours resulted in degradation values of 86.13%.*

Keywords: Bioreductor, Silver Nanoparticles, Ketapang Leaf, Methylene Blue.

ABSTRAK

*Nanopartikel perak dapat disintesis dengan metode kimia, namun metode ini dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena penggunaan zat beracun. Sehingga metode biosintesis lebih diminati karena ramah lingkungan. Biosintesis nanopartikel perak dilakukan menggunakan bioreduktor ekstrak daun ketapang (*Terminalia Catappa*) sebagai potensi untuk penyerapan metilen biru. Nanopartikel perak adalah bahan semikonduktor yang memiliki potensi sebagai fotokatalis untuk menyerap metilen biru. Proses biosintesis berlangsung pada suhu 80 °C selama 10 menit. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang disintesis menggunakan perbandingan ekstrak dan larutan AgNO_3 1:7 memiliki serapan panjang gelombang yang merupakan karakteristik pembentukan nanopartikel perak pada panjang gelombang 424 nm. Analisa SEM menunjukkan bahwa nanopartikel perak memiliki bentuk morfologi berupa serat nano atau nanofiber. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak degradasi maka semakin besar persentasi degradasi zat warna metilen biru. Nanopartikel perak mampu mendegradasi metilen biru dengan konsentrasi 25 mg/L dengan nilai efisiensi degradasi pada waktu optimum 6 jam adalah 86,13%.*

Kata kunci: Bioreduktor, Nanopartikel Perak, Daun Ketapang, Metilen Biru.

Diterima 24-10-2021 | Disetujui 13-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan industri tekstil mengakibatkan peningkatan penggunaan zat warna yang dapat mencemari lingkungan. Limbah cair zat warna mengandung bahan-

bahan beracun dan berbahaya. Keberadaan limbah cair dalam perairan dapat menghalangi sinar matahari menembus lingkungan akuatik, sehingga mengganggu proses biologis yang terjadi di dalamnya [1]. Salah satu zat warna yang sering digunakan adalah zat warna metilen

biru. Senyawa metilen biru mempunyai struktur benzena yang sulit terurai, bersifat toksik, karsinogenik dan mutagenik [2]. Oleh karena itu, untuk mengatasi masalah zat warna tersebut digunakan metode degradasi menggunakan nanopartikel logam sebagai katalis. Dalam penelitian ini, nanopartikel logam yang digunakan adalah perak. Nanopartikel perak memiliki beberapa sifat yang menarik yaitu konduktivitas listrik yang baik, stabilitas kimia, antijamur dan antibakteri [3].

Nanopartikel perak dilaporkan sebagai fotokatalis yang efektif untuk mendegradasi struktur kompleks dari zat warna dibawah sinar tampak. Nanopartikel perak memiliki permukaan plasmon penyerapan di wilayah UV-Vis (SPR). Adanya *Surface Plasmon Area* mengakibatkan nanopartikel perak dapat menyerap lebih banyak sinar dan menghasilkan banyak elektron dan *hole* positif. Kemudian membentuk radikal superoksida dan radikal hidroksil yang membantu menguraikan polutan organik menjadi zat yang aman bagi lingkungan [4].

Nanopartikel perak disintesis dengan metode *green synthesis* yang memanfaatkan bahan alam sebagai bioreduktor. Beberapa faktor yang mempengaruhi proses sintesis nanopartikel logam memanfaatkan agen biologi antara lain jenis dan konsentrasi peresuksi atau prekursor dan jenis organisme. Agen biologi berperan sebagai penstabil, pereduksi atau keduanya dalam proses sintesis nanopartikel [5]. Konsentrasi garam perak, jenis reduktor, temperatur dan waktu reaksi merupakan parameter yang menentukan ukuran partikel pada proses sintesis nanopartikel [6].

Beberapa jenis tumbuhan mengandung senyawa kimia tertentu yang dapat berperan sebagai pereduksi dan telah banyak dilakukan penelitian yang berkaitan dengan sintesis nanopartikel perak dengan bahan dasar ion perak dan ekstrak tumbuhan. Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun ketapang diperoleh ukuran partikel 40–80 nm [7]. Sintesis nanopartikel perak menggunakan ekstrak daun pucuk idat menghasilkan ukuran partikel 39,59 nm [8]. Hasil sintesis

nanopartikel menggunakan ekstrak daun eceng gondok dengan ukuran partikel 15,6–76,9 nm [9]. Ekstrak yang digunakan mengandung metabolit sekunder seperti terpenoid dan flavonoid yang memiliki aktivitas antioksidan sehingga dapat berperan sebagai bioreduktor untuk menghasilkan nanopartikel perak [10].

Ketapang salah satu tumbuhan yang memiliki potensi sebagai bioreduktor dalam mensintesis nanopartikel perak dan merupakan sumber daya alam terbarukan. Daun ketapang memiliki kandungan flavonoid, saponin, fenolik yang memiliki aktivitas antioksidan. Senyawa fenolik yang terkandung dalam ekstrak daun ketapang mampu mereduksi Ag^+ menjadi Ag^0 [11].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakuakn untuk mensintesis nanopartikel perak dengan metode biosintesis dengan memanfaatkan ekstrak daun ketapang sebagai reduktor dan penstabil partikel. Selanjutnya, nanopartikel perak akan dikarakterisasi dengan UV-Vis, SEM dan kemudian diuji kemampuannya dalam menyerap zat warna metilen biru.

METODE PENELITIAN

Sintesis Nanopartikel Perak

Proses sintesis nanopartikel perak di mulai dengan membuat ekstrak daun ketapang. Daun ketapang diperoleh dan dikumpulkan dari lingkungan Universitas Riau, Pekanbaru. Daun yang telah disiapkan dicuci hingga bersih dan dikeringkan pada suhu 100°C di dalam oven selama 90 menit untuk menghilangkan kelembaban dan kotoran yang menempel pada daun. Daun yang telah kering dihaluskan dan diayak. 5 g serbuk kering daun ketapang ditambahkan dengan 200 mL aqua DM, kemudian dipanaskan pada suhu 80°C selama 10 menit disertai dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Selanjutnya larutan dibiarkan dingin sampai mencapai suhu ruang kemudian disaring menggunakan kertas whattman no 1. Sebuah filtrat diperoleh sebagai ekstrak daun ketapang yang akan digunakan

sebagai bioreduktor pada sintesis nanopartikel perak. Sintesis nanopartikel perak dilakukan dengan mereaksikan 35 mg/L larutan AgNO_3 1 mM dengan 5 mg/L larutan ekstrak daun ketapang sebagai reduktan. NaOH 1 M ditetesi ke dalam larutan sintesis hingga pH larutan mencapai 10. Selanjutnya larutan dipanaskan pada suhu 80°C selama 15 menit. Kemudian dianalisa dengan Spektroskopi UV-Vis dan SEM.

Uji Penyerapan Metilen Biru

Larutan standar metilen biru diperoleh dari larutan induk 1000 mg/L kemudian diencerkan menjadi 100 mg/L dan diencerkan kembali menjadi 25 mg/L. Kurva standar metilen biru 25 mg/L diperoleh dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis dengan panjang gelombang 500 – 700 nm. Larutan Metilen Biru dengan konsentrasi 25 mg/L dimasukkan ke dalam gelas *beaker* dan ditambahkan 25 mg/L nanopartikel perak yang sudah disintesis dengan menggunakan ekstrak daun ketapang dengan konsentrasi Ag 1 mM, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama waktu total 8 jam. Setiap dua jam sekali larutan diambil, kemudian diukur absorbansinya menggunakan UV-Vis dengan panjang gelombang 664 nm untuk mendapatkan efisiensi degradasi. Persentase penyerapan metilen biru oleh nanopartikel perak dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$\% \text{ Degradasi} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\% \quad (1)$$

dimana C_o adalah konsentrasi larutan metilen biru sebelum terdegradasi dan C_e adalah konsentrasi larutan metilen biru setelah terdegradasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Sintesis Nanopartikel Perak

Penelitian ini berhasil mensintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor

ekstrak daun ketapang yang ditandai dengan terjadinya perubahan warna larutan. Beberapa parameter yang mempengaruhi proses sintesis nanopartikel perak antara lain temperatur, pH, konsentrasi garam, agen pereduksi dan waktu reaksi. Hasil sintesis nanopartikel perak dengan bioreduktor ekstrak daun ketapang ditunjukkan pada Gambar 1.



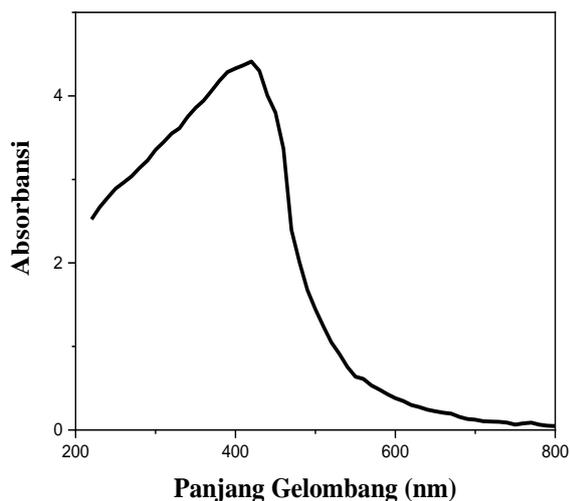
Gambar 1. Hasil sintesis nanopartikel perak.

Pada proses sintesis terjadi perubahan warna larutan saat ditetesi larutan NaOH dari warna kuning bening menjadi warna cokelat kehitaman. Kemudian warna larutan semakin pekat saat dilakukan pemanasan. Perubahan warna larutan dari kuning menjadi cokelat kehitaman menandakan telah terbentuknya nanopartikel perak [12]. Perubahan warna tersebut terjadi akibat proses reduksi oksidasi. Semakin pekat warna yang dihasilkan menunjukkan adanya korelasi dengan jumlah nanopartikel yang terbentuk [13]. Banyaknya senyawa organik yang teroksidasi mengakibatkan semakin banyak Ag^+ yang mengalami reduksi menjadi Ag^0 dan konsentrasi nanopartikel perak yang terbentuk semakin meningkat [14].

Hasil Pengujian Nanopartikel Perak dengan Spektroskopi UV-Vis

Hasil uji UV-Vis nanopartikel perak yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun ketapang diperoleh pita SPR nanopartikel perak berbentuk tajam dan intens dengan

puncak panjang gelombang 424 nm. spektrum panjang gelombang ini merupakan karakteristik absorbansi nanopartikel perak yang terbentuk pada panjang gelombang 410 – 450 nm [15]. Puncak disekitar 424 nm mengindikasikan telah tereduksinya ion Ag^+ yang selanjutnya berubah menjadi nanopartikel perak. Komponen flavonoid dan terpenoid pada ekstrak tumbuhan berperan dalam mereduksi ion Ag^+ . Hukum Lambert Beer yang menyatakan bahwa nilai absorbansi sebanding dengan konsentrasi larutan. Semakin tinggi nilai absorbansi menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi partikel-nano dalam larutan [16].

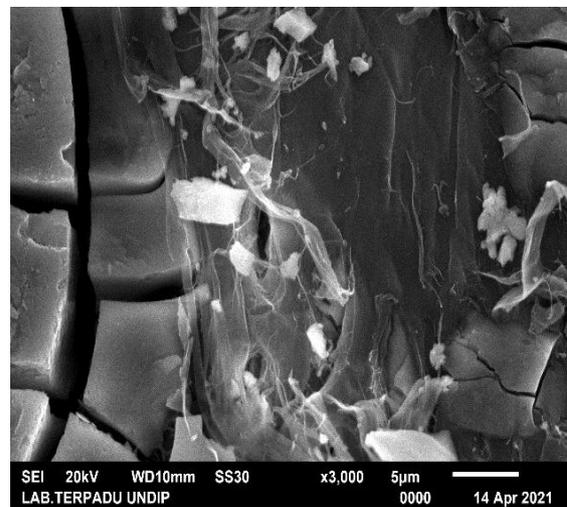


Gambar 2. Spektrum serapan cahaya nanopartikel perak.

Hasil Pengujian Nanopartikel Perak dengan SEM

Morfologi permukaan nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai bioreduktor diperoleh dari karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan perbesaran 3000 kali ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil pengamatan SEM menunjukkan bahwa nanopartikel perak memiliki morfologi permukaan berupa serat berukuran nano atau *nanofiber* yang halus dengan ukuran bervariasi antara 10 nm-35 nm. Pembentukan serat dan pengendapan nanopartikel perak pada serat merupakan hasil dari reaksi redoks yang terjadi antara prekursor dan reduktan dalam larutan. Jaringan serat nano

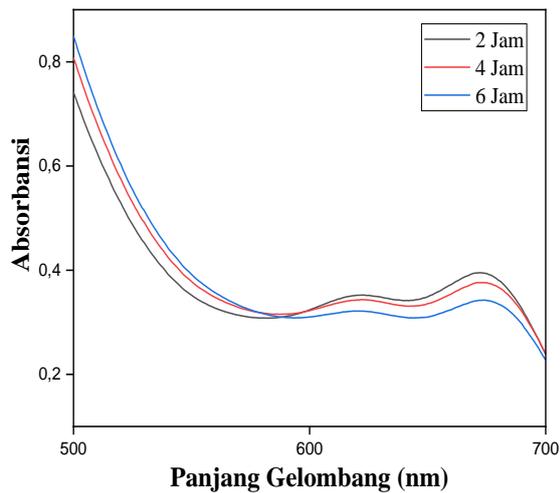
yang saling berhubungan dengan endapan nanopartikel perak dapat menyebabkan peningkatan sifat mekanik sampel sehingga sampel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi seperti antibakteri, pembalut luka dan pemurnian air. Pembentukan serat nano atau *nanofiber* dipengaruhi oleh konsentrasi dan ionisasi garam [17, 18].



Gambar 3. Mikrograf SEM nanopartikel perak dengan perbesaran 3000 X.

Hasil pengamatan analisa SEM menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang diperoleh cenderung beragregasi terlihat dibawah pengamatan partikel yang menggumpal. Kecenderungan nanopartikel beragregasi dipengaruhi oleh efek Gerak Brown dan Gaya Van Der Waals dalam sampel yang menyebabkan ukuran partikel tidak seragam [19]. Dapat dilihat dari analisis SEM bahwa terdapat partikel selain perak. Serat dan endapan berwarna putih pada gambar tersebut diidentifikasi sebagai nanopartikel perak sedangkan partikel yang berukuran lebih besar adalah Ag_2O . Selain itu, juga terlihat bahwa pada sampel nanopartikel perak terdapat unsur karbon. Adanya karbon pada sampel dipengaruhi oleh perlakuan sampel saat pembersihan dan pemanasan sampel yang mengakibatkan partikel menyusut, mengeras dan terjadi agregasi partikel [20].

Hasil Uji Penyerapan Metilen Biru



Gambar 4. Spektrum serapan cahaya penyerapan metilen biru pada waktu kontak 2-6 jam.

Efektivitas nanopartikel dalam menyerap metilen biru ditunjukkan pada Gambar 4. Gambar 4 menampilkan dan menjelaskan nilai absorbansi metilen biru 25 mg/L yang telah ditambahkan katalis nanopartikel perak pada waktu kontak 2-6 jam. Kemampuan penyerapan metilen biru tidak terlepas dari penambahan logam pada nanopartikel. Lama waktu yang digunakan pada proses degradasi akan menghasilkan banyak radikal hidroksil. Semakin tinggi ion radikal hidroksil maka konsentrasi radikal hidroksil akan meningkat. Radikal ini yang berperan dalam proses degradasi. Selain itu, elektron akan bereaksi dengan oksigen yang terlarut membentuk radikal superoksida yang membantu proses degradasi.

Pengukuran nilai absorbansi maksimum metilen biru menggunakan panjang gelombang maksimum metilen biru 25 mg/L yaitu pada panjang gelombang 664 nm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai bioreduktor mampu menyerap metilen biru. Hal ini terlihat dari perubahan absorbansi metilen biru yang semakin berkurang. Semakin kecil nilai absorbansi menunjukkan bahwa semakin kecil konsentrasi metilen biru yang larut dalam air. Nanopartikel perak mampu

mendegradasi metilen biru pada waktu optimum 6 jam sebesar 86,13%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa daun ketapang dapat digunakan sebagai bioreduktor dalam sintesis nanopartikel perak. Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan adanya puncak absorbansi pada panjang gelombang yang merupakan karakteristik pembentukan nanopartikel perak pada panjang gelombang 424 nm. Analisis SEM menunjukkan bahwa nanopartikel perak yang dihasilkan memiliki morfologi permukaan berbentuk serat berukuran nano atau *nanofiber*. Nanopartikel perak yang disintesis menggunakan ekstrak daun ketapang sebagai bioreduktor mampu mendegradasi zat warna metilen biru dengan waktu kontak maksimum 6 jam yaitu sebesar 86,13%.

REFERENSI

1. Krim, L., Nacer, S., & Bilango, G. (2006). Kinetics of chromium sorption on biomass fungi from aqueous solution. *Am. J. Environ. Sci*, **2**(1), 31–36.
2. Ljubas, D., Ćurković, L., & Dobrović, S. (2010). Photocatalytic Degradation Of An Azo Dye By Uv Irradiation At 254 And 365 nm. *Transactions of FAMENA*, **34**(1).
3. Liao, C., Li, Y., & Tjong, S. C. (2019). Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *International journal of molecular sciences*, **20**(2), 449.
4. Bere, M. L., Sibarani, J., & Manurung, M. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak (NPAg) Menggunakan Ekstrak Air Daun Kemangi (*Ocimum Sanctum* Linn.) dan Aplikasinya dalam Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*, **7**(2), 155–164.
5. La Tapa, F., Suryanto, E., & Momuat, L. I. (2019). Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Empelur Batang Sagu Baruk (*Arenga microcarpha*) dan

- Aktivitas Antioksidannya. *Chemistry Progress*, **9**(1).
6. Šileikaitė, A., Prosyčėvas, I., Puišo, J., Juraitis, A., & Guobienė, A. (2006). Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution. *Mater. Sci*, **12**(4), 1392–1320.
 7. Lembang, E. Y. (2013). *Sintesis Nanopartikel Perak Dengan Metode Reduksi Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Daun Ketapang (Terminalia catappa)* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
 8. Sutanti, F., Silvia, D., Putri, M. A., & Fabiani, V. A. (2018). Pengaruh konsentrasi AgNO₃ pada sintesis nanopartikel perak menggunakan bioreduktor ekstrak pucuk idat (*Cratogeomachra glaucum* KORTH). In *Proceedings Of National Colloquium Research And Community Service* (Vol. 2).
 9. Kasim, S., Taba, P., & Anto, R. (2020). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) Sebagai Bioreduktor. *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, **6**(2), 126–133.
 10. Taba, P., Parmitha, N. Y., & Kasim, S. (2019). Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*) Sebagai Bioreduktor dan Uji Aktivasnya Sebagai Antioksidan. *Indonesian Journal of Chemical Research*, **7**(1), 51–60.
 11. Rusnaenah, A. Z., & Muhammad Budi, P. (2017). Biosynthesis of Silver Nanoparticles Using Ketapang Leaf Extract, Modification With p-Coumaric Acid For Detecting Melamine. *Ind. J. Chem. Res*, **4**(2), 367–372.
 12. Fatimah, I., Kurniawati, N. M., Adil, A., & Anggreyani, R. (2020). Pemanfaatan Bunga Lantana Camara Ungu Sebagai Bioreduktor Dalam Sintesis Nanopartikel Perak Sebagai Dan Antioksidan. *Khazanah: Jurnal Mahasiswa*, **8**(1), 8.
 13. La Tapa, F., Suryanto, E., & Momuat, L. I. (2019). Biosintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Ekstrak Empelur Batang Sagu Baruk (*Arenga microcarpha*) dan Aktivitas Antioksidannya. *Chemistry Progress*, **9**(1).
 14. Handayani, W. (2011). *Pemanfaatan Tumbuhan Tropis untuk Biosintesis Nanopartikel Perak dan Aplikasinya sebagai Indikator Kolorimetri Keberadaan Logam Berat* (Doctoral dissertation, Doctoral dissertation, Thesis diterbitkan).
 15. Manivasagan, P., Venkatesan, J., Sivakumar, K., & Kim, S. K. (2016). Actinobacteria mediated synthesis of nanoparticles and their biological properties: A review. *Critical reviews in microbiology*, **42**(2), 209–221.
 16. Sari, P. I., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2017). Pembuatan Nanopartikel Perak (NPP) Dengan Bioreduktor Ekstrak Buah *Muntingia calabura* L Untuk Analisis Logam Merkuri. *Alotrop*, **1**(1).
 17. Pant, B., Park, M., & Park, S. J. (2019). One-step synthesis of silver nanoparticles embedded polyurethane nano-fiber/net structured membrane as an effective antibacterial medium. *Polymers*, **11**(7), 1185.
 18. Faccini, M., Vaquero, C., & Amantia, D. (2012). Development of protective clothing against nanoparticle based on electrospun nanofibers. *Journal of Nanomaterials*, **2012**.
 19. Masakke, Y., & Rasyid, M. (2015). Biosintesis Partikel-nano Perak Menggunakan Ekstrak Metanol Daun Manggis (*Garcinia mangostana* L.). *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, **4**(1).
 20. Anggita, S. R. (2020). Deposisi ZnO Doping Ag pada Substrat Aluminium Foil untuk Degradasi Methylene Blue. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, **8**(1), 51–60.



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

SURVEI HYDROCHEMICAL AIR TANAH DANGKAL DAN SIFAT KARAKTERISTIK TANAH DILAHAN PERTANIAN PALAWIJA DI MARPOYAN DAMAI

Sari Agriona, Juandi Muhammad*

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau

*E-mail korespondensi: juandi@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Maharatu Village, Marpoyan Damai District in Pekanbaru City has the potential for agricultural land, namely secondary crops. These agricultural activities can have an impact on groundwater pollution, this is due to the use of fertilizers on agricultural land which can seep into the underground water system. This study aims to determine water quality based on parameters of PH, COD, BOD, TDS, coli bacteria, turbidity, Fe, Mn, and Pb and to determine soil characteristics based on porosity and permeability. Water and soil samples were collected from Jalan Kartama, Maharatu Village, Marpoyan Damai District, Pekanbaru City. Water samples were taken from one source and soil samples were taken from 5 observation points representing agricultural land at a depth of 10 cm. Analysis of water quality and soil characteristics is descriptive analytic, while the relationship between porosity and permeability characteristics is analyzed by means of correlation analysis. The results showed that the water quality for all parameters was good except for the pH parameter which was 3.86 and acidic. Soil characteristics show that the largest porosity value is 38.26% and the smallest porosity value is 22.0%, while the maximum soil permeability value is 9.93 cm / hour and the minimum soil permeability is 1.22 cm/hour. Both data show that the relationship between permeability and porosity is directly proportional, the greater the permeability, the greater the porosity value.

Keywords: Groundwater Quality, Permeability, Porosity, Agricultural Land.

ABSTRAK

Kelurahan Maharatu Kecamatan Marpoyan Damai di Kota Pekanbaru memiliki potensi lahan perthanian yaitu tanaman palawija. Aktivitas pertanian tersebut dapat menyebabkan dampak terhadap pencemaran air bawah tanah, hal ini disebabkan karena penggunaan pupuk pada lahan pertanian yang dapat meresap kedalam sistim air bawah tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas air berdasarkan parameter PH, COD, BOD, TDS, Bakteri Coli, Kekeruhan, Fe, Mn, dan Pb serta mengetahui karakteristik tanah berdasarkan porositas dan permeabilitas. Sampel air dan tanah dikumpulkan dari Jalan Kartama, Kelurahan Maharatu, Keamatan Marpoyan Damai, Kota Pekanbaru. Sampel air diambil dari satu sumber dan sampel tanah di ambil 5 titik pengamatan yang mewakili lahan pertanian pada kedalaman 10 cm. Analisis kualitas air dan karakteristi tanah bersifat deskriptif analitik, sedangkan hubungan antara karakteristik porositas dan permeabilitas dianalisis dengan analisis korelasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas air untuk semua parameter tergolong baik kecuali parameter PH yang bernilai 3,86 dan bersifat asam. Karakteristik tanah menunjukkan bahwa nilai porositas terbesar yaitu 38,26% dan nilai porositas terkecil 22,0 % sedangkan nilai permeabilitas tanah maksimum yaitu 9,93 cm/jam dan permeabilitas tanah minimum yaitu 1.22 cm/jam. Data keduanya menunjukkan bahwa hubungan permeabilitas dan porositas berbanding lurus, semakin besar permeabilitas maka nilai porositas juga akan meningkat.

Kata kunci: Kualitas Air Tanah, Permeabilitas, Porositas, Lahan Pertanian.

Diterima 29-03-2021 | Disetujui 14-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Air merupakan bagian dari sumber daya alam yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup yang mana di dalam kehidupan modern ini air juga merupakan hal utama untuk budi daya pertanian, industri, pembangkit listrik dan transportasi. Air secara langsung mengalir dari tempat yang paling tinggi ke tempat yang paling rendah dimana dalam keadaan alam mengalir dari hulu menu hilir. Mengalir di atas permukaan tanah sehingga dapat juga mengalir di bawah permukaan tanah [1-3]. Sekarang ketersediaan air semakin terbatas bahkan beberapa tempat sudah terjadi kekeringan yang di akibatkan karna sering terjadinya kemarau [4, 5].

Air tanah merupakan air yang menempati rongga-rongga batuan yang berada dibawah permukaan tanah pada zona jenuh air [6, 7]. Pembentukan air tanah selalu mengikuti siklus peredaran yang disebut hidrologi, yaitu proses alamiah yang berlangsung pada air di alam yang mengalami perpindahan secara berurutan dan terus menerus. Air tanah tersimpan dalam lapisan menyimpan air tanah yang disebut akuifer yang merupakan formasi yang dapat menyimpan, pembawa dan mengalirkan air dalam jumlah yang cukup dan di pengaruhi porositas, permeabilitas dari lapisan tanah.

Keberadaan air tanah untuk setiap tempat dan sangat terkait dengan kondisi geologi dan geohidrologinya. Oleh sebab itu penyediaan air bersih dengan pemanfaatan air tanah harus dilakukan melalui kajian potensi air tanah di daerah yang bersangkutan. Perlu adanya upaya eksplorasi air tanah guna memperoleh informasi data tentang potensi air tanah yang kemungkinan bisa dikembangkan dengan selalu memperhatikan kelestarian lingkungan [8-10].

Jalan Kartama kecamatan Marpoyan Damai Kelurahan Maharatu yang mempunyai banyak lahan pertanian Palawija disekitar pemukiman dimana sebagian besar penduduknya berprofesi sebagai petani. Lahan pertanian palawija tersebut terletak di antara pemukiman penduduk, di belakang sekolah dan di lahan tersebut adanya pemakaman. Lahan pertanian

memiliki tanah jenis gambut yang dan memiliki sumur bor yang terletak di tengah lahan mempunyai kedalaman 16 meter dengan kualitas air tanah yang belum dapat dipastikan kejernihannya digunakan untuk kehidupan sehari-hari. Maka dari itu perlu ada nya Survei Hydrochemical Air Tanah Dangkal dan Sifat Karakteristik Tanah di Lahan Pertanian Palawija di Marpoyan Damai.

Lokasi penelitian berada di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu yang mempunyai lahan $100 \times 100 m^2$ dimana pada lahan tersebut terdapat satu rumah petani yang memiliki satu wc yang mempunyai jarak dengan lahan pertanian palawija sebesar $10,5 m^2$, maka dari itu dapat mempengaruhi kualitas air sumur tersebut.

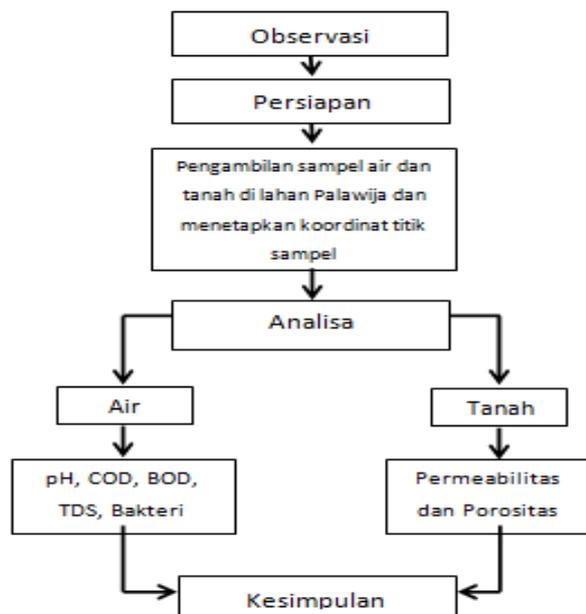
Air yang terdapat di permukaan tanah lama kelamaan akan meresap kedalam tanah dikarenakan banyaknya lahan pertanian. Di sekitar lahan hanya mempunyai parit kecil yang tidak memiliki air karena air yang ada langsung diserap oleh tanah. Jika terjadinya musim kemarau maka petani akan mengalami kerugian karena volume air di sumur bor akan berkurang. Sebaliknya jika terjadinya musim hujan maka petani mengalami keuntungan karena tidak diperlukan lagi penyiraman.

Air tanah merupakan segala bentuk aliran air hujan yang mengalir di bawah permukaan tanah sebagai akibat struktur pelapisan geologi. Perlunya penelitian ini untuk menganalisa air yang bersih dan sekaligus menganalisa kualitas air dapat diliat dari uji bau, uji PH dan uji kekeruhan. Studi kualitas air dilakukan dengan berbagai metode yang sering dilakukan seperti halnya uji PH, COD, BOD, TDS, Bakteri Ecoli, kekeruhan, Fe, Mn dan Pb.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran untuk mengukur sampel air yang dilakukan di Laboratorium Fisika Bumi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau dan UPT Laboratorium Kesehatan dan Lingkungan, serta dilakukan pengukuran untuk mencari nilai porositas dan nilai permeabilitas tanah

yang dilakukan di Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Universitas Riau.



Gambar 1. Susunan Metode Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menampilkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai analisis kualitas air bawah tanah dan sifat karakteristik tanah dilahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu.

Hasil dan Analisis Parameter Uji Kualitas Air

Tabel 1. Hasil Analisis Kualitas Air dengan Koordinat 2°46'6,593"LU 102°11'23,34"BT.

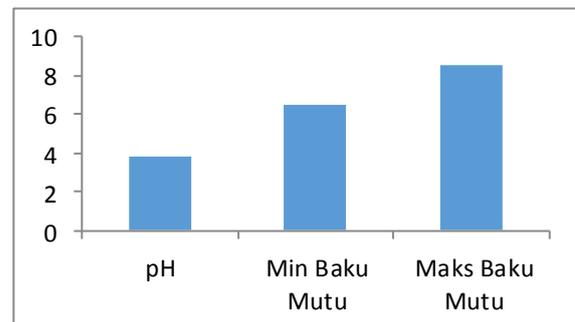
No	Parameter	Nilai
1	pH	3,86
2	BOD	3 mg/L
3	COD	17 mg/L
4	TDS	201 mg/L
5	Kekeruhan	0,93 NTU
6	E.Coli	0
7	Fe	0,0134 mg/L
8	Mn	0,0308 mg/L
9	Pb	<0,0017 mg/L

Sifat fisika dan komposisi kimia pada air tanah menentukan kualitas air tanah secara alami dapat dipengaruhi oleh jenis tanah yang dilalui air. Jika air tanah tersebut tercemar maka akan membawa bibit-bibit penyakit yang berasal dari air ke makhluk hidup yang menggunakan air tersebut. Maka dari itu, untuk

mengetahui kualitas air tanah pada titik-titik lokasi penelitian tersebut di uji dengan beberapa parameter yaitu pH, BOD, COD, TDS, Warna, E.Coli, Fe, Mn dan Pb.

Analisis pH

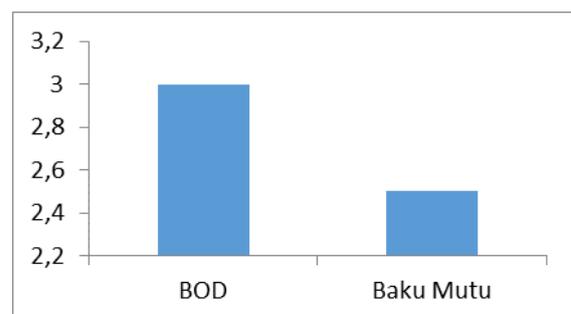
pH air normal umumnya berkisar 6,5 – 8,5. Hasil sampel ditunjukkan pada Tabel 1 yang dianalisis menggunakan pH meter menghasilkan pH pada sampel bersifat asam ($\text{pH} < 6,5$). Hal ini akan mengakibatkan pipa-pipa air yang terbuat dari logam mengalami korosi sehingga melarutkan unsur-unsur timbal, tembaga, yang pada akhirnya air tersebut akan menjadi racun bagi tubuh makhluk hidup yang menggunakannya.



Gambar 2. Grafik pH Air.

Pada Gambar 2 menjelaskan bahwa pH sampel air pada Lahan Pertanian Palawija dinyatakan tidak sesuai dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan.

Analisis Biological Oxygen Demand (BOD)



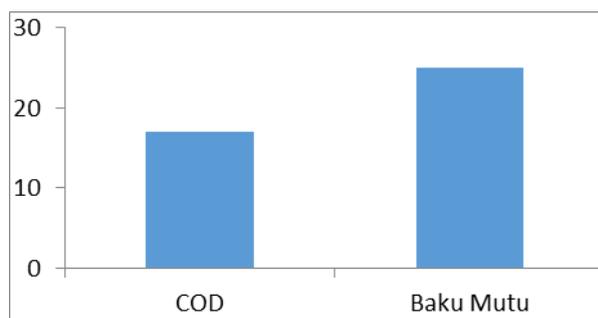
Gambar 3. Hasil BOD.

Standar baku mutu BOD yang telah ditetapkan oleh Menteri Kesehatan No.82 Tahun 2001 adalah 3 mg/L dan hasil yang

diperoleh dari pengukuran sampel adalah 3 mg/L dapat dilihat pada Gambar 3. Hal tersebut tergolong baik dan layak untuk digunakan karena sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan.

Chemical Oxygen Demand (COD)

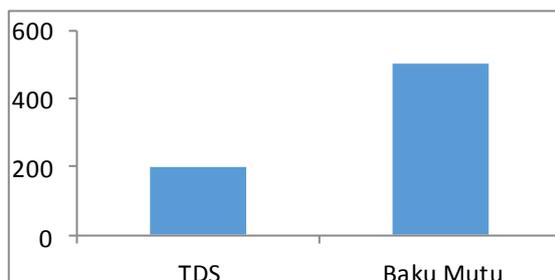
Pada Gambar 4 menjelaskan bahwa hasil yang didapat dari pengujian sampel adalah 17 mg/L sedangkan nilai baku mutu yang telah ditetapkan sebesar 25 mg/L maka dari itu dapat dikategorikan sebagai air yang layak untuk dikonsumsi.



Gambar 4. Hasil COD.

Analisi Kekeruhan dan Padatan Terlarut (TDS)

TDS menunjukkan jumlah padatan zat terlarut pada air. Hasil penelitian tentang TDS ada sampel air sumur ialah 201 mg/L sedangkan baku mutu yang telah ditetapkan oleh kementerian No.82 tahun 2001 adalah 500 mg/L hal tersebut dapat diartikan bahwa air sumur tergolong layak untuk di konsumsi.

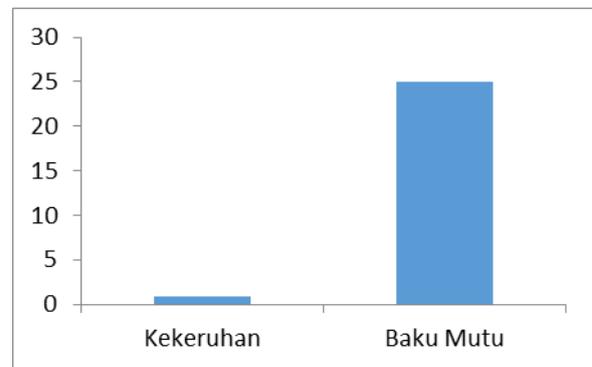


Gambar 5. Hasil TDS.

Analisis Kekeruhan

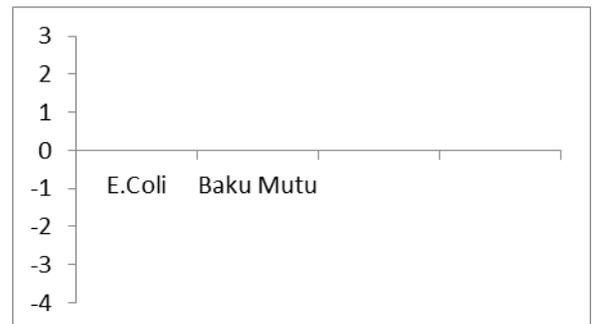
Air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang

tersuspensi sehingga memberikan warna yang tidak jernih. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa tingkat kekeruhan air tergolong cukup rendah. Berdasarkan Peraturan Kementerian RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010 standart baku mutu kadar maksimum yang diperbolehkan untuk kekeruhan adalah 25 NTU. Dari hasil yang diperoleh untuk tingkat kekeruhan sumur pertanian palawija Kelurahan Maharatu ialah 0,93 NTU dan tergolong layak digunakan.



Gambar 6. Hasil Kekeruhan.

Analisis E.Coli



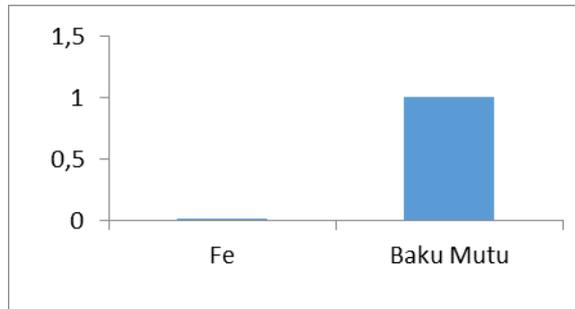
Gambar 7. Hasil E.Coli.

Kandungan bakteri E.Coli pada sumur pertanian palawija Kelurahan Maharatu memenuhi syarat karena tidak melebihi standar baku mutu dengan batas syarat 0/100 ml. Kadar maksimum yang diperbolehkan mengacu pada Permenkes No.82 Tahun 2001.

Analisis Besi (Fe)

Kadar maksimum standar parameter besi (Fe) berdasarkan peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 maksimum yaitu 1,0 mg/L. Berdasarkan Tabel

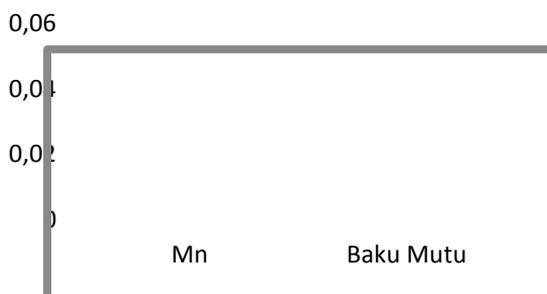
1 tersebut dapat dilihat nilai Fe pada sampel air sumur yaitu sebesar 0.134 mg/L. Nilai tersebut bisa digunakan sebagai penentuan kualitas air secara umum karena dapat mengetahui kadar Fe yang terkandung pada air tersebut. Kadar Fe yang terkandung dalam air sumur Pertanian Palawija Kelurahan Mahartu adalah kadar yang menunjukkan air yang masih memenuhi standar untuk dikonsumsi.



Gambar 8. Hasil Besi (Fe).

Analisis Mangan (Mn)

Pada Mangan yang terukur pada sampel air sumur yaitu sebesar 0,0308 mg/L. berdasarkan hasil penelitian menunjukkan pada kualitas air sumur pertanian palawija Kelurahan Maharatu masih tergolong kualitas layak digunakan sebagai air bersih.

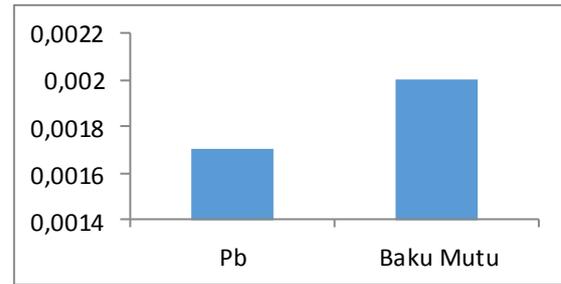


Gambar 9. Hasil Mangan (Mn).

Timbal (Pb)

Konsentrasi Timbal (Pb) ditemukan dalam air sumur pertanian palawija Kelurahan Maharatu adalah <0,0017 mg/L. Sedangkan standar baku mutu adalah 0,002 mg/L. Hal ini sesuai dengan standar baku mutu Menteri Kesehatan No.82 Tahun 2001. Maka dapat disimpulkan bahwa kandungan timbal pada air

sumur tersebut tergolong layak untuk digunakan.



Gambar 10. Hasil Timbal (Pb).

Hasil Pengukuran Tingkat Porositas (ϕ) dan Permeabilitas (k) Tanah di Lahan Pertanian Palawija Kelurahan Maharatu

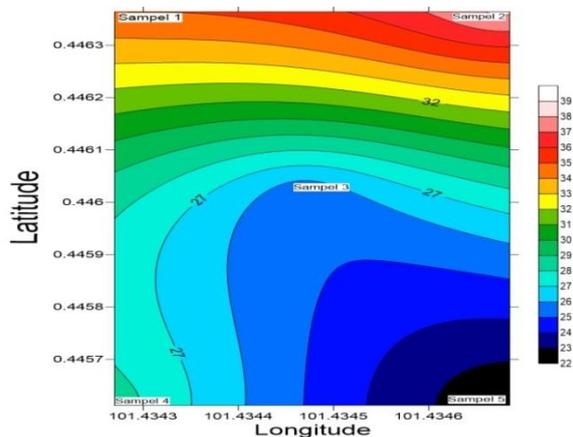
Data hasil pengukuran 5 sampel porositas dan permeabilitas tanah dihitung menggunakan *Microsoft excel*. Pengukuran nilai porositas dan permeabilitas di lakukan di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu sebanyak 5 titik sampel di sekitar lahan.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Porositas (ϕ) dan Permeabilitas (k).

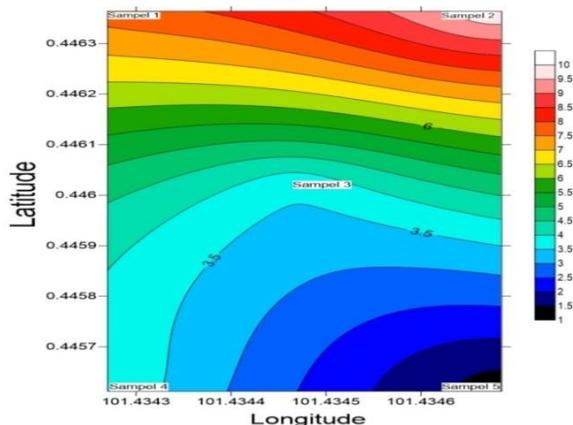
Kode Sampel	Koordinat	Porositas (%)	Permeabilitas (cm/jam)
Sampel 1	0°26'46.91"LU 101°26'3.426"BT	35.01	7.80
Sampel 2	0°26'46.91"LU 101°26'4.830"BT	38.26	9.93
Sampel 3	0°26'45.67"LU 101°26'4.085"BT	25.26	3.61
Sampel 4	0°26'44.20"LU 101°26'3.372"BT	28.51	3.92
Sampel 5	0°26'44.23"LU 101°26'4.866"BT	22.01	1.22

Pada Gambar 11 menunjukkan peta kontur tingkat porositas tanah dikawasan lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu. Peta kontur ini menunjukkan bahwa 5 titik sampel masing-masing dengan perubahan warna setiap kenaikan bervariasi.

Gambar 12 menunjukkan peta kontur permeabilitas tanah di 5 titik sampel tanah dilahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu. Peta kontur ini menunjukkan bahwa 5 titik sampel masing-masing dengan perubahan warna setiap kenaikan bervariasi.



Gambar 11. Peta kontur tingkat porositas tanah 5 titik sampel di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu.



Gambar 12. Peta kontur tingkat Permeabilitas tanah 5 titik sampel di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu.

Analisa Tingkat Porositas (ϕ) Tanah

Gambar 11 merupakan kontur tingkat porositas tanah di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu dalam tampilan 2 dimensi. Nilai porositas terbesar pada 5 titik sampel tanah yaitu 38.26% dan nilai porositas terkecil yaitu 22.01%. Berikut hasil pengelompokan tingkat porositas 5 titik sampel tanah di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu.

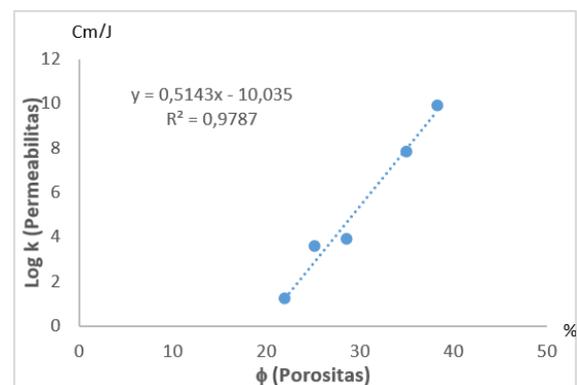
Analisa Tingkat Permeabilitas (k) Tanah

Gambar 12 merupakan kontur tingkat permeabilitas tanah di kawasan lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu. Nilai permeabilitas tanah maksimum pada 5 titik

sampel yaitu 9.93 cm/jam dan permeabilitas tanah minimum yaitu 1.22 cm/jam.

Hubungan Empiris Permeabilitas (k) dan porositas (ϕ)

Hubungan empiris permeabilitas dan porositas berdasarkan 5 sampel tanah dilakukan setelah data dari pengukuran permeabilitas dan porositas yang didapatkan di *input* dalam bentuk data kemudian dianalisis dengan uji kolerasi menggunakan *Microsoft Excel* dan diolah dengan regresi linier sehingga diperoleh persamaan linear $y = 0,5143x - 10,035$ dengan $R^2 = 0,9787$ jadi $y = \log k$ dimana (y) adalah permeabilitas dan (x) adalah porositas, dalam bentuk persamaan dapat juga ditulis $\log k = 0,5143x - 10,035$.



Gambar 13. Grafik hubungan empiris permeabilitas dan porositas di lahan pertanian palawija Kelurahan Maharatu.

Nilai $R = 0,9787$ menunjukkan hubungan yang kuat antara log permeabilitas dan porositas pada sampel tanah karena mendekati $R = 1$. Gambar 13 menunjukkan hubungan permeabilitas dan porositas berbanding lurus, semakin besar permeabilitas maka nilai porositas juga akan meningkat.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menentukan kualitas air bawah tanah menggunakan parameter PH bernilai 3,86, BOD bernilai 3 mg/L, COD bernilai 17 mg/L, TDS bernilai 201 mg/L, Kekerusan bernilai 0,93 NTU, E.Coli bernilai 0, Besi (Fe) bernilai 0,0134 mg/L, Mangan

(Mn) bernilai 0,0308 mg/L, Timbal (Pb) bernilai <0,0017 mg/L. Hasil uji memperlihatkan bahwa seluruh parameter dalam keadaan baik berdasarkan standart baku mutu Menkes No.82 Tahun 2001, namun nilai pH pada sampel tidak sesuai dengan standart baku mutu yang telah ditetapkan sehingga air tergolong tidak layak untuk di konsumsi. Sifat karakteristik tanah berdasarkan porositas memperlihatkan hasil pada Tabel 2 mengindikasikan bahwa sampel tertinggi memiliki nilai porositas berada pada titik sampel 2 yaitu sebesar 38,26 % dan hasil permeabilitas tanah tercepat yaitu berada pada titik sampel 2 yaitu 9,93 cm/jam. Hal yang mempengaruhi porositas tanah adalah kandungan bahan organik, tanah yang berada diwilayah tersebut merupakan tanah yang banyak mengandung bahan organik tinggi baik. Semakin tinggi kandungan bahan organik maka porositas tanah semakin baik.

REFERENSI

- Ziliwu, Y. (2010). Peranan Konstruksi Pelindung Tebing dan Dasar Sungai pada Perbaikan Alur Sungai. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, *7*(11).
- Fitriani, R., Muhammad, J., & Rini, A. S. (2020). Investigation of the Distribution of Aquifers and Groundwater Quality in the Village of Rimbo Panjang, Kampar District. *Science, Technology & Communication Journal*, *1*(1), 8–15.
- Firdahlia, F. & Muhammad, J. (2021). Menentukan Kualitas Air Bawah Tanah Disekitar Spbu Rimbo Panjang Kampar Dengan Menggunakan Metode Geolistrik Dan Geokimia. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *18*(2), 93–98.
- Dian, C. P., & Harini, R. (2016). Valuasi Ekonomi Kebutuhan Air di Kecamatan Semanding Kabupaten Tuban dalam Upaya Mereduksi Dampak Kekeringan. *Jurnal Bumi Indonesia*, *5*(4).
- Febrianti, A., Hamdi, M., & Juandi, M. (2021). Analysis of Non-Destructive Testing Ultrasonic Signal for Detection of Defective Materials Based on the Simulink Matlab Mathematica Computation Method. *Science, Technology & Communication Journal*, *1*(2), 46–58.
- Iriani, L. G. (2014). *Analisis Kualitas Air Tanah Bebas di Sekitar TPA Banyuroto Desa Banyuroto Kecamatan Nanggulan Kabupaten Kulon Progo Yogyakarta* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Pertiwi, M., Muhammad, J., Farma, R., & Saktioto, S. (2020). Analysis of Shallow Well Depth Prediction: A Study of Temporal Variation of GRACE Satellite Data in Tampan District-Pekanbaru, Indonesia. *Science, Technology & Communication Journal*, *1*(1), 27–36.
- Wibawa, I. G. N. A., & Luthfi, O. M. (2017). Kualitas air pada ekosistem terumbu karang di Selat Sempu, Sendang Biru, Malang. *Jurnal Segara*, *13*(1).
- Muhammad, J. (2021). Improving Homogenous Chamber Temperature of Biomass Dryer by Automatic Air Controlling System. *Science, Technology & Communication Journal*, *1*(3), 92–96.
- Kurnia, D., Hamdi, M., & Juandi, M. (2021). Modeling of Terahertz Radiation Absorption Temperature Distribution in Biological Tissue of a Cattle using Simulink-Matlab Model. *Science, Technology & Communication Journal*, *1*(2), 37–45.



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

PENGARUH UKURAN BOLA *MILLING* TERHADAP NILAI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN DISTRIBUSI UKURAN NANOPARTIKEL MAGNETIK DISINTESIS DARI PASIR PANTAI SUNGAI SUCI BENGKULU

Nindy Daviny*, Erwin

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

*E-mail korespondensi: nindy.daviny0219@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Research on the magnetic susceptibility and size distribution of magnetic nanoparticles of beach sand Sungai Suci Bengkulu has been done. The samples were synthesized using ball milling. Iron oxide and non-iron oxide particles of ball milling products were separated using Neodymium Iron Boron (NdFeB) magnets. Magnetic induction measurement on ball milling products has been carried out using Pasco magnetic probes. Product of NdFeB was milled for 60 hours using milling ball combination of 0.5, 0.7 and 1.5 cm in diameter and the product is called BM I product. This product was divided into three parts called BM1A, BM1B and BM1C then milled separately for 40 hours using milling balls with diameter of 0.5, 0.7, 1.5 cm, respectively. The products of this ball milling are called BM2A, BM2B, BM2C. The results show that magnetic susceptibility of BM II products increases with increasing milling ball size that is 9215.48×10^{-5} , 10097.64×10^{-5} and 11056.86×10^{-5} for milling ball size of 0.5, 0.7 and 1.5 cm, respectively. The particle size distributions of the samples were determined using the Particle Size Analyzer (PSA). The results show that the distribution of particle size at a percentage of 10% is 0,40 μm and 1,30 μm for BM2A and BM2C, respectively.

Keywords: Natural Sands, Ball Milling, Magnetic Suceptibility, Particle Size.

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang suseptibilitas magnetik dan distribusi ukuran nanopartikel magnetik pasir pantai Sungai Suci Bengkulu. Sampel disintesis menggunakan ball milling. Partikel oksida besi dan non-besi oksida dari produk ball milling dipisahkan menggunakan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB). Pengukuran induksi magnetik pada produk ball milling telah dilakukan dengan menggunakan probe magnetik Pasco. Produk NdFeB digiling selama 60 jam menggunakan kombinasi bola milling dengan diameter 0,5, 0,7 dan 1,5 cm dan produk tersebut dinamakan produk BM I. Produk ini dibagi menjadi tiga bagian yang disebut BM1A, BM1B, BM1C kemudian digiling secara terpisah selama 40 jam masing-masing menggunakan bola milling berdiameter 0,5, 0,7 dan 1,5 cm. Produk dari ball milling ini dinamakan BM2A, BM2B dan BM2C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik produk BM II meningkat dengan bertambahnya ukuran bola milling yaitu $9215,48 \times 10^{-5}$, $10097,64 \times 10^{-5}$ and $11056,86 \times 10^{-5}$ untuk ukuran milling ball masing-masing 0.5, 0.7 dan 1.5 cm. Distribusi ukuran partikel dari sampel ditentukan dengan menggunakan Particle Size Analyzer (PSA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebaran ukuran partikel pada persentase 10% berturut-turut adalah 0,40 μm dan 1,30 μm untuk BM2A dan BM2C.

Kata kunci: Pasir Alam, Ball Milling, Suseptibilitas Magnetik, Ukuran Partikel.

Diterima 29-07-2021 | Disetujui 14-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Pasir alam memiliki kandungan mineral oksida besi seperti hematite, magnetite dan

maghemite [1-3]. Aplikasi sintesis oksida besi berperan besar di nanoteknologi, biomedis, biokompabilitas dan lainnya [4, 5]. Sintesis nanopartikel magnetik yang dilakukan oleh

peneliti sebelumnya memiliki banyak jenis seperti metode sol gel, metode *coprecipitation*, metode hydrothermal, metode *microwave* dan metode *ball milling*. Metode *ball milling* kerap dipilih oleh banyak peneliti karena aplikasinya yang sederhana, efektif, ramah lingkungan dan hemat dari segi biaya [6, 7]. Hasil sintesis nanopartikel magnetik yaitu produk BM2A, BM2B, BM2C diuji nilai induksi magnetiknya menggunakan *probe pasco* bertujuan untuk menentukan suseptibilitas magnetiknya. Distribusi ukuran nanopartikel magnetik dari produk *ball milling* menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) pada persentase 10% populasi data.

TINJAUAN PUSTAKA

Suseptibilitas magnetik material merupakan kemampuan suatu bahan untuk menjadi bahan magnet terhadap pengaruh medan magnet eksternal. Pencarian nilai suseptibilitas magnetik dapat menggunakan Persaman berikut [8, 9].

$$\chi_m = \frac{B_T - B_0}{B_0} \quad (1)$$

Pencarian ukuran partikel dapat dilakukan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA). Data yang didapatkan berupa grafik histogram plot antara nilai kumulatif Vs ukuran diameter partikel [10].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen dengan metode *ball milling* untuk menghasilkan nanopartikel magnetik.

Pemisahan Sampel

Pemisahan sampel pasir dilakukan menggunakan magnet *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Kemagnetan Jurusan Fisika. Hasil dari pemisahan ini disebut sebagai Produk NdFeB.

Ball Milling

Ball Milling dilakukan sebanyak dua proses. Proses *ball milling* pertama menggunakan kombinasi bola 0.5 cm, 0.7 cm dan 1.5 cm yang dimasukkan kedalam tabung yang sama dengan waktu *milling* selama 60 jam. Hasil *ball milling* pertama ini disebut sebagai produk BM 1. Produk BM 1 dibagi menjadi tiga yaitu Produk BM1A, BM1B dan BM1C digiling secara terpisah selama 40 jam menggunakan variasi bola *milling* berdiameter 0.5 cm, 0.7 cm dan 1.5 cm. Hasil proses *ball milling* kedua disebut sebagai produk BM2A, BM2B dan BM2C.

Penentuan Suseptibilitas Magnetik

Produk BM2A, BM2B dan BM2C diukur nilai induksi magnetik tanpa inti (B_0) dan dengan inti (B_T) menggunakan *probe pasco* dan solenoid 2500 lilitan. Arus listrik yang diberikan adalah 200, 400, 600, 800, 1000 mA. Penentuan nilai suseptibilitas magnetik menggunakan persamaan (1).

Uji Ukuran Partikel

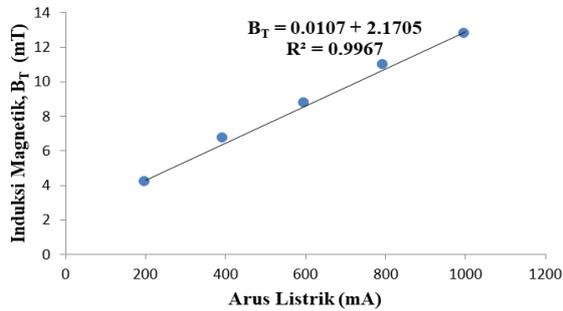
Distribusi ukuran nanopartikel magnetik pada produk BM2A dan BM2C diketahui melalui karakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* yang dilakukan di LIPI Serpong. Data yang didapatkan berupa parameter grafik histogram dan persentase populasi data diameter ukuran partikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

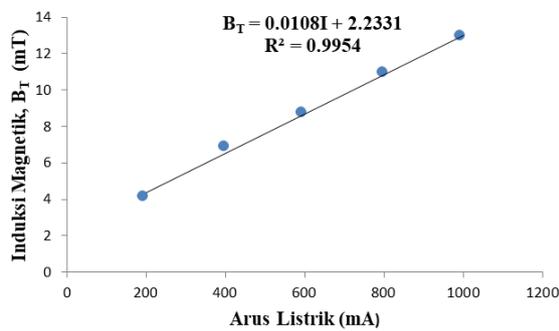
Data Hasil Suseptibilitas Magnetik

Hasil pengukuran induksi magnetik yang diukur yaitu pada solenoid tanpa inti (B_0) dan solenoid dengan inti (B_T). Nilai induksi magnetik tanpa inti pada arus 1000 mA adalah 11,676 mT. Produk BM2A, BM2B dan BM2C diukur nilai induksi magnetiknya pada arus 200, 400, 600, 800, 1000 mA seperti pada Gambar 1-3. Produk BM2A, BM2B dan BM2C pada arus listrik 1000 mA masing-masing memiliki

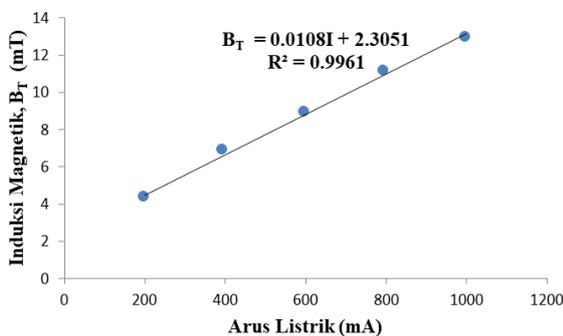
nilai induksi magnetik 12,752 mT, 12,855 mT dan 12,967 mT. Hasil perhitungan suseptibilitas magnetiknya melalui Persamaan 1 pada produk BM2A, BM2B dan BM2C masing-masing adalah $9215,48 \times 10^{-5}$, $10097,64 \times 10^{-5}$ dan $11056,86 \times 10^{-5}$.



Gambar 1. Grafik induksi magnetik Vs arus listrik pada produk BM2A.



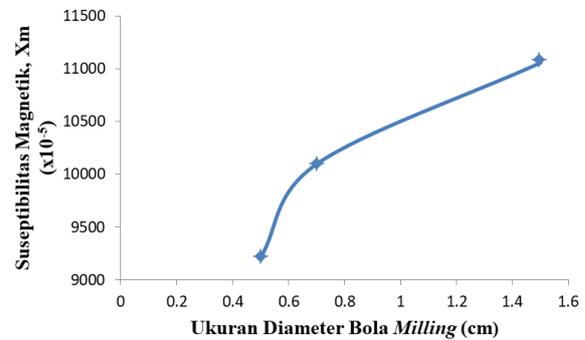
Gambar 2. Grafik induksi magnetik Vs arus listrik pada produk BM2B.



Gambar 3. Grafik induksi magnetik Vs arus listrik pada produk BM2C.

Nilai suseptibilitas magnetik pada produk BM2A, BM2B dan BM2C terdapat pada interval oksida besi. Hubungan suseptibilitas magnetik terhadap ukuran diameter bola *milling* adalah bola *milling* yang berdiameter 1.5 cm pada produk BM2C lebih besar nilainya

dibandingkan bola *milling* yang berdiameter 0.5 dan 0.7 cm pada produk BM2A dan BM2B. Hal ini karena bola *milling* berdiameter 1.5 cm mampu memberikan momentum yang besar sehingga produk yang dihasilkan jauh lebih murni dibandingkan bola berdiameter 0.5 dan 0.7 cm.



Gambar 4. Grafik Suseptibilitas magnetik Vs ukuran diameter bola *milling*.

Data Hasil Pengukuran *Particle Size Analyzer* (PSA)

Distribusi ukuran partikel pada produk BM2A dan BM2C dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) tipe *CILAS 1190 Liquid* di LIPI Serpong. Distribusi ukuran yang didapatkan berdasarkan pada persentase 10% populasi data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Ukuran Partikel pada Persentase 10%.

No.	Produk BM 2	Ukuran Partikel (μm)
1.	Produk BM2A	0.40
2.	Produk BM2C	1.30

Tabel 1 memperlihatkan bahwa ukuran partikel meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran diameter bola *milling* yang digunakan. Distribusi ukuran partikel dari karakterisasi PSA melalui penggunaan bola *milling* 0.5 cm dan 1.5 cm masing-masing menghasilkan 0.40 μm dan 1.30 μm pada persentase data 10%.

Bola *milling* berdiameter lebih besar lebih mampu menghasilkan momentum yang lebih besar didalam tabung *milling* sehingga sampel

pasir yang didapatkan jauh lebih kecil dan halus. Hasil sintesis pasir pantai Sungai Suci Bengkulu mengalami peningkatan ukuran partikel seiring dengan bertambahnya ukuran diameter bola *milling*. Hal ini terjadi karena terdapat penggumpalan pada produk BM2A dan BM2C yang menyebabkan ukuran partikel semakin membesar. Penggumpalan ini terjadi karena kontaminasi residu seperti non-oksida besi yang menyebabkan terjadinya gaya tarik-menarik antar partikel sejenis dan tidak sejenis.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian maka dapat diambil kesimpulan yaitu suseptibilitas magnetik produk BM2A, BM2B dan BM2C berada pada interval oksida besi. Suseptibilitas magnetik mengalami peningkatan seiring bertambahnya ukuran diameter bola *milling* 0.5, 0.7 dan 1.5 cm masing-masing yaitu $9215,48 \times 10^{-5}$, $10097,64 \times 10^{-5}$ dan $11056,86 \times 10^{-5}$. Distribusi ukuran partikel mengalami peningkatan seiring bertambahnya ukuran diameter bola *milling* 0.5 dan 1.5 cm masing-masing yaitu 0.40 dan 1.30 μm pada persentase 10% populasi data.

REFERENSI

- Ahmadzadeh, M., Romero, C., & McCloy, J. (2018). Magnetic analysis of commercial hematite, magnetite, and their mixtures. *AIP Advances*, **8**(5), 056807.
- Royka, A. & Amiruddin, E. (2021). Penentuan Nilai Suseptibilitas Dan Ukuran Partikel Magnetik Pasir Alam Logas Kabupaten Kuantan Singingi Menggunakan Variasi Ukuran Ball Milling. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 42–47.
- Wulandhari, A. & Erwin, E. (2020). penentuan sifat magnetik dan morfologi partikel magnetik pasir besi pantai arta pariaman sumatera barat. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 14–18.
- Ardelean, I. L., Stoencea, L. B. N., Fikai, D., Fikai, A., Trusca, R., Vasile, B. S., ... & Andronescu, E. (2017). Development of stabilized magnetite nanoparticles for medical applications. *Journal of Nanomaterials*, **2017**.
- Sihombing, M. & Amiruddin, E. (2020). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₂O₃ Dari Pasir Alam Desa Logas Kabupaten Kuantan Singingi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(2), 68–73.
- Vasamsetti, S., Dumpala, L., & Subbarao, V. V. (2018). Optimization of Milling Parameters of Planetary Ball Mill for Synthesizing Nano Particles. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, **9**(11), 1579–1589.
- Puspita, P. V. & Erwin, E. (2020). Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik Pasir Pantai Gandorah Pariaman Sumatera Barat. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 35–40.
- Mardaneh, J., & Soltan-Dallal, M. M. (2014). Isolation and identification of *E. cowanii* from powdered infant formula in NICU and determination of antimicrobial susceptibility of isolates. *Iranian journal of pediatrics*, **24**(3), 261.
- Novalia, I. & Erwin, E. (2020). Kajian Suseptibilitas Magnetik Pasir Besi Pantai Arta Sebagai Fungsi Jarak Dari Tepi Laut. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 19–23.
- Khanam, T. A. S. L. I. M. A., Syuhada Wan Ata, W. N., & Rashedi, A. H. M. A. D. (2016). Particle size measurement in waste water influent and effluent using particle size analyzer and quantitative image analysis technique. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1133, pp. 571-575). Trans Tech Publications Ltd.



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

PERANCANGAN SISTEM PEMANTAUAN PARAMETER FISIS AIR BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT) MENGUNAKAN RASPBERRY PI

Mardian Peslinof^{1,*}, M. Ficky Afrianto¹, Yoza Fendriani¹, Benedika Ferdian Hutabarat²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia

²Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Indonesia

*E-mail korespondensi: mardianpeslinof@unja.ac.id

ABSTRACT

In this study, a water physical parameter monitoring system based on the Internet of Things (IoT) has been designed using a Raspberry Pi. Parameters monitored in this system are pH, water temperature, water turbidity, and water level. These parameters are essential parameters to determine the level of water quality and quantity. The sensors used are temperature sensor type DS18B20, turbidity sensor type SEN0189, water pH sensor type SEN0161, and ultrasonic sensor HCSR04 trigger for water level. The software system is a program that is embedded in the Raspberry Pi microprocessor. The working mechanism of the monitoring system is that the system detects the physical parameters of the sensors. The signal results from the sensors will be processed via the Raspberry Pi. The processed data is stored on a server that can be accessed via the web. The working mechanism of the monitoring system is that the system detects the physical parameters of the sensor, the signal results from the sensor will be processed via the Raspberry Pi, and the processed data is stored on a server that can be accessed via the web. The sensor sensitivity levels obtained from observations of the system for parameters of pH, turbidity, temperature, and water level are 52.715 mV/pH, 0.0005 V/NTU, 0.0255 V/°C, and 0.0583 milliseconds/cm, respectively. The accuracy obtained in the system test is an average of 96.86% to 99.9%. The precision of the system ranges from 0.94 to 0.99. From the accuracy and precision test results, the water physical parameter monitoring system can work well.

Keywords: Turbidity, pH, Water Temperature, Water Level, Sensor, Internet of Things (IoT), Raspberry Pi, Monitoring System.

ABSTRAK

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem pemantauan parameter fisis air berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Raspberry Pi. Parameter yang dipantau pada sistem ini yaitu pH, temperatur air, kekeruhan air, dan ketinggian air. Parameter yang dipantau merupakan parameter yang penting untuk menentukan tingkat kualitas dan kuantitas air. Sensor yang digunakan adalah sensor suhu tipe DS18B20, sensor kekeruhan tipe SEN0189, sensor pH air tipe SEN0161, dan sensor ultrasonic HCSR04 trigger untuk ketinggian air. Perangkat lunak sistem yaitu program yang ditanamkan pada mikroprosesor Raspberry Pi. Mekanisme kerja dari sistem pemantauan yaitu sistem akan mendeteksi parameter fisis dari sensor, hasil sinyal dari sensor akan diproses melalui Raspberry Pi, dan data yang telah diproses tersimpan di server yang bisa diakses pada web. Tingkat sensitifitas sensor yang didapatkan dari observasi terhadap sistem untuk parameter pH, kekeruhan, temperatur, dan ketinggian air masing-masing adalah 52,715 mV/pH, 0,0005 V/NTU, 0,0255 V/°C, dan 0,0583 milidetik/cm. Persentase ketepatan rata-rata yang didapatkan pada pengujian sistem adalah berkisar antara 96,86% sampai 99,9%. Ketelitian pada sistem berkisar antara 0,94 sampai dengan 0,99. Dari hasil pengujian ketepatan dan ketelitian maka sistem pemantauan parameter fisis air dapat bekerja dengan baik. Penelitian ini harapannya dapat menghasilkan sistem pemantauan parameter fisis pada air yang berfungsi membantu pihak terkait untuk mengidentifikasi kualitas dan kuantitas air dengan mudah, efisien, dan akurat.

Kata kunci: Kekeruhan, pH Air, Temperatur Air, Ketinggian Air, Sensor, *Internet of Things* (IoT), Raspberry Pi, Sistem Pemantauan.

Diterima 20-10-2021 | Disetujui 15-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi makhluk hidup. Kebutuhan air bersih sangat vital untuk memenuhi kebutuhan air dalam kegiatan sehari-hari seperti mandi, mencuci, memasak, menyiram tanaman dan lain sebagainya. Air bersih secara fisika bisa diartikan bahwa air yang tidak memiliki warna, tidak berasa, dan tidak berbau pada kondisi standar yaitu tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273°K (0°C). Sumber air bersih untuk kebutuhan hidup sehari-hari secara umum harus memenuhi standar kuantitas dan kualitas [1-3]. Kualitas air menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, terdiri dari tiga elemen dasar yaitu: a. Akses dan kuantitas air bersih, terdiri dari kecukupan kebutuhan air untuk kebutuhan hidup sehari-hari dan kelancaran suplai air untuk kebutuhan hidup sehari-hari dari PDAM b. Kualitas air bersih, terdiri dari bau, warna, kekeruhan dan rasa c. Sarana atau fasilitas penyediaan air bersih.

Pada kuantitas air dan kualitas air terdapat parameter-parameter fisis yang digunakan sebagai indikator dalam gambaran hidrologi. Parameter fisis merupakan bagian dari sifat fisis air dimana sifat fisis air merupakan syarat yang menggambarkan mutu atau kualitas dari air. Secara fisik air bersih harus jernih, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa (tawar). Warna sebagai indikator tidak berasa pada air bersih tidak ada rasa asin, manis, pahit, asam dan sebagainya. Bau yang bisa terdapat pada air adalah bau busuk, amis, dan sebagainya. Suhu air sebaiknya sama dengan suhu udara atau kurang lebih 25°C. Sedangkan untuk jernih atau tidaknya air dikarenakan adanya butiran-butiran koloid dari bahan tanah liat, dimana semakin banyak mengandung koloid maka air semakin keruh. Sifat fisis air sebenarnya dapat dilihat secara visual menggunakan panca indera. Hasil dari penggunaan panca indera tersebut bersifat kualitatif maka cara ini dapat digunakan untuk menganalisis air secara sederhana karena sifat-sifat air akan saling berkaitan [4, 5].

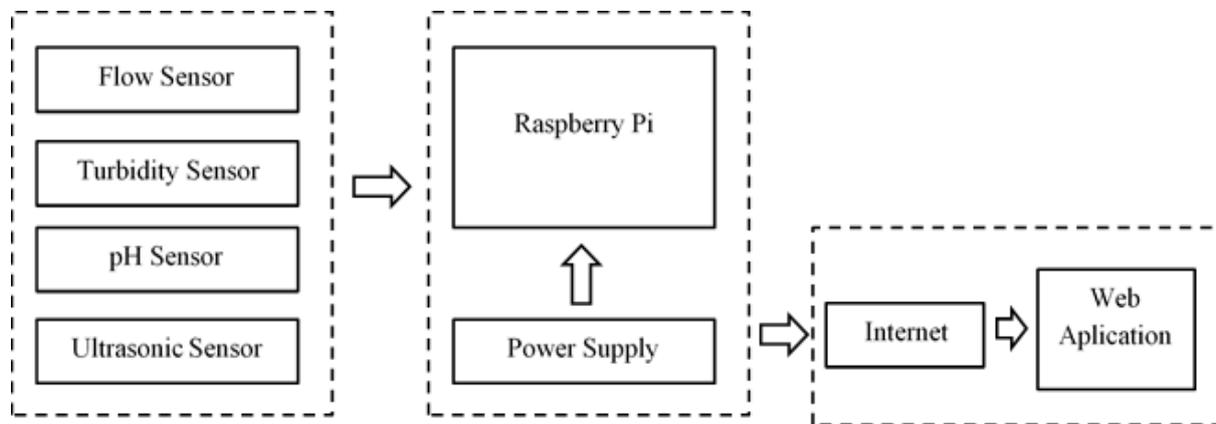
Pemantauan kualitas air terutama air sungai telah banyak dilakukan dengan menggunakan instrumen atau alat ukur. Namun pemantauan yang dilakukan pada umumnya adalah dengan mengambil langsung data ke lapangan pada periode tertentu. Belum begitu banyak pemantauan yang dilakukan secara kontinu. Beberapa penelitian yang dilakukan untuk pemantauan secara jauh tetapi masih terbatas waktu monitoring dan parameter yang dipantaunya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Hendrawati, dkk [6], yaitu sistem pemantauan kualitas air sungai dikawasan industri berbasis WSN dan IoT. Hasil dari penelitian didapatkan sistem hanya mengukur kualitas sungai dan jangka waktu melakukan monitoring masih maksimal 3 jam. Alat yang dibuat masih belum fleksibel dan disarankan untuk menambah indikator. Maka pada penelitian ini akan dirancang satu sistem instrumentasi yang dapat memantau beberapa parameter fisis air yang dapat dipantau secara kontinu dari jarak jauh, dimana data hasil pemantauan parameter fisis air ini bisa menjadi acuan untuk mendeteksi kualitas air.

Penelitian ini akan berfokus untuk merancang suatu sistem yang dapat mendeteksi parameter fisis pada kualitas dan kuantitas air, dimana data nya tersimpan dan dapat dilakukan dari jarak jauh dengan memanfaatkan *Internet of Things* (IoT). IoT adalah ketika kita menyambungkan sesuatu (things) yang tidak dioperasikan oleh manusia, ke internet [7, 8]. Parameter fisis yang dideteksi oleh sistem untuk kuantitas air yaitu ketinggian air, sedangkan untuk kualitas air untuk parameter fisis yang dideteksi yaitu pH air, kekeruhan air, dan temperatur air. Dengan sistem ini diharapkan dapat memberikan data untuk evaluasi tentang kualitas air.

Penelitian ini ingin menghadirkan inovasi dengan merancang suatu sistem pemantauan yang dapat menyimpan data parameter fisis dari air dan dapat dipantau dari jarak jauh dengan menerapkan sistem *Internet of Things* (IoT). Pemroses sinyal yang digunakan pada sistem IoT di penelitian ini yaitu Raspberry Pi. Raspberry Pi adalah komputer mikro berukuran

seperti kartu ATM yang dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation, Inggris [9]. Sistem ini akan sangat membantu untuk menganalisa kualitas air karena data yang tersimpan dan bisa dipantau secara jarak jauh. Penelitian ini menggunakan sensor sesuai dengan parameter fisis yang akan diukur. Sensor yang digunakan harus memiliki performa yang baik, seperti

keakuratan, sensitivitas, dan ketahanan sensor dari noise dan getaran-getaran yang terjadi. Untuk menyelidiki apakah sensor yang digunakan memiliki performa yang bagus dan sistem pemantauan yang dirancang baik, maka dilakukan observasi dan pengujian terhadap sistem pemantauan air yang dirancang dan dibuat.



Gambar 1. Skema rancangan perangkat keras sistem.

METODE PENELITIAN

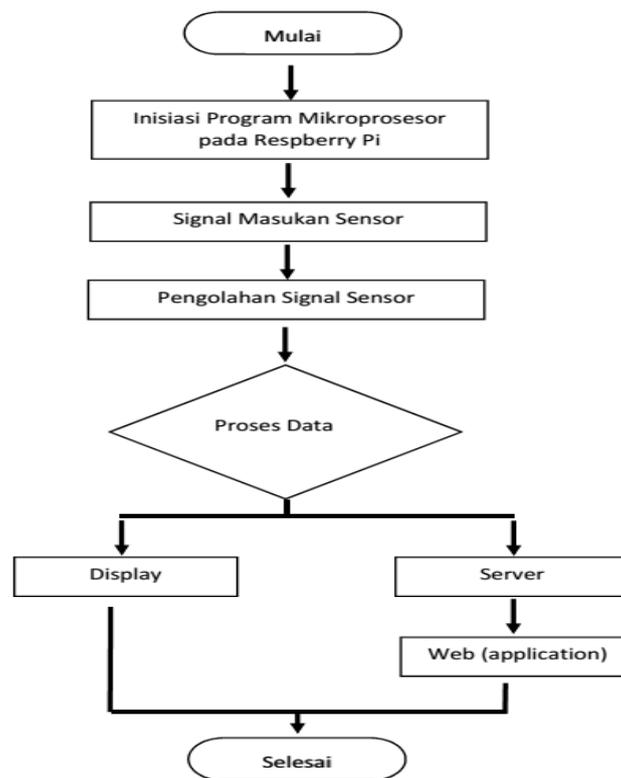
Penelitian sistem pemantauan parameter fisis air dengan sistem *Internet of Things* (IoT) terdiri dari beberapa tahap kegiatan yang dilakukan secara berurutan. Tahapan kegiatan pada penelitian ini yaitu survey pendahuluan, perancangan sistem pemantauan, perancangan perangkat keras sistem, perancangan perangkat lunak sistem, dan observasi terhadap sensor yang digunakan serta pengujian pada sistem. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem yaitu ketelitian dan ketepatan dari sistem yang dibuat. Perangkat keras pada sistem yaitu rangkaian komponen elektronika seperti sensor, Raspberry Pi, dan komponen elektronika lainnya yang dirancang dalam menjalankan sistem. Setiap komponen elektronika dirakit dan dirangkai sesuai dengan rancangan yang diinginkan. Skema rancangan perangkat keras sistem seperti Gambar 1 yang memperlihatkan skema perangkat keras sistem. Sampel akan dilakukan pengukuran parameter fisis sesuai dengan sensor yang ada, sinyal keluaran sensor terhadap sampel akan di proses dengan Raspberry Pi. Hasil data dari

pemantauan akan tersimpan di aplikasi web. Sensor yang digunakan sesuai dengan parameter fisis yang akan dilakukan pemantauan yaitu sensor suhu tipe DS18B20, sensor kekeruhan tipe SEN0189, sensor pH air tipe SEN0161, dan sensor ultrasonic HCSR04 trigger untuk ketinggian air.

Secara umum mekanisme kerja dari sistem pemantauan yang dirancang yaitu sistem akan mendeteksi parameter fisis dari sensor, dan hasil sinyal dari sensor akan diproses melalui mikroprosesor *Raspberry Pi*. Alur pikir dari perangkat lunak pada sistem ini tergambar pada Gambar 2 yang menjelaskan alur sistem secara keseluruhan. Sistem mengambil data - data informasi dari parameter fisis air yang dideteksi oleh sensor. Data - data informasi yang dideteksi oleh sensor tersebut masih dalam bentuk digital ataupun data analog. Masukan data dari sensor akan diproses dan diubah oleh mikroprosesor sesuai dengan keperluan dan kebutuhan data monitoring parameter fisis air, selanjutnya informasi data tersebut akan dikirimkan oleh mikroprosesor ke server melalui jaringan internet yang disediakan dan akan tersimpan didalam server tersebut. Informasi

data yang tersimpan selanjutnya dapat diakses melalui web atau aplikasi yang disediakan. Sistem dirancang pada mikroprosesor

Raspberry Pi yang menggunakan perangkat lunak berupa software Python.



Gambar 2. Alur sistem pemantauan parameter fisis air.

Pembuatan sistem pemantauan ini terdiri dari perakitan perangkat keras dan pembuatan perangkat lunak dari sistem. Perangkat keras alat ukur terdiri dari perancangan dan perakitan rangkaian komponen elektronika. Perancangan dan perakitan rangkaian elektronika adalah merakit semua komponen sesuai dengan skema rangkaian yang dibuat. Komponen ini secara

garis besar terdiri dari sensor, Raspberry Pi dan komponen elektronika lainnya. Seluruh komponen ini dirangkai sesuai dengan skema rangkaian, kemudian baru dilakukan pengujian terhadap keluaran masing-masing komponen. Hasil dari perancangan sistem pemantauan ini seperti Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan sistem: (a) perangkat keras sistem dan (b) pengujian sistem.

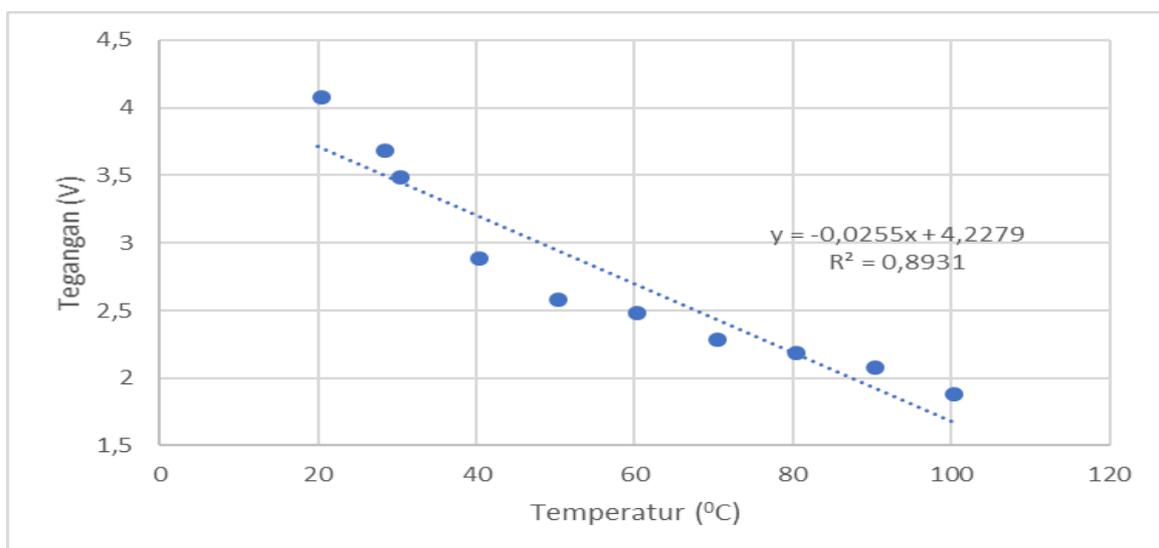
Gambar 3 (a) menggambarkan sistem pemantauan kualitas air yang telah di rancang dan dibuat. Sistem pemantauan parameter fisis air dirancang untuk menentukan parameter fisis air berdasarkan parameter yang dideteksi oleh sensor, dan data hasil sensor ditampilkan pada aplikasi web. Gambar 3(b) memperlihatkan proses pengujian dari sistem. Pengujian sistem bertujuan untuk observasi komponen pada sistem dan pengujian untuk menentukan ketepatan dan ketelitian dari sistem.

Observasi pada sistem dilakukan untuk menganalisis keluaran setiap sensor yang terdapat pada sistem. Observasi ini bertujuan untuk menguji apakah semua komponen telah bekerja sesuai dengan skema dan blok desain. Pada observasi ini, keluaran pada tampilan web pada sistem pemantauan telah memperlihatkan parameter yang akan dilakukan pemantauan, sesuai dengan sensor yang dipakai. Pengujian untuk menentukan ketelitian dan ketepatan dari sistem yang dirancang bertujuan untuk melihat karakteristik dari sistem yang dirancang. Ketepatan dari sistem merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya. Nilai

ketepatan sistem didapatkan dengan cara membandingkan hasil dari alat ukur yang dibuat dengan hasil alat ukur standar. Ketelitian yaitu tingkat kesamaan data yang dilakukan secara berulang. Nilai ketelitian didapatkan dari pengukuran yang dilakukan dengan alat ukur yang dirancang secara berulang-ulang [10].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan yang dibahas terkait kepada hasil pengujian yang dilakukan pada sistem. Pengujian yang dilakukan yaitu observasi terhadap keluaran sensor yang digunakan dan menentukan ketepatan dan ketelitian dari sistem. Observasi terhadap keluaran sensor yaitu menyelidiki fungsi transfer dan sensitivitas dari sensor. Keluaran dari sensor akan dikalibrasi dengan alat ukur standar, dari hasil kalibrasi tersebut akan didapatkan fungsi transfer dan sensitivitas sensor yang dipakai pada sistem. Tiap parameter uji diselidiki karakteristiknya. Sensor yang dipakai sesuai dengan parameter fisis yang akan dilakukan pemantauan, dimana parameter fisis tersebut adalah berupa suhu air, ketinggian air, kekeruhan air, dan pH air.



Gambar 4. Grafik hubungan temperatur air dan tegangan keluaran sensor.

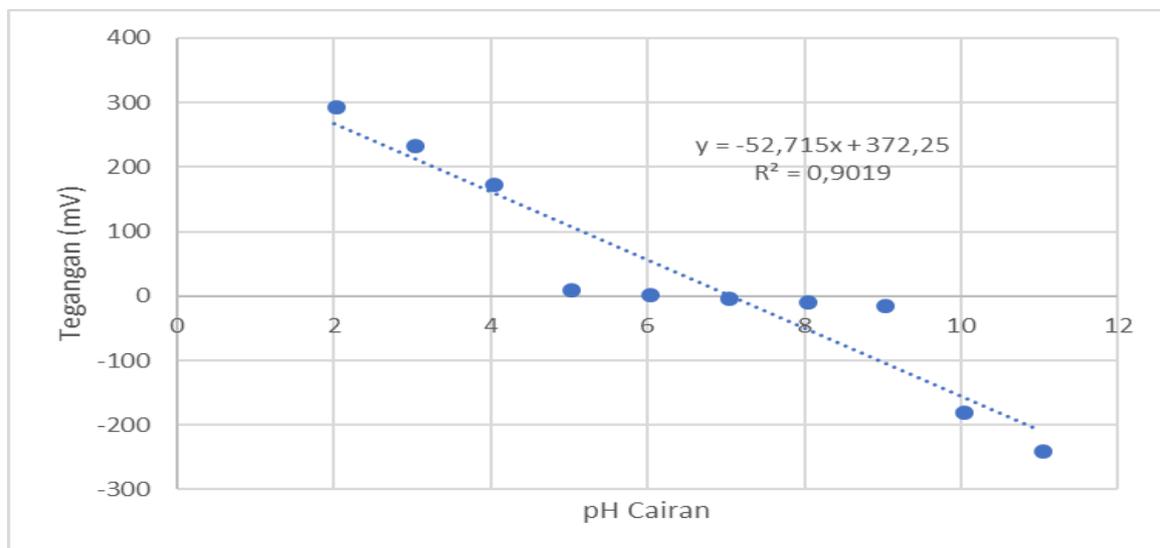
Suhu merupakan parameter fisis air yang berpengaruh terhadap kualitas air. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu air adalah sensor suhu tipe DS18B20. Pengujian sensor

suhu tipe DS18B20 sebagai pendeteksi suhu air dilakukan dengan membandingkan nilai temperatur yang terukur pada termometer terhadap tegangan yang dihasilkan oleh sensor

suhu tipe DS18B20. Dari sepuluh kali pengujian maka grafik hubungan antara temperatur air dengan tegangan yang dikeluarkan sensor suhu tipe DS18B20 seperti Gambar 4 yang menunjukkan hubungan antara temperatur air dengan tegangan keluaran sensor suhu tipe DS18B20, dari hubungan tersebut maka akan didapatkan fungsi transfer dari sensor. Fungsi transfer yang didapatkan menunjukkan bahwa sensitifitas sensor sebesar $-0,0255 \text{ V}^{\circ}\text{C}$ dan tegangan offset sebesar $4,2279 \text{ V}$. Sensitifitas sensor bernilai minus dikarenakan grafik yang menurun, grafik menurun ini disebabkan oleh temperatur berbanding terbalik dengan tegangan, semakin besar temperatur maka tegangan semakin kecil. Nilai regresi linier yang dihasilkan mendekati 1

yaitu sebesar 0,8931. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor baik sehingga dapat digunakan sebagai alat ukur suhu air.

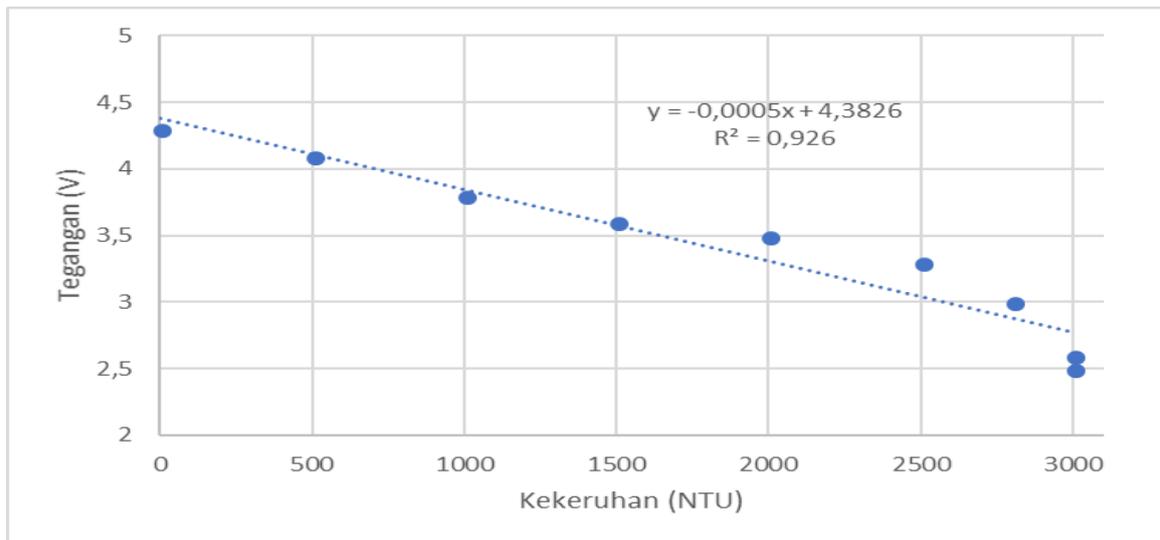
Salah satu parameter fisis air yang juga berpengaruh terhadap kualitas air adalah pH air. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi pH air adalah sensor pH tipe SEN0161. Pengujian sensor pH tipe SEN0161 sebagai pendeteksi pH air dilakukan dengan membandingkan nilai pH yang terukur pada pH meter terhadap tegangan yang dihasilkan oleh sensor pH tipe SEN0161. Dari sebelas kali pengujian maka Grafik hubungan antara pH cairan dengan tegangan yang dikeluarkan sensor suhu tipe DS18B20 seperti Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan pH cairan dan tegangan keluaran sensor.

Berdasarkan Gambar 5 fungsi transfer yang didapatkan menunjukkan bahwa sensitifitas sensor sebesar $-52,715 \text{ mV/pH}$ dan tegangan offset sebesar $372,25 \text{ mV}$. Sensitifitas sensor bernilai minus dikarenakan grafik yang menurun, grafik menurun ini disebabkan oleh pH berbanding terbalik dengan tegangan keluaran sensor, semakin besar pH maka tegangan semakin kecil. Nilai regresi linier yang dihasilkan mendekati 1 yaitu sebesar 0,9019. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor baik sebagai alat ukur pH air.

Kekeruhan merupakan parameter fisis air yang juga berpengaruh terhadap kualitas air. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi kekeruhan air adalah sensor kekeruhan tipe SEN0189. Pengujian sensor kekeruhan tipe SEN0189 sebagai pendeteksi kekeruhan air dilakukan dengan membandingkan nilai kekeruhan yang terukur pada Turbidity Meter terhadap tegangan yang dihasilkan oleh sensor kekeruhan tipe SEN0189. Dari sepuluh kali pengujian maka grafik hubungan antara kekeruhan air dengan tegangan yang dikeluarkan sensor seperti Gambar 6.



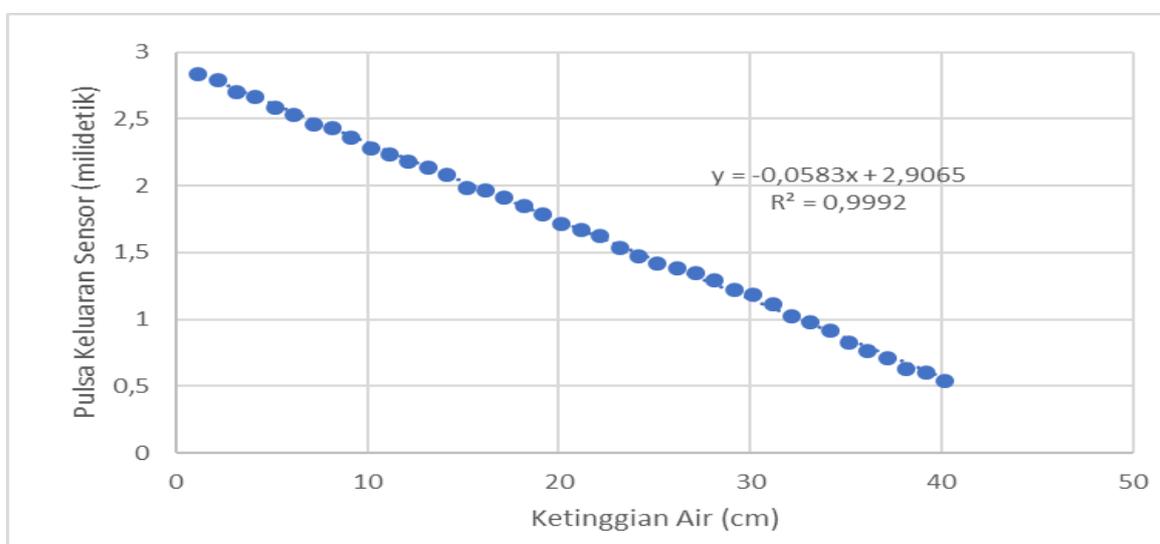
Gambar 6. Grafik Hubungan Kekeruhan Air dan Tegangan Keluaran Sensor

Berdasarkan Gambar 6 fungsi transfer yang didapatkan menunjukkan bahwa sensitifitas sensor sebesar $-0,0005 \text{ V/NTU}$ dan tegangan offset sebesar $4,3826 \text{ V}$. Berdasarkan Nilai regresi linier yang dihasilkan mendekati 1 yaitu sebesar $0,926$. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor sangat baik.

Ketinggian air merupakan parameter fisis air yang berpengaruh terhadap kuantitas air. Sensor yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian air adalah sensor ultrasonic HCSR04 trigger. Pengujian sensor ultrasonic sebagai pendeteksi ketinggian air dilakukan dengan membandingkan nilai ketinggian air yang

terukur pada Meteran terhadap pulsa keluaran sensor. Pulsa keluaran sensor dapat diketahui dengan menggunakan osiloskop. Dari pengujian yang dilakukan maka Grafik hubungan antara ketinggian air dengan pulsa keluaran sensor seperti Gambar 7.

Berdasarkan Gambar 7 fungsi transfer yang didapatkan menunjukkan bahwa sensitifitas sensor sebesar $-0,0583 \text{ milidetik/cm}$ dan tegangan offset sebesar $2,9065 \text{ milidetik}$. Berdasarkan nilai regresi linier yang dihasilkan mendekati 1 yaitu sebesar $0,9992$. Nilai regresi ini menunjukkan bahwa tingkat kelinieran sensor sangat baik.



Gambar 7. Hubungan antara Pulsa Keluaran Sensor dengan Ketinggian Air.

Penentuan ketepatan dan ketelitian dari sistem bertujuan untuk menentukan karakteristik dari sistem yang dibuat. Penentuan ketepatan dan ketelitian dari sistem dilakukan dengan pengukuran langsung terhadap parameter yang divariasikan, dan hasilnya membandingkan parameter yang terbaca pada

tampilan web dengan hasil alat ukur standar. Ketepatan dari sistem ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai pada alat ukur standar dengan nilai yang terlihat pada tampilan sistem. Data ketepatan dari sistem pemantau parameter fisis air seperti Tabel 1.

Tabel 1. Ketepatan Sistem Pemantauan Parameter Fisis Air

pH		Kekeruhan		Ketinggian		Temperatur					
Sistem	Alat Ukur Standar	Ketepatan	Sistem	Alat Ukur Standar	Ketepatan	Sistem	Alat Ukur Standar	Ketepatan			
	pH	%	NTU		%	cm	$^{\circ}\text{C}$	%			
7	6,9	99,98	50	50,3	99,99	5	5,6	99,88			
7	7,1	99,98	100	121	99,79	10	11,2	99,88			
5,6	5,8	99,96	150	162	99,92	16	16,8	99,95			
4,3	4,6	99,93	200	213	99,93	20	20,7	99,65			
4	4,3	99,92	250	268	99,92	22	23,1	99,95			
Rata-rata		96,95	Rata-rata		99,91	Rata-rata		96,86	Rata-rata		99,98

Dari tabel 1 didapatkan data ketepatan dari sistem. Dari data yang ada maka didapatkan kesalahan rata-rata dari sistem adalah berkisar antara 0,02% sampai 3,14%. Persentase ketepatan rata-rata yang didapatkan adalah berkisar antara 96,86% sampai 99,9%. Dari hasil persentase rata-rata tersebut maka sistem ini memiliki nilai ketepatan yang sangat baik.

Ketelitian dari sistem pengukuran ditentukan dengan melakukan pengukuran secara berulang. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali pada setiap parameter fisisnya. Data yang didapatkan

dari penyelidikan ketelitian sistem seperti Tabel 2.

Dari tabel 2 didapatkan data ketelitian dari sistem. Dari data yang ada maka didapatkan ketelitian sistem adalah berkisar 0,94 sampai dengan 0,99. Dari hasil ketelitian yang didapat maka sistem ini memiliki nilai ketelitian yang sangat baik. Ketelitian pada pengukuran ini setiap pengukuran yang diuji hasilnya kurang dari satu. Hal ini disebabkan faktor dari lingkungan dimana suhu, tegangan, dan gerakan yang tidak stabil.

Tabel 2. Ketelitian Sistem Pemantauan Parameter Fisis Air

Parameter Fisis	Nilai Parameter Fisis	Pengukuran Berulang ke-										Rata-rata	Ketelitian
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	30	30	30	31	30	29	31	30	29	29	30	29,9	0,9967
Kekeruhan (NTU)	500	500	510	506	502	512	503	506	501	500	503	504,3	0,9914
pH	7	7	7	6	7	7	6	6	7	6	7	7,3	0,9571
Ketinggian Air (cm)	5	5,3	5,3	5,2	5,2	5,4	5,2	5,3	5,2	5,2	5,2	5,28	0,944

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil observasi terhadap keluaran sensor yang digunakan maka tingkat sensitifitas sensor yang digunakan untuk parameter pH, kekeruhan, temperatur, dan ketinggian air

masing-masing adalah 52,715 mV/pH, 0,0005 V/NTU, 0,0255 V/ $^{\circ}\text{C}$, dan 0,0583 milidetik/cm. Hasil pengujian ketepatan sistem maka didapatkan persentase ketepatan rata-rata adalah berkisar antara 96,86% sampai 99,9%. Hasil pengujian ketelitian sistem maka ketelitian

sistem berkisar antara 0,94 sampai dengan 0,99. Dari hasil pengujian ketepatan dan ketelitian maka sistem pemantauan parameter fisis air bekerja dengan baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Jambi yang memberikan dukungan dana sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

REFERENSI

1. Asmadi, K., & Kasjono, H. S. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum. Yogyakarta: Gosityen Publishing.*
2. Arvianti, D. & Muhammad, J. (2021). Interpretasi Kualitas Air Bawah Tanah Di Kelurahan Tangkerang Tengah Kecamatan Marpoyan Damai Menggunakan Metode Geolistrik Dan Geokimia. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 124–130.
3. Hutagalung, A. R. M. & Malik, U. (2021). Aplikasi Metode Geolistrik Dipole-Dipole Dan Geokimia Dalam Penentuan Rembesan Lindi Pada Lapisan Tanah Di Sekitar Tpa Muara Fajar Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 156–166.
4. Kusnaedi. (2010). *Mengolah Air Kotor untuk Air Minum.* Jakarta: Swadaya.
5. Silvia, R. & Malik, U. (2021). Sebaran Air Tanah Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Dipole-Dipole. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 18–21.
6. Hendrawati, D. T., Maulana, N., & Al Tahtawi, A. R. (2019). Sistem Pemantauan Kualitas Air Sungai di Kawasan Industri Berbasis WSN dan IoT. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, **4**(2), 283–292.
7. Hardyanto, R. H. (2017). Konsep Internet Of Things Pada Pembelajaran Berbasis Web. *Jurnal Dinamika Informatika*, **6**(1), 87–97.
8. Soerbakti, Y., Syahputra, R. F., Saktioto, S., & Gamal, M. D. H. (2020). Investigasi Kinerja Antena Berdasarkan Dispersi Anomali Metamaterial Struktur Heksagonal Split Ring Resonator. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(2), 74–79.
9. Rakhman, E., Candrasyah, F., & Sutera, F. D. (2014). Raspberry Pi-Mikrokontroler Mungil yang Serba Bisa. *Yogyakarta: CV Andi Offset.*
10. Kirkup, L. (1996). *Experimental methods: an introduction to the analysis and presentation of data* (p. 216).
- 11.



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

KAJIAN PENGARUH *MESOSCALE CONVECTIVE COMPLEX* DI PULAU JAWA TERHADAP CURAH HUJAN SAAT KEJADIAN BANJIR DI KENDAL PADA 26-27 JANUARI 2019

Muhammad Ikko Safrilda Maulana^{1*}, Nur Irfan Wicaksono², Yosafat Donni Haryanto¹

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

²Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

*E-mail korespondensi: muhammad.ikko.s.m@stmkg.ac.id

ABSTRACT

Mesoscale Convective Complex (MCC) is part of the Mesoscale Convective System (MCS) that its characteristics can be observed by the Himawari-8 satellite imagery infrared channel. In this study, the effect of MCC is calculated based on the estimated rainfall value at the interior cold cloud and cloud shield on the amount of observed rainfall data by applying the Convective Stratiform Technique (CST) and Modified Convective Stratiform Technique (MCST) methods. CST is a method of estimating rainfall by separating convective and stratiform cloud groups, while MCST is a modification of CST in terms of rainfall intensity and average pixel coverage on its area. Both methods were verified using rainfall observation data in Kendal with the closest observation station to the interior cold cloud and cloud shield. The purpose of this study was to determine the effect of MCC in Java on high rainfall during the flood. The results shows that the rainfall value is almost close to observation rainfall data worth 84,989 mm using CST. Although the estimated rainfall value in both methods tended to underestimate, the results of the verification of the effect of MCC on rainfall in Kendal shows moderate-strong relation in the CST with correlation values ranging from 0,30 to 0,61. Meanwhile, the MCST ranges from 0,30 to 0,59 which indicates weak-moderate category. CST error values is also smaller than MCST's with values ranging 3,17 to 8,63. So that the CST method is better used to estimate rainfall at the interior cold cloud and the shield cloud.

Keywords: MCC, CST, MCST, Flood.

ABSTRAK

Mesoscale Convective Complex (MCC) merupakan bagian dari Mesoscale Convective System (MCS) yang karakteristiknya dapat diamati menggunakan citra satelit Himawari-8 kanal infrared. Dalam penelitian ini pengaruh MCC dihitung berdasarkan nilai estimasi curah hujan di pusat inti dan selimut awan terhadap jumlah curah hujan observasi dengan menerapkan metode Convective Stratiform Technique (CST) dan Modified Convective Stratiform Technique (MCST). CST merupakan metode estimasi curah hujan dengan pemisahan kelompok konvektif dan stratiform, sedangkan MCST merupakan modifikasi dari CST pada intensitas curah hujan dan luasan area lingkup piksel rata-ratanya. Kedua metode tersebut diverifikasi menggunakan data curah hujan observasi di Kendal dengan stasiun pengamatan yang terdekat dengan pusat inti dan selimut awan MCC. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh MCC di Pulau Jawa terhadap tingginya curah hujan saat kejadian banjir pada 26-27 Januari 2019 di Kendal. Hasil pengolahan estimasi curah hujan menunjukkan nilai curah hujan yang mendekati nilai observasi pada inti awan MCC senilai 84,989 mm menggunakan metode CST. Meskipun nilai estimasi curah hujan di kedua metode cenderung underestimate, namun hasil verifikasi pengaruh MCC terhadap curah hujan di Kendal menunjukkan hubungan sedang hingga kuat pada metode CST dengan nilai korelasi berkisar antara 0,30 hingga 0,61. Sedangkan metode MCST berkisar antara 0,30 hingga 0,59 yang menunjukkan kategori lemah hingga sedang. Nilai error CST juga lebih kecil dibandingkan nilai error MCST dengan nilai yang berkisar antara 3,17 hingga 8,63. Sehingga metode CST lebih baik digunakan untuk mengestimasi curah hujan pada pusat inti MCC dan pusat selimut MCC.

Kata kunci: MCC, CST, MCST, Banjir.

Diterima 30-10-2021 | Disetujui 15-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Hujan dengan intensitas sedang hingga lebat yang mengguyur sebagian besar Pulau Jawa terutama di sepanjang pantai utara Jawa (Pantura) pada tanggal 26-27 Januari 2019 menyebabkan beberapa daerah terendam banjir. Salah satu kabupaten yang terendam banjir yaitu Kendal dengan 25 desa terendam banjir akibat luapan daerah aliran sungai (DAS). Banjir merupakan masalah yang kompleks yang tidak bisa ditinjau dari satu segi saja. Jika suatu tempat terjadi banjir, maka belum tentu di tempat lain terjadi banjir. [1]. Dalam meteorologi, banjir merupakan suatu bencana alam yang terjadi ketika adanya luapan air yang tidak dapat ditampung lagi oleh daerah aliran sungai sehingga aliran air itu menggenangi daratan atau pemukiman warga [2]. Kebanyakan orang meskipun sudah mengetahui bahwa daerah di tempat tinggalnya merupakan daerah rawan banjir, tetapi sebagian besar orang memilih menetap di area tersebut dikarenakan berada dekat dengan sumber air.

Sistem konvektif skala meso khususnya MCC memberikan kontribusi berupa curah hujan yang signifikan [3]. Kontribusi MCC terhadap wilayah Benua Maritim Indonesia selama siklus hidupnya cenderung menghasilkan curah hujan yang lebat [4]. Oleh karena itu, untuk mengetahui estimasi curah hujan di pusat dan selimut awan MCC digunakan metode *Convective Stratiform Technique* (CST) dan *Modified Convective Stratiform Technique* (MCST). CST merupakan metode estimasi curah hujan dengan pemisahan kelompok konvektif dan stratiform yang ditemukan oleh Adler dan Negri (1988) [5], sedangkan MCST merupakan modifikasi pada intensitas curah hujan dan luasan area lingkup piksel rata-rata terhadap CST yang dikembangkan oleh Endarwin (2014) [6]. Pada penelitian sebelumnya, curah hujan observasi di pos hujan pada tanggal 26 Januari 2019 tercatat jumlah curah hujan tertinggi sebesar 129 mm per hari di Kecamatan Gemuh. Sedangkan pada tanggal 27 Januari 2019 tercatat jumlah curah hujan maksimum sebesar 110 mm per hari di

Kecamatan Cepiring [7]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh MCC di Pulau Jawa terhadap tingginya curah hujan saat kejadian banjir di Kendal pada tanggal 26-27 Januari 2019.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai *Mesoscale Convective Complex* (MCC) pertama kali diteliti oleh Maddox (1980) dengan definisi MCC merupakan bagian dari *Mesoscale Convective System* (MCS) dan merupakan sistem awan konvektif skala meso dimana karakteristik fisiknya dapat diamati dengan menggunakan citra satelit *enhanced infrared* (IR). Karakteristik dari MCS yang terbesar yaitu MCC dengan karakteristik kluster awan yang bertahan lebih dari 6 jam, memiliki suhu $\leq -32^{\circ}\text{C}$ sebagai selimut awan yang mewakili area stratus dengan luasan $\geq 100.000 \text{ km}^2$ dan inti awan digunakan $\leq -52^{\circ}\text{C}$ sebagai area konvektif dengan luasan $\geq 50.000 \text{ km}^2$ serta memiliki nilai eksentrisitas [8]. Definisi lain dari MCS merupakan sistem konvektif terstruktur yang terdiri dari kumpulan awan badai yang dapat mengakibatkan daerah hujan sepanjang 100 km atau lebih dalam skala horizontal [9]. Nilai eksentrisitas digunakan untuk membedakan MCC dengan jenis MCS lainnya seperti *bow echo*, *squall line*, *cloud cluster*, dll [10]. Penelitian lain yang meneliti MCC atau jenis MCS lainnya di daerah tropis seperti Indonesia biasanya cenderung terbentuk di daerah perairan pada saat malam hari dan di daratan saat siang hari [11].

METODE PENELITIAN

Data citra satelit kanal *infrared* digunakan untuk mengidentifikasi MCC dan karakteristiknya meliputi luasan inti dan selimut awan, eksentrisitas dan titik pusat MCC yang diolah dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Penentuan nilai ambang batas untuk selimut dan inti awan menggunakan batas yang ditentukan oleh Maddox (1980) [8]. Resolusi data yang digunakan untuk identifikasi MCC

sebesar 0,02. Setelah diolah menggunakan MATLAB, kemudian data *output* MATLAB diolah menggunakan *Microsoft Excel* dan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Selanjutnya data *output* MATLAB juga diolah menggunakan ArcGIS untuk ditampilkan titik pusat MCC secara spasial.

Untuk mengetahui nilai estimasi curah hujan di pusat inti dan selimut awan digunakan metode *Convective Stratiform Technique* (CST) dan *Modified Convective Stratiform Technique* (MCST). CST merupakan metode estimasi curah hujan dengan pemisahan kelompok konvektif dan stratiform yang ditemukan oleh Adler dan Negri (1988) [5], sedangkan MCST merupakan modifikasi pada intensitas curah hujan dan luasan area lingkup piksel rata-rata terhadap CST yang dikembangkan oleh Enderwin 2014 [6]. Pengolahan data menggunakan metode CST dan MCST ini dilakukan menggunakan aplikasi *Google Colaboratory* dan hasil *output* juga diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Setelah nilai estimasi curah hujan di setiap pusat inti dan selimut awan terdekat dengan Kendal diketahui, dilakukan verifikasi pengaruh MCC terhadap curah hujan observasi dan estimasi di Kendal melalui koefisien korelasi dan nilai *error*nya.

Penentuan luasan wilayah curah hujan pada inti dan selimut MCC diperoleh dari suhu kecerahan awan (T_{BB}) minimum atau T_{min} dalam satu atau multi piksel. Setelah identifikasi T_{min} , kekuatan tersebut diukur dengan memperhitungkan *slope parameter* (S) (Adler dan Negri, 1988). Perhitungan *slope parameter* (S) menggunakan rumus [6, 12] sebagai berikut,

$$S = k \left(\frac{T_{i-2,j} + T_{i-1,j} + T_{i+1,j} + T_{i+2,j}}{+T_{i,j-1} + T_{i,j+1} + T_{i,j+2} - 8T_{i,j}} \right) \quad (1)$$

dengan S : *slope parameter*/parameter penentu awan konvektif (K), k :0,125 (konstanta di sekitar titik yang akan diestimasi), T :Suhu kecerahan awan (T_{BB}) dalam (K), i dan j : Posisi nilai piksel dimana S dihitung.

Selanjutnya jika nilai S telah diperoleh dilakukan perhitungan pemisahan inti awan konvektif dan stratiform dengan menggunakan persamaan berikut [6, 12, 13].

$$S \geq \exp[0,0826 (T_{min} - 207 K)] \quad (2)$$

Kemudian menentukan luasan wilayah konvektif dan stratiform dengan menggunakan persamaan berikut [6, 12],

$$\ln(A_c) = aT_{ci} + b \quad (3)$$

dengan A_c : luasan area hujan konvektif (km^2), T_{ci} : temperatur puncak awan pada inti konvektif ke- i (K), a dan b : konstanta yang ditetapkan [5] dengan nilai $a=-0,0492$, dan $b=15,27$. Sedangkan untuk luasan stratiform ditentukan dengan menggunakan persamaan serupa, yaitu,

$$\ln(A_s) = aT_s + b \quad (4)$$

dengan A_s : luasan area hujan konvektif (km^2), T_s : temperatur puncak awan stratiform (K).

Selanjutnya dilakukan estimasi curah hujan setiap jam dengan menggunakan metode CST melalui persamaan berikut [5, 6, 12],

$$CH \text{ Konvektif (mm)} = C \left(\frac{A_c}{A} \right) TR_c \quad (5)$$

dengan C : bilangan sel konvektif, A_c : luasan wilayah konvektif (km^2), A : rata-rata area yang dilingkupi oleh tiap piksel (km^2), T : rata-rata periode estimasi (jam), R_c : intensitas curah hujan konvektif (mm/jam). Sedangkan untuk estimasi curah hujan stratiform adalah,

$$CH \text{ Stratiform (mm)} = S_t \left(\frac{A_s}{A} \right) TR_s \quad (6)$$

dengan S_t : bilangan sel stratiform, A_s : luasan wilayah stratiform (km^2), R_s : intensitas curah hujan stratiform (mm/jam).

Nilai C dan S_t masing-masing yaitu 1 karena hanya merujuk pada titik tertentu, dalam hal ini

titik pusat inti dan selimut awan terdekat dengan stasiun pengamatan. Selanjutnya dikarenakan estimasi dilakukan untuk curah hujan setiap jam maka nilai T adalah 1. Tabel perbedaan spesifikasi metode CST dan MCST yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan spesifikasi dari metode CST dan MCST [6].

Metode	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)		Luasan Rata-Rata yang Dilingkupi Piksel (km ²)
	Konvektif (R _c)	Stratiform (R _s)	
CST	20	3,5	121
MCST	26	0,8	202,1243

Tahapan verifikasi untuk mengetahui seberapa kuat hubungan dari kedua data curah hujan hasil estimasi dari pusat inti dan selimut awan dengan curah hujan observasi di lokasi sampel pos hujan otomatis (*Automatic Rain Gauge*) di Kendal yang dibandingkan menggunakan rumus koefisien korelasi dan RMSE. Koefisien korelasi adalah bilangan yang menyatakan besar kecilnya variabel suatu hubungan antara variabel [14]. Sedangkan RMSE adalah besarnya penyimpangan yang terjadi. Semakin kecil nilai penyimpangan maka hubungan data semakin kuat. Persamaan koefisien korelasi dan RMSE ditunjukkan sebagai berikut.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R})(RE_i - \bar{RE})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (RO_i - \bar{RO})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (RE_i - \bar{RE})^2}} \quad (7)$$

Kategori koefisien korelasi ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Koefisien Korelasi [1].

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

Persamaan RMSE sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RE_i - RO_i)^2}{n}} \quad (8)$$

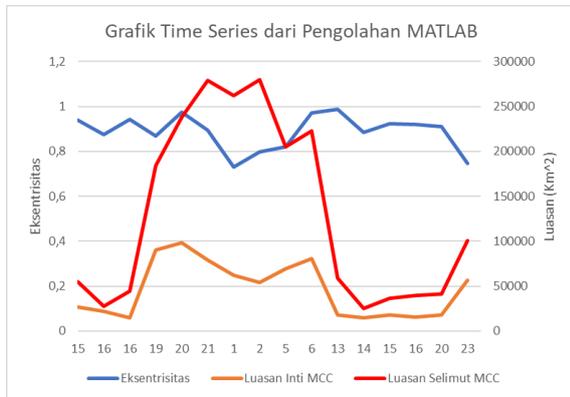
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik MCC

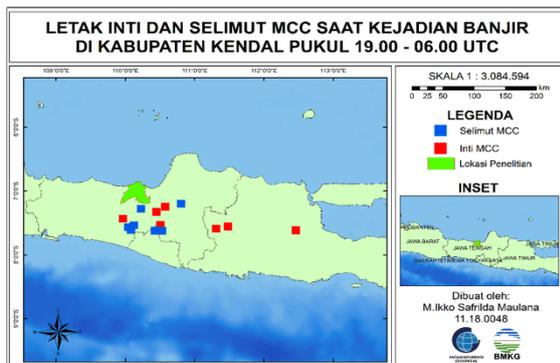
Deteksi siklus hidup MCC di atas Pulau Jawa diamati dengan menggunakan citra satelit *infrared* per jam dan diamati *time series* luasan dari inti awan dan selimut awan serta eksentrisitasnya yang ditampilkan pada Gambar 1. Sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan Maddox, MCC mulai terpenuhi pada pukul 19.00 – 06.00 UTC pada tanggal 26 Januari 2019 hingga 27 Januari 2019. Luasan inti dan selimut awan semakin bertambah dengan fase matang saat MCC terjadi pada pukul 21.00 hingga 02.00 UTC. Tahap perkembangan MCC dimulai sejak pukul 15.00 – 16.00 UTC dengan luasan inti berkisar antara 14.385,1 km² hingga 26.953,42 km², kemudian saat MCC telah memenuhi kriteria Maddox luasan inti berkisar 53.995,5504 km² hingga 98.587,7136 km². Sedangkan luasan selimut awan sebelum MCC terbentuk berkisar 27.682,8228 km² hingga 54.981,2304 km² dan setelah MCC terbentuk berkisar 183.883,5324 km² hingga 279.514,206 km². Jika nilai tersebut dibandingkan dengan nilai rata-rata luas MCC global yaitu 354.000 km² untuk selimut awannya [15] dan 315.000 km² untuk di wilayah Indonesia [16]. Maka, luasan MCC yang terjadi di Pulau Jawa saat itu lebih kecil.

Pada Gambar 1 terlihat bahwa pertumbuhan MCC dapat bertahan hingga 12 jam dan siklus hidup MCC ini terjadi pada malam hari hingga siang hari. Jika dilihat dari puncaknya, luas inti awan mengalami puncak lebih awal yang kemudian diikuti oleh puncak luasan selimut awan. Eksentrisitas bernilai >0,7 bahkan mendekati 0,99 menunjukkan bentuk sistem cuaca skala meso sirkular [17]. Selanjutnya pada Gambar 2 terlihat distribusi spasial pembentukan MCC berada di daratan dengan dua pusat inti awan MCC berada di atas

Kabupaten Semarang, satu pusat inti awan MCC di atas Boyolali, satu pusat inti awan di atas Kabupaten Wonosobo, dan tiga inti awan lainnya berada di Provinsi Jawa Timur. Kasus ini tergolong unik dikarenakan pada kasus ini, MCC terbentuk di daratan saat malam hari.



Gambar 1. Time series dari luasan inti dan selimut awan serta nilai eksentrisitas dari MCC di atas Pulau Jawa pada 26-27 Januari 2019.



Gambar 2. Letak titik pusat luasan inti dan selimut awan MCC.

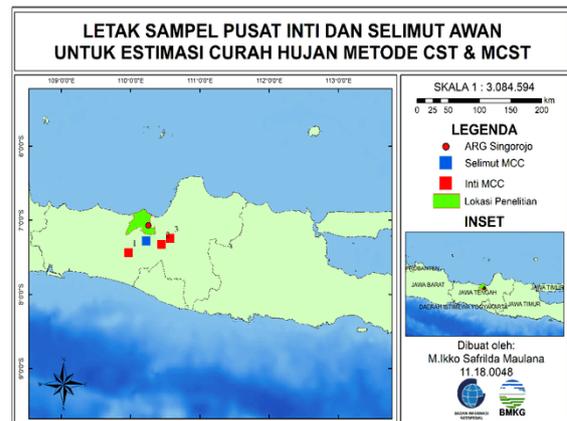
Estimasi Curah Hujan Menggunakan Metode CST dan MCST di Pusat Inti dan Selimut MCC

Perhitungan estimasi curah hujan ini digunakan untuk mengetahui pengaruh MCC terhadap tingginya curah hujan saat kejadian banjir di Kendal. Sampel data curah hujan observasi di Kendal diambil berdasarkan letak *Automatic Rain Gauge* (ARG) terdekat dengan lokasi pusat inti dan selimut awan yang telah dipetakan pada Gambar 3. Selanjutnya pada Gambar 3 disajikan gambar potongan letak pusat inti dan selimut awan yang terdekat

dengan lokasi ARG Singorojo (7.069769 LS, 110.2566 BT). Data curah hujan ARG Singorojo diperoleh dari Stasiun Klimatologi Semarang dan jarak masing-masing sampel pusat inti dan selimut awan yang akan diestimasi curah hujannya ditunjukkan pada Tabel 3. Penggunaan sampel inti dan selimut awan yang terdekat dengan lokasi ARG ditujukan agar dapat diketahui seberapa baik pengaruh MCC terhadap curah hujan melalui perhitungan korelasi dan nilai *error* pada setiap metode estimasi curah hujan terhadap data curah hujan observasi [18].

Tabel 3. Jarak pusat inti dan selimut MCC ke ARG Singorojo.

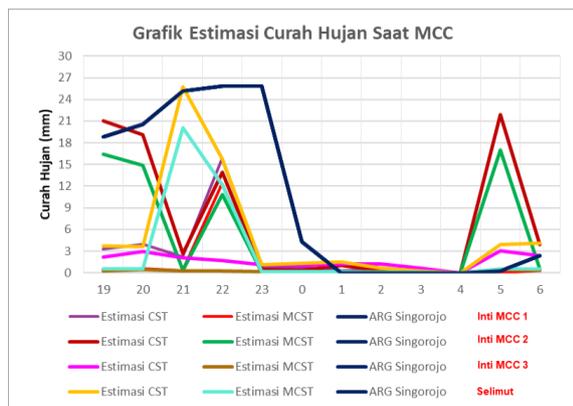
Jenis	Jarak Pusat Inti dan Selimut MCC ke ARG Singorojo (km)
Inti MCC 1	80,4
Inti MCC 2	56,8
Inti MCC 3	61,6
Selimut MCC	42,1



Gambar 3. Letak sampel pusat inti dan selimut MCC terhadap lokasi ARG Singorojo.

Selanjutnya hasil perhitungan estimasi curah hujan menggunakan metode CST dan MCST saat MCC terbentuk dibuat dalam grafik curah hujan pada Gambar 4. Analisis grafik curah hujan saat MCC diketahui terdapat garis yang saling berpotongan sangat rapat pada grafik inti MCC 2 dan inti MCC 1 pada pukul 21.00 UTC. Titik potong tersebut menunjukkan nilai yang sama. Ketiga grafik inti MCC menunjukkan kenaikan pada pukul 22.00 UTC. Pada pukul

01.00 UTC terlihat semua grafik mengalami penurunan dan jika dilihat pada Gambar 1 saat itu terjadi penurunan luasan inti dan selimut awan. Kemudian pada pukul 04.00 hingga 05.00 UTC grafik mengalami kenaikan kembali yang menandakan adanya perluasan inti dan selimut awan, pukul 06.00 UTC grafik mengalami penurunan yang menandakan MCC telah punah. Terlihat juga nilai curah hujan semakin tinggi pada grafik estimasi curah hujan selimut awan [19, 20]. Adanya peningkatan nilai puncak curah hujan ini disebabkan karena letak dari masing-masing inti dan selimut MCC yang berbeda. Jarak terdekat dengan lokasi ARG Singorojo adalah pusat selimut MCC sehingga nilai estimasi curah hujannya mendekati nilai observasi saat mencapai puncak MCC pada pukul 21.00 UTC. Nilai estimasi CST pada selimut MCC sebesar 25,776 mm sehingga garis terlihat mengalami perpotongan dengan garis ARG Singorojo yang senilai 25,133 mm.



Gambar 4. Grafik estimasi curah hujan saat MCC.

Hasil estimasi jumlah curah hujan saat kejadian MCC juga disajikan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat nilai estimasi curah hujan yang paling baik atau mendekati nilai observasi adalah estimasi curah hujan menggunakan metode CST pada inti awan 2 dengan nilai 84,989 mm. Sedangkan nilai curah hujan observasi yang diukur di ARG Singorojo sebesar 123,1 mm. Selisih nilai estimasi curah hujan menggunakan metode

CST dan curah hujan observasi sebesar 38,111 mm.

Tabel 4. Hasil estimasi curah hujan saat kejadian MCC (mm).

	Inti MCC 1	Inti MCC 2	Inti MCC 3	Selimut Awan
CST	30,573	84,989	19,493	61,521
MCST	14,328	60,382	2,668	35,021
Observasi	123,1			

Selain itu, nilai estimasi jumlah curah hujan menggunakan metode CST dan MCST menunjukkan nilai yang *underestimate* atau berada di bawah nilai observasi. Kekurangan dari metode MCST yaitu untuk penentuan jenis awan penghasil hujan hanya mengandalkan perhitungan *slope* awan, padahal berdasarkan persamaan (1) sangat bergantung pada nilai variasi suhu pada semua titik grid yang digunakan dalam perhitungan sehingga metode MCST tidak dapat bekerja dengan baik pada sistem awan yang memiliki inti sangat luas seperti MCC. Sedangkan metode CST dihasilkan nilai yang cukup baik yang dibuktikan pada perhitungan inti MCC 2 dengan nilai yang mendekati nilai observasi.

Verifikasi Tingkat Hubungan Jumlah Estimasi Curah Hujan dan Jumlah Curah Hujan Observasi

Untuk menghitung tingkat hubungan jumlah estimasi curah hujan menggunakan metode CST dan MCST dengan jumlah curah hujan observasi digunakan persamaan (7) dan (8) yang diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Hasil perhitungan disajikan dalam bentuk Tabel 5 dan Tabel 6 sebagai berikut.

Tabel 5. Koefisien korelasi pada tiap inti dan selimut MCC.

	Inti MCC 1	Inti MCC 2	Inti MCC 3	Selimut Awan
CST	0,574114	0,319962	0,303979	0,613068
MCST	0,447945	0,309536	0,304784	0,590213

Tabel 6. Nilai RMSE pada tiap inti dan selimut MCC.

	Inti MCC 1	Inti MCC 2	Inti MCC 3	Selimut Awan
CST	7,710583	3,175917	8,633917	5,131583
MCST	9,064333	5,2265	10,036	7,339917

Berdasarkan Tabel 5, tingkat hubungan jumlah estimasi curah hujan dan jumlah curah hujan observasi menggunakan metode CST berkisar antara lemah hingga kuat. Tingkat hubungan kategori kuat yaitu pada selimut awan, sedangkan kategori lemah pada inti MCC 2 dan inti MCC 3. Kategori sedang hanya terjadi pada inti MCC 1. Kemudian untuk metode MCST berkisar antara lemah hingga sedang, dengan kategori sedang pada inti MCC 1 dan selimut awan, kategori lemah pada inti MCC 2 dan inti MCC 3.

Dalam penelitian ini, metode CST menunjukkan nilai *error* yang lebih kecil dibandingkan metode MCST sehingga dapat disimpulkan metode CST lebih baik digunakan untuk mengestimasi curah hujan pada pusat inti MCC dengan jarak 56,8 km terhadap stasiun pengamatan dan pusat selimut MCC sejauh 42,1 km terhadap stasiun pengamatan. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap pengaruh jarak tersebut. Selain itu, metode CST pada hasil perhitungan inti MCC 2 menunjukkan nilai *error* yang kecil meskipun nilai korelasi termasuk kategori lemah.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis karakteristik MCC di atas Pulau Jawa menunjukkan MCC bertahan selama 12 jam yang mulai terbentuk pukul 19.00 hingga 06.00 UTC dengan distribusi pembentukan berada di atas daratan pada malam hingga siang hari. Pengaruh MCC terhadap curah hujan di Kendal menunjukkan pengaruh lemah hingga kuat pada metode CST dengan nilai korelasi metode CST berkisar antara 0,30 hingga 0,61, sedangkan nilai korelasi metode MCST berkisar antara 0,30 hingga 0,59. Tingkat korelasi metode CST lebih

baik dibandingkan metode MCST, dibuktikan pada perhitungan inti MCC 2 dengan hasil estimasi curah hujan lebih mendekati nilai curah hujan observasi dibandingkan metode MCST. Dari kedua metode estimasi curah hujan, metode CST menunjukkan nilai *error* yang lebih kecil dibandingkan metode MCST. Nilai *error* metode CST berkisar antara 3,17 hingga 8,63, sedangkan metode MCST berkisar antara 5,22 hingga 9,06. Sehingga metode CST lebih baik digunakan untuk mengestimasi curah hujan pada pusat inti MCC dengan jarak 56,8 km terhadap stasiun pengamatan dan pusat selimut MCC dengan jarak 42,1 km terhadap stasiun pengamatan. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh jarak tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan jurnal ini hingga terselesaikan dengan baik, yaitu Bapak Dr. Yosafat Donni Haryanto, SP., M.Si., selaku dosen pembimbing, Bapak Ir. Tuban Wiyoso, M.Si., selaku Kepala Stasiun Klimatologi Semarang, Bapak Iis Widya Harmoko, M.Kom., selaku Kepala Seksi Data dan Informasi Stasiun Klimatologi Semarang, Bapak Nurfitrianto selaku *staff* data dan informasi Stasiun Klimatologi Semarang yang telah membantu dalam permohonan data. Rekan-rekan kelas Meteorologi VII B dan Klimatologi VIISTMKG yang telah banyak memberi dukungan dan masukan dalam penyusunan jurnal ini.

REFERENSI

1. Sugiyono. (2004). *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
2. American Meteorological Society. (2000). *Glossary of Meteorology 2nd Edition*. Diakses pada 31 Juli 2021, URL : <https://glossary.ametsoc.org/wiki/Flood>.
3. Fritsch, J. M., Kane, R. J., dan Chelius, C. R. (1986). *The Contribution of Mesoscale*

- Convective Weather Systems to the Warm-Season Precipitation in the United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 25, 1333-1345.
4. Ashley, W.S., Mote, T.L., Dixon, P.H., Trotter, S. L., Durkee, J. D., Powell, E. J., *et al.* (2003). Effects of Mesoscale Convective Complex Rainfall on the Distribution of Precipitation in the United States. *Monthly Weather Review*, 131, 3003-3017.
 5. Adler, R. F., dan Negri, A. J.,A. (1988). Satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall. *Journal of American Meteorological Society*. 27(1), 30-51.
 6. Enderwin. (2014). *Modifikasi Convective Stratiform Technique dengan Kombinasi Data Satelit Gelombang Mikro Pasif dan Inframerah untuk Estimasi Curah Hujan di Indonesia*. Disertasi Sains Kebumihan. Institut Teknologi Bandung.
 7. S.M., M. Ikko., F., Eriska., &M., Aditya. (2020). Analysis of Weather Condition During Flood in Kendal District Using Synop, METAR, and Himawari-8 GS Modelling Data (Case Study: 26-27 January 2019). *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*. 273-292.
 8. Maddox, R. A. (1980). Mesoscale Convective Complexes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1374-1387.
 9. Houze, R. A. Jr. (1993). *Cloud Dynamics*. Academic San Diego, Calif., 573.
 10. Tjasyono HK, Bayong., Juaeni, Ina., & Harijono, Sri Woro B. (2007). Proses Meteorologis Bencana Banjir di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. 8(2), 64-78.
 11. Putri, N. S., Iwabuchi, H., dan Hayasaka, T. Notes., and correspondence. (2018). Evolution of Mesoscale System Properties as Derived from Himawari-8 High Resolution Data Analyses. *Journal of Meteorological Society of Japan*. 96B, 239-250.
 12. Islam, M. N., Islam, A. K. M. S., Hayashi, T., Terao, T. Dan Uyeda, H. (2002). Application of a Method to Estimate Rainfall in Bangladesh Using GMS-5 Data. *Journal of Natural Disaster Science*. 24(2), 83-89.
 13. Goldenberg, S. B., R. A. Houze, Jr., dan Churchill, D. D., (1990). Convective and Stratiform Components of a Winter Monsoon Cloud Cluster Determined from Geo-Synchronous Infrared Satellite Data. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 68, 37-63.
 14. Sudjana. (1996). *Teknik Analisis Regresi Dan Korelasi*. Bandung : Tarsito.
 15. Laing, A. G., dan Fritsch, J. M. (1997). The Global Population of Mesoscale Convective Complexes. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol 123, 389-405.
 16. Trismidianto. (2018). Characteristics of the Oceanic MCC, Continental MCC, and Coastal MCC Over the Indonesian Maritime Continent. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
 17. Putra Perdana, Ilham F., Rismana, Yosza Indra., Prasetya, Ferdian Adhy., Mulsandi, Adi. (2019). Studi Kejadian Mesoscale Convective Complex (MCC) di Wilayah Papua Bagian Selatan Pada 9-10 Mei 2018. *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. 6(1).
 18. Ismanto, Heri. (2011). *Karakteristik Kompleks Konvektif Skala Meso di Benua Maritim*. Tesis Sains Kebumihan. Institut Teknologi Bandung.
 19. Tjasyono HK, Bayong. (2012). *Meteorologi Indonesia Vol. 1*. Jakarta: BMKG.
 20. BMKG. (2021). Data satelit cuaca kanal *infrared* BMKG. Diakses pada 1 Agustus 2021, URL : <ftp://satelit.bmkg.go.id/>.



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

ANALISA PERUBAHAN SUSEPTIBILITAS MAGNETIK DAN KOMPOSISI PARTIKEL PASIR ALAM SUNGAI ROKAN SEBAGAI FUNGSI KECEPATAN PUTAR TABUNG *BALL MILLING*

Salomo Sinuraya*, Erwin Amiruddin, Diah Nurrohmah, Tri Wulandari

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau, 28293, Indonesia

*E-mail korespondensi: salomo@lecturer.ac.id

ABSTRACT

Research has been carried out on magnetic susceptibility and magnetic particle composition of natural sand on the Rokan River, Riau Province as a function of the rotating speed of ball milling tubes. The sample is dried in the sun before separating the magnetic particles from non-magnetic particles using an Iron Sand Separator, this result is called the ISS product. ISS products are milled with different milling tube rotational speeds of 100, 150, and 200 rpm with an iron ball with a diameter of 2.0 cm. The product obtained from ball milling is then separated by magnetic and non-magnetic particles using a Neodymium Iron Boron (NdFeb) magnet, this result is called a ball milling product (BM product). The results of this study indicate that the magnetic susceptibility of the ISS product has a value $1,930.771 \times 10^{-5}$, while the value of the magnetic susceptibility of ball milling products increases with the increase in the rotational speed of the tube, namely $28,188.141 \times 10^{-5}$, $31,136.137 \times 10^{-5}$ and $33,123.550 \times 10^{-5}$ for a rotating speed of 100, 150, and 200 rpm. XRF identification results show that the magnetic element Fe increased from 13.777% to 27.064%, while the non-magnetic element Si decreased from 58.401% to 42.920%.

Keywords: Magnetic Susceptibility, Ball Milling, X-Ray Fluorescence (XRF), Iron Sand Separator (ISS).

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang suseptibilitas magnetik dan komposisi partikel magnetik pasir alam Sungai Rokan, Provinsi Riau sebagai fungsi kecepatan putar tabung ball milling. Sampel dikeringkan terlebih dahulu dibawah sinar matahari sebelum dilakukan pemisahan antara partikel magnetik dengan partikel non magnetik menggunakan Iron Sand Separator, hasil ini disebut dengan produk ISS. Produk ISS di milling dengan kecepatan putaran tabung milling yang berbeda yaitu 100, 150, and 200 rpm dengan bola besi berdiameter 2,0 cm. Produk yang diperoleh dari ball milling kemudian dipisahkan partikel magnetik dan non magnetik menggunakan magnet Neodimium Iron Boron (NdFeb), hasil ini disebut dengan produk ball milling (produk BM). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa suseptibilitas magnetik produk ISS memiliki nilai $1.930,771 \times 10^{-5}$, sedangkan nilai suseptibilitas magnetik produk ball milling meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar tabung, yaitu $28.188,141 \times 10^{-5}$, $31.136,137 \times 10^{-5}$ and $33.123,550 \times 10^{-5}$ untuk kecepatan putar 100, 150, and 200 rpm. Hasil identifikasi XRF menunjukkan unsur magnetik Fe meningkat dari 13,777% menjadi 27,064%, sedangkan unsur non magnetik Si mengalami penurunan dari 58,401% menjadi 42,920%.

Kata kunci: Suseptibilitas Magnetik, Ball Milling, X-Ray Fluorescence (XRF), Iron Sand Separator (ISS).

Diterima 01-11-2021 | Disetujui 16-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Pasir adalah mineral endapan (sedimen) yang memiliki ukuran butir berkisar antara 0,063 mm sampai 5 mm. Berdasarkan lokasi

endapannya, dimungkinkan terjadinya perbedaan karakter fisis kandungan pasir mineral seperti Fe, Ti, Mg, Si, dsb. Senyawa magnetite (Fe_2O_3) adalah suatu mineral magnetik yang biasanya terdapat di daerah

pantai atau sungai. Di alam, senyawa ini dapat berasal dari variannya yaitu senyawa *titanomagnetite*. Respon yang kuat terhadap medan magnet luar menjadikan *magnetite* sangat berguna untuk kepentingan riset dan dalam dunia industri yang berbasis kemagnetan di antaranya dalam hal rekayasa elektronika, pembuatan magnet permanen, industri baja, media penyaring, [1,2,3].

Penelitian tentang pasir besi telah banyak dilakukan di Indonesia seperti yang berada di Makassar yaitu Analisa kandungan mineral pasir pantai Losari Kota Makassar menggunakan XRF dan XRD [4] dan Kajian suseptibilitas magnetik bergantung frekuensi terhadap pasir besi Kabupaten Takalar [5]. Kemudian yang berada di Sumatera Barat yaitu karakterisasi sifat magnet dan kandungan mineral pasir besi sungai batang Kuranji Padang Sumatera Barat dan penentuan nilai suseptibilitas magnetik mineral magnetik pasir besi sisa pendulangan emas di Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat [6,7,8,9]. Di Riau sendiri salah satunya adalah Sintesis Pembuatan Nano Partikel magnetik besi oksida alami pasir sungai Rokan. Penelitian tersebut dilakukan dengan kecepatan putaran tabung *ball milling* tetap [10]. Penelitian kali ini dilakukan untuk melihat perbedaan nilai suseptibilitas magnetik dan komposisi elemennya apabila kecepatan putaran tabung di variasikan.

METODE PENELITIAN

Bahan atau sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir sungai Rokan, lokasi di Kota Ujungbatu. Sampel yang telah diambil dari sungai dikeringkan dibawah sinar matahari sampai sampel tersebut benar-benar tidak lagi mengandung air sehingga butiran-butiran pasir terpisah satu dengan yang lainnya.

Sampel yang telah dikeringkan dan ditimbang kemudian dipisahkan elemen magnetik dan non magnetiknya dengan menggunakan alat *Iron Sand Separator*.

Proses *milling* dilakukan dengan waktu konstan yaitu 10 jam sedangkan kecepatan putaran tabung *milling* yang di variasikan yaitu

100, 150 dan 200 rpm, dengan diameter bola besi yang digunakan 2 cm. Kemudian nilai suseptibilitas magnetik dari sampel, produk hasil ISS, dan produk hasil *ball milling* di tentukan.

Penentuan komposisi pasir alam dilakukan dengan menggunakan uji *X-Ray Fluorescence* (X-RF), yang akan diuji adalah pasir alam Sungai Rokan yang sudah di *ball milling* selama 10 jam dan dengan kecepatan putaran tabung *ball milling* yang di variasikan yaitu 100,150 dan 200 rpm.

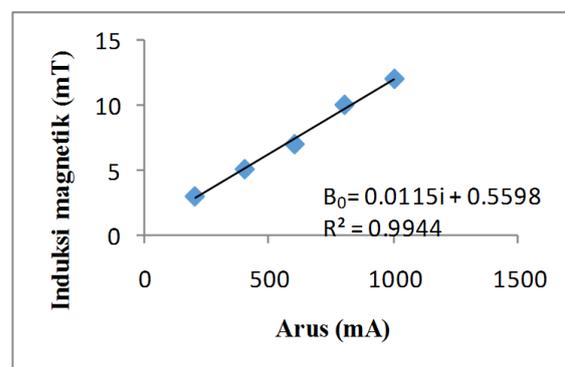
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Solenoida Tanpa Inti

Data pengukuran induksi magnetik solenoida tanpa inti sebagai fungsi arus listrik di tampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Data pengukuran induksi magnetik solenoid tanpa inti sebagai fungsi arus listrik.

No	Arus Listrik (mA)	B ₀ (mT)
1	200	3.019
2	400	5.102
3	600	7.015
4	800	10.026
5	1000	12.017

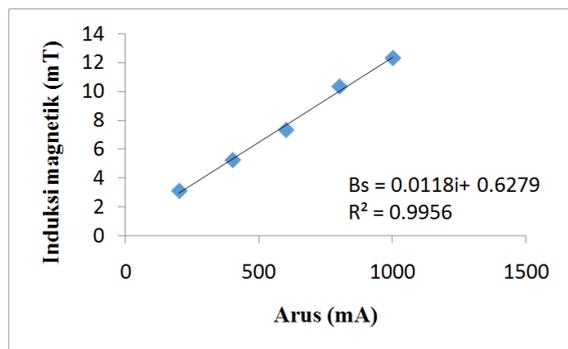


Gambar 1. Grafik induksi magnetik solenoida tanpa inti (B_0) sebagai fungsi arus (i).

Gambar 1 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya nilai arus yang di berikan maka nilai induksi magnetik juga meningkat, ini membuktikan bahwa nilai induksi magnetik berbanding lurus dengan besar arus yang di berikan. Peningkatan ini sesuai dengan teori

induksi magnetik pada solenoida apabila arus diperbesar maka besarnya induksi magnetik akan semakin meningkat secara linear. Gambar 1 dapat di modelkan dengan persamaan $B_0 = 0.0115 i + 0.5598$ pada persamaan terlihat induksi magnetik tanpa inti $0.0115 i + 0.5598$ dimana i adalah variasi arus yang diberikan, ketika arus sama dengan nol maka masih tersisa induksi magnetik sebesar 0.5598 . sedangkan R^2 adalah nilai kebenaran grafik jika nilai R mendekati 1 maka grafik yang dibuat semakin benar begitupun sebaliknya.

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik dengan Inti Pasir Sungai Rokan.



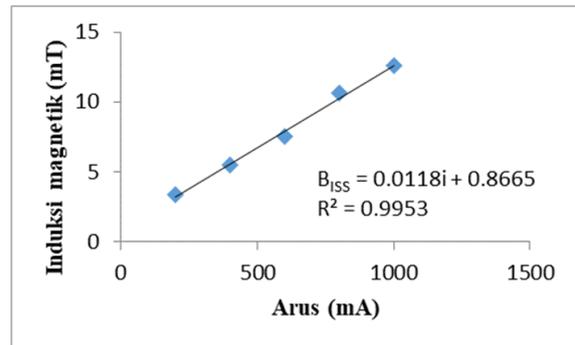
Gambar 2. Grafik induksi magnetik dengan inti pasir alam sungai rokan sampel B (B_s) sebagai fungsi arus (i).

Grafik pada Gambar 2 memperlihatkan nilai induksi magnetik pada sampel pasir alam sungai Rokan dengan persamaan $B_s = 0,0118i + 0,6279$.

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Setelah Pemisahan Menggunakan ISS

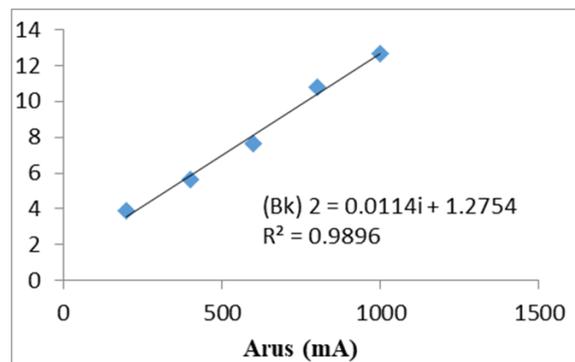
Pada Gambar 3 dapat dilihat hasil pengukuran nilai induksi magnetik dengan inti yang merupakan hasil pemisahan antara partikel magnetik dan non magnetik menggunakan *iron sand separator* (ISS) diukur dengan cara yang sama seperti pengukuran induksi untuk sampel pasir pantai sungai rokan. Konsentrat 1 yang diperoleh masih belum berupa pasir besi murni karena masih ada partikel non magnetik yang menempel pada pasir besi tersebut. Nilai induksi magnetiknya lebih tinggi dari pada nilai induksi magnetik sampel karena sudah banyak

partikel non magnetik yang terpisah selama proses pemisahan menggunakan ISS berlangsung. Nilai induksi tertinggi di peroleh pada arus 1000 mA dengan nilai 12.570 mT.

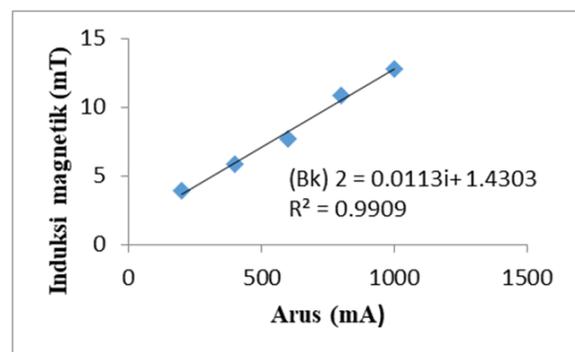


Gambar 3. Grafik induksi magnetik dengan inti produk ISS sebagai fungsi arus (i).

Hasil Pengukuran Induksi Magnetik Setelah Proses Milling



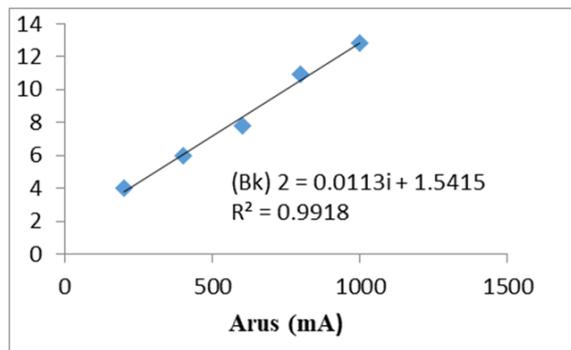
Gambar 4. Grafik nilai induksi magnetik sebagai fungsi arus (i) pada kecepatan putaran milling 100 rpm.



Gambar 5. Grafik nilai induksi magnetik sebagai fungsi arus (i) pada kecepatan putaran milling 150 rpm.

Gambar 4-6 menunjukkan nilai induksi magnetik produk *ball milling* sebagai fungsi kecepatan putaran tabung *ball milling* yang

berbeda yaitu 100, 150, dan 200 rpm. Nilai induksi pada konsentrat 2 bertambah secara linier terhadap kecepatan putaran tabung *ball milling* yaitu semakin cepat putaran tabung *ball milling* maka semakin tinggi nilai induksi magnetic yang diperoleh.



Gambar 6. Grafik nilai induksi magnetik sebagai fungsi arus (i) pada kecepatan putaran milling 200 rpm.

Suseptibilitas Magnetik Setelah Pemisahan Menggunakan ISS dan Suseptibilitas Magnetik Setelah Proses *Ball Milling*

Tabel 2. Data nilai suseptibilitas magnetik pasir alam sungai rokan setelah pemisahan menggunakan ISS dan *ball milling*.

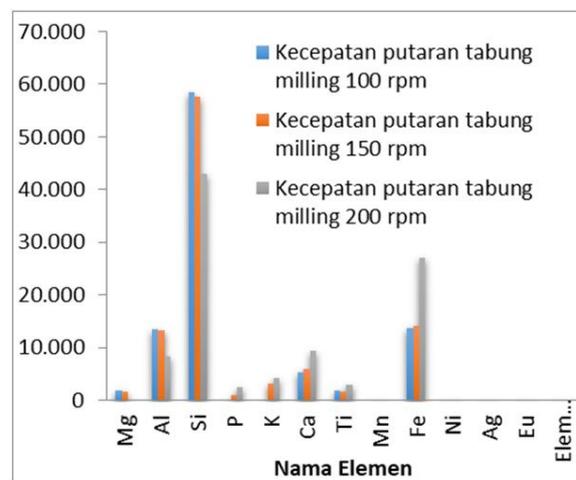
Sampel	Suseptibilitas Magnetik (χ_m) (10^{-5})
Pasir Sungai Rokan	3.312,355
Produk ISS	10.930,771
Ballmilling 100 rpm	28.188,141
Ballmilling 150 rpm	31.136,137
Ballmilling 200 rpm	33.123,550

Nilai suseptibilitas magnetik setelah proses pemisahan partikel magnetik dan non magnetik menggunakan *iron sand separator* (ISS) dan produk *ball milling* sebagai fungsi kecepatan putaran tabung, lebih tinggi dari pada sampel, karena sebagian besar sudah terpisah dari partikel non magnetiknya sehingga akan meningkatkan nilai septibilitas magnetiknya. Data nilai suseptibilitas magnetik dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil X-Ray Fluorescence

Pada Gambar 7 menampilkan bahwa unsur-unsur non magnetic mengalami penurunan

seperti unsur Si yaitu dari 58,401% menjadi 42,92%. Sedangkan untuk unsur magnetic mengalami kenaikan seperti unsur Fe yaitu dari 13,777% menjadi 27,064%. Kenaikan dan penurunan unsur ini dikarenakan pada proses milling partikel magnetik dan non magnetik terpisah diakibatkan adanya tumbukan antara konsentrat, tabung dan bola.



Gambar 7 Grafik perbandingan persentase elemen-elemen pasir alam Sungai Rokan setelah di *ball milling* dengan kecepatan putaran tabung *ball milling* yang di variasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan data yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa nilai suseptibilitas magnetik meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung milling dari 100, 150, dan 200 rpm. Nilai rata-rata suseptibilitas magnetik sebesar $28.188,141 \times 10^{-5}$ untuk kecepatan putaran tabung *ball milling* 100 rpm, $31.136,137 \times 10^{-5}$ untuk kecepatan putaran tabung *ball milling* 150 rpm dan $33.123,550 \times 10^{-5}$ untuk kecepatan putaran tabung *ball milling* 200 rpm. Hasil identifikasi XRF menunjukkan bahwa kandungan unsur magnetik yang terdapat pada pasir besi meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran tabung *ball milling*, persentase elemen Fe meningkat dari 13,777% menjadi 14,229% dan 27,064% Persentase pada elemen non magnetik silikon (Si) menurun dari 58,401% menjadi 57,569% dan 42,92%.

REFERENSI

1. Gunawan, H., & Budiman, A. (2014). Penentuan Persentase dan Nilai Suseptibilitas Mineral Magnetik Bijih Besi yang Berasal dari Tiga Lokasi Tambang Bijih Besi di Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, **3**(4), 249–254.
2. Puri, R. K., & Babbar, V. K. (2008). *Solid state physics and electronics*. S. Chand Publishing.
3. Su'ud, F. A. (2016). Sintesis Forsterit dengan Metode Pencampuran Koloid Silika dari Pasir Alam dan Magnesium Klorida. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **4**(2).
4. Alimin, A., Maryono, M., & Putri, S. E. (2016). Analisis kandungan mineral pasir pantai Losari kota Makassar menggunakan XRF dan XRD. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia*, **17**(2), 19–23.
5. Alimin, A., Maryono, M., & Putri, S. E. (2016). Analisis kandungan mineral pasir pantai Losari kota Makassar menggunakan XRF dan XRD. *Chemica: Jurnal Ilmiah Kimia dan Pendidikan Kimia*, **17**(2), 19–23.
6. Afdal, A. (2013). Karakterisasi Sifat Magnet dan Kandungan Mineral Pasir Besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika/ Universitas Andalas*, **5**(1), 24–30.
7. Darvina, Y., Yulfriska, N., Rifai, H., Dwiridal, L., & Ramli, R. (2019). Synthesis of magnetite nanoparticles from iron sand by ball-milling. *Journal of Physics: Conference Series*, **1185**(1), 012017).
8. Amiruddin, E., & Prayitno, A. (2019). The synthesis of magnetic nanoparticles from natural iron sand of Kata beach Pariaman West Sumatera using ball milling method as environmental material. *MATEC Web of Conferences*, **276**, 06014.
9. Siregar, S., & Budiman, A. (2015). Penentuan Nilai Suseptibilitas Magnetik Mineral Magnetik Pasir Besi Sisa Pendulangan Emas di Kabupaten Sijunjung Sumatera Barat. *Jurnal Fisika Unand*, **4**(4).
10. Salomo, S., Erwin, A., Usman, M., Muhammad, H., Nita, Y., & Linda, W. (2020). Preparation of Iron Oxide Magnetic Nanoparticles Natural Sand of Rokan River Synthesis with Ball Milling. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012018.



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

EFEK LAPISAN GANDA ANTIREFLEKTIF UNTUK MENINGKATKAN TRANSMISI *PHOTOVOLTAICS* DARI SEL SURYA

Asnawi Asnawi, T. N. Faiza, C. Diningsih, Muhimmatul Khoiro, Rohim Amirullah Firdaus
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya

*E-mail korespondensi: asnawi@unesa.ac.id

ABSTRACT

Photovoltaic is a solar cell technology in the field which is very susceptible to damage, both due to corrosion and shocks caused by wind. However, this can be done by using a coating system on the glass material of solar cell panels. Optimization and efficiency can be done by providing a glass and air gap index of about 1.5. This difference can result in about 92% of the transmission of light energy entering the solar cell panel. Technology to reduce reflections on solar panels by using a double coating system called anti-reflective material. The purpose of this study was to examine and find various research articles on $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ and $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ materials as antireflection materials in solar cells made with sol-gel spin coating. This research method uses literature reviews from various journals and research articles related to the use of $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$, $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ materials. Furthermore, the article is analyzed and studied to find out whether the article is feasible or not to be used as the basis for fabricating solar cells. Furthermore, the article was analyzed and the value to determine whether the results showed a transmittance of 99.7% for $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ (96.1%) and 98.9% for $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ materials. From the results of the study, it can be said that $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ material is a material with the best antireflection performance for solar panels, with these materials can be used as a reference for further research on solar panel technology.

Keywords: Antireflection, Transmittance, Silicon Solar.

ABSTRAK

Photovoltaic merupakan teknologi sel surya dalam teapannya dilapangan sangat rentan terhadap kerusakan, baik akibat korosi dan guncangan yang terjadi akibat angin. Namun hal tersebut dapat dicegah dengan menggunakan sistem pelapisan pada material kaca panel sel surya. Optimalisasi dan efisiensi dapat dilakukan dengan memberikan gap indeks kaca dan udara sekitar 1,5. Perbedaan tersebut dapat menghasilkan sekitar 92% transmisi energi cahaya dapat masuk ke dalam panel sel surya. Teknologi untuk mengurangi refleksi pada panel surya dengan menggunakan sistem pelapisan ganda yang disebut sebagai material anti-reflektif. Tujuan penelitian ini mengkaji dan mengevaluasi berbagai artikel hasil penelitian material $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ dan $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ sebagai pelapis antirefleksi pada sel surya yang dibuat dengan sol-gel spin coating. Metode penelitian ini menggunakan literatur review dari berbagai jurnal dan artikel penelitian terkait penggunaan bahan $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$, $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$. Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah artikel tersebut layak atau tidak untuk dijadikan dasar fabrikasi sel surya. Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah Hasil penelitian menunjukkan nilai transmitansi sebesar 99,7% untuk material $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$ (96,1%) dan 98,9% untuk material $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa material $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$ merupakan material dengan kinerja antirefleksi terbaik untuk panel solar cell, dengan demikian material tersebut dapat digunakan sebagai acuan referensi untuk penelitian lebih lanjut pada bidang teknologi panel surya.

Kata kunci: Antireflektif, Transmisi, Sel Surya.

Diterima 30-10-2021 | Disetujui 16-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi yang semakin mumpuni, serat optik tidak lepas menjadi perhatian oleh para ilmuwan. Meskipun sangat tipis, serat ini dapat mengantarkan sinyal yang jauh, *bandwidth* besar dan kecepatan tinggi (mencapai gigabit per detik), kebal terhadap gangguan elektromagnetik, dan lainnya [1]. Sehingga banyak digunakan pada pengaplikasian telekomunikasi, berkembang secara terus menerus pada bidang lain seperti medis untuk melakukan pemantauan pada tanda-tanda vital seseorang.

Semakin besar tingkat kebutuhan tenaga listrik dan kelangkaan bahan bakar fosil, maka diperlukan suatu energi alternatif untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai energi terbarukan adalah pemanfaatan energi matahari. Untuk memanfaatkan energi matahari dengan baik, diperlukan suatu alat yang mampu mengubah sumber energi matahari menjadi energi yang lain, seperti energi listrik. Untuk mengganti daya tersebut diperlukan perangkat yang dikenal sebagai *photovoltaic*. [1].

Sel surya merupakan energi terbarukan yang berkembang cukup pesat di dunia, termasuk Indonesia. Negara kita memiliki iklim yang berbeda dengan negara lain, dimana sinar matahari sepanjang tahun serta adanya sumber daya alam lain seperti pasir silika merupakan anugerah yang harus bis akita optimalkan. Sel surya memiliki banyak manfaat dalam berbagai kehidupan, oleh karenanya sistem pemasangan sel surya di ruang terbuka juga perlu diperhatikan. Karena bukan tidak mungkin jika panel surya bisa rusak, akibat guncangan atau pengaruh dari korosi akibat perubahan alam. Oleh karena itu, penggunaan pelapis material pada sel surya sangat penting untuk mencegah sel surya rusak. Indeks bias yang dibutuhkan lapisan kaca sel surya terhadap indeks udara adalah 1,52. Perbedaan ini akan mengakibatkan rendahnya nilai efisiensi panel surya sebesar 8%, hal ini dikarenakan efisiensi panel

berbanding terbalik dengan intensitas radiasi matahari [2-5].

Untuk alasan ini, pelapisan material anti-refleksi menjadi perhatian utama untuk mengoptimalkan nilai transmisi pada sel surya. Beberapa metode yang digunakan untuk membuat lapisan anti-refleksi antara lain chemical vapor *deposition*, *aerosol pyrolysis sputtering*, *laserabrasion*, *dip coating* dan *sol gel spin coating* [6]. Metode *sol gel spin coating* merupakan metode yang saat ini banyak digunakan karena murah, homogen, dapat dilakukan pada suhu rendah, tidak menggunakan ruangan dengan tingkat vakum yang tinggi, dan ketebalan lapisan dapat dikontrol [7]. Pelapisan *sol gel spin coating* adalah metode untuk membuat lapisan bahan polimer fotoresist yang diendapkan pada permukaan silikon dan bahan datar lainnya. Setelah larutan ditetaskan pada substrat, kecepatan putar diatur oleh gaya sentrifugal untuk menghasilkan lapisan tipis yang homogen [8].

Titanium dioksida (TiO_2) merupakan material yang paling banyak untuk sel surya, fotokatalis dan sensor. Keunggulan titanium dioksida adalah tidak beracun, banyak tersedia dan biaya proses pembuatannya cukup murah serta dapat mengendalikan korosi menggunakan metode pelapisan [9, 10], film pembersih [11], sel surya [12], masker [13], pelapis anti bakteri. [14], dan perangkat penyimpanan optoelektronik [15]. Titanium dioksida dapat membentuk lapisan anti-reflektif karena memberikan penyerapan rendah pada panjang gelombang pendek dan memiliki indeks bias tinggi [16]. Bahan silika merupakan salah satu bahan dasar terbaik dalam fabrikasi sel surya, bahan ini telah menarik perhatian para peneliti. Penelitian tentang silika sangat meningkat karena kemudahan proses pembuatan dan penggunaan silika yang luas di berbagai industri [17, 18]. Penggunaan bahan silika dengan bahan TiO_2 dapat meningkatkan keasaman dan *hidrofilisitas* permukaan. Selain itu, silika bersifat hidrofobik dan inert transparan, memiliki stabilitas termal yang

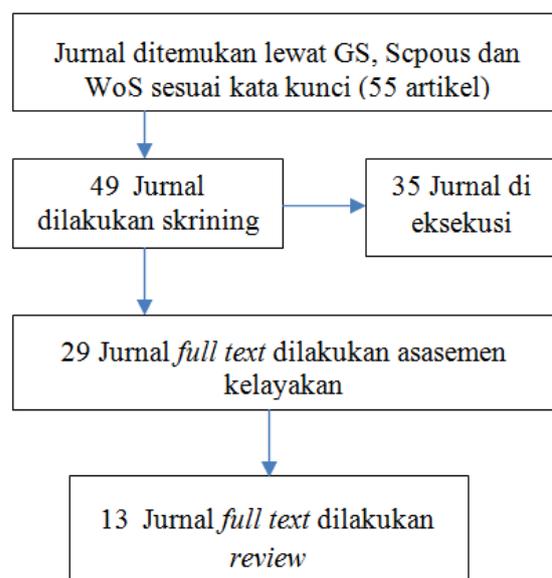
tinggi, luas permukaan spesifik yang besar, dan indeks bias yang rendah [19-21]. Semakin tinggi konsentrasi SiO₂, semakin transparan fotokatalis yang dihasilkan. Sehingga perlu ditentukan komposisi TiO₂-SiO₂ yang tepat untuk mendapatkan hasil yang optimal [22]. Lapisan anti-reflektif silika yang dikatalisis basa memiliki transmisi yang tinggi tetapi ketahanan abrasinya yang buruk, sedangkan lapisan anti-reflektif silika yang dikatalisis asam memiliki ketahanan abrasi yang tinggi tetapi transmitansi yang buruk. Pelapis antireflektif yang digunakan untuk melapisi sel surya harus memiliki transmitansi dan ketahanan abrasi yang tinggi.

Pada beberapa penelitian, nilai reflektansi lapisan Ar SiO₂-SiNx dengan indeks bias 2,2 adalah 3,3% dan lapisan antireflektif SiO₂-Al₂SO₃ menghasilkan reflektansi 10,8% [23]. Demikian juga penelitian yang dilakukan oleh Sharma et al. menunjukkan bahwa pelapis antireflektif pada material TiO₂-SiO₂ dapat menghasilkan efisiensi sebesar 14,55% [24]. Selain TiO₂, SiO₂ juga dikombinasikan dengan magnesium fluorida (MgF₂) yang memiliki pori-pori berstruktur linier dengan ikatan antar partikel yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan kekuatan lapisan film [25, 26]. Demikian juga seng oksida (ZnO) dan SiO₂ memiliki bandgap atau energy bandgap yang rendah sebesar 3,2 eV serta memiliki fotosintesis dan stabilitas yang sangat tinggi, sehingga cocok untuk pelapis antirefleksi [27]. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan material komposit SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂ yang dianalisis sifat antirefleksinya sebagai aplikasi pada sel surya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan literatur *review* dari berbagai jurnal dan artikel penelitian terkait penggunaan bahan SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂. Selanjutnya artikel tersebut dianalisis dan dievaluasi untuk mengetahui apakah artikel tersebut layak untuk *direview* atau tidak sebagai dasar untuk mengkaji konsep dan fabrikasi sel surya.

Pencarian artikel dilakukan dengan menggunakan kata kunci dari database jurnal yang terindeks melalui *Google Scholar*, *Scopus* dan *WoS* (55 artikel). Setelah mendapatkan jurnal *full text* yang dieksekusi dengan berbagai alasan (35 artikel), maka dilakukan pemilihan jurnal dengan kelengkapan yang baik dan sesuai dengan tujuan penelitian (29 artikel) dan terakhir dilakukan *review* artikel setelah dihilangkan dan sesuai dengan topik penelitian sebanyak 13 artikel. Hasil dari artikel *review* ini kemudian *direview* sesuai dengan tujuan penelitian yang meliputi menganalisis material komposit SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂ menggunakan metode sol gel spin coating untuk aplikasi fotovoltaik.



Gambar 1. Diagram alur review jurnal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Review artikel ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal material komposit dari berbagai material dengan paduannya (SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂) sebagai material pelapis sel surya. Metode pengumpulan literatur diperoleh dari database baik melalui Google Scholar atau Research Gate. Selanjutnya, literatur yang dikumpulkan dianalisis dan dievaluasi menggunakan Tabel Penilaian Kritis untuk mengatasi tujuan hasil pelapisan dan pengukuran bahan-bahan ini sebagai aplikasi sel surya.

Tabel 1. Terkait analisis penilaian kritis dari 13 jurnal.

Referensi Artikel	Material	Core Article	Methods	Result
[1]	SiO ₂ /TiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan single/double layer dari material tersebut sebagai aplikasi sel surya.	PC1D & Matlab	Penggunaan sistem pelapisan lapisan ganda pada kaca sel surya dapat meningkatkan kinerja sebesar 14%
[3]	SiO ₂	Menganalisis hasil sistem pelapisan ganda bahan silikat untuk meningkatkan nilai transmitansi daya laser.	Sol gel	Lapisan ganda pada bahan silikat ini dapat meningkatkan kinerja data laser hingga 99%
[4]	SiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan pada kaca yang dapat meningkatkan hasil nilai daya laser	Sol Gel	Lapisan ganda dengan bahan tersebut dapat meningkatkan nilai sifat anti-reflektif secara optimal pada kinerja laser
[5]	MSiO ₂ /PDDA	Menganalisis hasil pelapisan tunggal pada substrat kaca sebagai bahan anti reflektif.	Spin Coating	Lapisan ganda (bilayer) ini menggunakan bahan ini memiliki nilai transmitansi 99% dengan aplikasi periskop.
[6]	SiO ₂ -DMS	Menganalisis hasil pelapisan bahan silika dengan prekursor Hexamethyldisilazane sebagai bahan antirefleksi	Sol Gel	Lapisan ganda pada bahan silikat ini dapat meningkatkan kinerja data laser hingga 96%
[16]	TiO ₂ /SiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan titadium dioksida pada substrat silikat sebagai bahan anti reflektif untuk sel surya.	Sol Gel Coating	Pelapisan sol gel pada material ini dapat meningkatkan nilai transmitansi sel surya sebesar 86%
[19]	SiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan deposisi fasa cair pada pelapis kaca sel surya.	Liquid Phase Deposition	Pelapisan pada material ini dapat meningkatkan nilai efisiensi sebesar 19,5% untuk ukuran sel surya ukuran 156mmx156mm
[23]	SiO ₂ -TiO ₂	Menganalisis lapisan tunggal dan ganda pada silika sebagai bahan anti-reflektif dalam sel surya	Matrix Model Simulation	Pelapisan menggunakan pemodelan ini dapat meningkatkan nilai efisiensi kinerja sel surya secara optimal
[24]	SiO ₂	Menganalisis berbagai bahan silika jaminan single / double layer sebagai bahan anti-reflektif untuk mendukung sel surya	Spin Coating	Pelapisan dengan metode ini juga dapat meningkatkan nilai transmisi secara optimal pada sistem sel surya
[25]	SiO ₂ -TiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda bahan sebagai bahan anti reflektif pada sel surya	Sol Gel	Lapisan ganda pada material silikat ini dapat meningkatkan kinerja sel surya dengan transmitansi 99,7%
[27]	SiO ₂ -ZnO	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda bahan sebagai bahan anti reflektif pada sel surya	Dip Coating-Sol Gel	Pelapisan material ini mampu memperkecil nilai reflektansi sebesar 4-6% dan meningkatkan nilai transmitansi sebesar 96%.
[28]	SiO ₂ / MgF ₂	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda pada substrat kaca sebagai anti-reflektif untuk aplikasi medis dan militer.	Dip Coating	Pelapisan ini mampu meningkatkan nilai transmitansi yang baik untuk sel surya sebesar 89,0%
[29]	MgF ₂ /SiO ₂	Menganalisis hasil pelapisan lapisan ganda pada substrat kaca sebagai anti-reflektif untuk aplikasi laser dan sel surya	Sol Gel Spin Coating	Meningkatkan nilai transmitansi sekitar 98,9% lebih baik daripada jika dilakukan dengan menggunakan sol gel saja

Terdapat 13 artikel yang membahas tentang proses pembuatan lapisan tipis paduan SiO_2 , TiO_2 , ZnO dan MgF_2 sebagai bahan antirefleksi pada sel surya yang dibuat menggunakan metode sol gel, spin coating dan kombinasi. Jurnal tersebut merupakan jurnal internasional yang terindeks oleh Scopus yang proses pencariannya (jurnal) dilakukan melalui portal Scopus, WoS dan Google Scholar dengan mengetikkan beberapa kata kunci yang berkaitan dengan topik materi solar cell yang kemudian dianalisis menggunakan critical appraisal dan proses analisis jurnal inti yang diperoleh. serta hasil penelitian untuk mengetahui persamaan dan perbedaan jurnal. Berikut adalah Tabel 1 terkait analisis penilaian kritis dari 13 jurnal.

Tiga belas artikel literatur di atas menunjukkan hasil yang memvariasikan penggunaan material silika dengan komposisinya untuk dilapisi dengan baik pada lapisan kaca, baik lapisan tunggal maupun lapisan ganda untuk melihat hasil antirefleksi yang dilakukan dengan menggunakan metode yang banyak digunakan yaitu sol gel sebagai aplikasi mulai dari penguatan daya laser, medis, maritim dan panel sel surya. Pemilihan ketiga belas jurnal tersebut sesuai dengan tujuan peneliti yang ingin membahas hubungan antara material komposit yang digunakan dengan metode pelapisan untuk aplikasi panel sel surya.

Tabel 2. Penjelasan analisis penilaian kritis dari 7 jurnal.

Referensi Artikel	Material	Core Article	Result
[1], [16], [23], [25]	$\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$	Menganalisis sistem pelapisan mulai dari simulasi Matlab PC1D dan matriks serta difabrikasi menggunakan metode sol gel sebagai bahan anti reflektif yang optimal untuk aplikasi sel surya.	Simulation results of the double layer coating system on the Hasil simulasi sistem pelapisan lapisan ganda pada substrat dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi secara optimal. Demikian juga dengan fabrikasi komposit bahan-bahan tersebut juga dapat meningkatkan nilai transmitansi optimum dari 86% (single layer) menjadi 99,7% (double layer). Perbaikan ini sangat layak untuk diterapkan pada sistem dan panel sel surya.
[27]	$\text{SiO}_2\text{-ZnO}$	Menganalisis sistem double layer coating pada substrat kaca menggunakan metode dip coating sol gel sebagai antireflektif untuk aplikasi sel surya	Hasil fabrikasi pelapisan material ini mampu meminimalkan nilai refleksi, dengan menggunakan metode ini juga dapat meningkatkan nilai transmitansi (96%)
[28], [29]	$\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$	Menganalisis hasil double layer coating pada substrat kaca sebagai anti reflektif untuk aplikasi medis dan militer, medis dan sel surya.	Hasil fabrikasi menggunakan metode sol gel spin coating dapat meningkatkan nilai transmitansi lapisan kaca sel surya dari 89,0%-98,9%

Tabel 3. Perbandingan nilai transmitansi zat $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$, $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$.

Material	Transmittance (%)	Reference
$\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$	99,7	[25]
$\text{SiO}_2\text{-ZnO}$	96,1	[27]
$\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$	98,89	[29]

Berdasarkan analisis penilaian kritis, dari tiga belas artikel ada tujuh yang membahas aplikasi penggunaan material silika dengan komposisinya sebagai material antirefleksi yang efektif untuk aplikasi sel surya. Penjelasannya

diinterpretasikan pada Tabel 2. Pemasangan proses pelapisan pada material SiO_2 dengan beberapa komposisinya harus menjadi perhatian utama. Sebagai lapisan anti reflektif yang dipasang di luar gedung, perlu juga diperhatikan material harus tahan terhadap paparan sinar matahari dan guncangan yang disebabkan oleh angin. Transmisi maksimum lapisan komposit $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$, $\text{SiO}_2\text{-ZnO}$, $\text{SiO}_2\text{-MgF}_2$ secara simulasi dan didukung dengan fabrikasi lapisan tipis sebagai antirefleksi tidak mengalami perubahan pada rasio weight ratio,

artinya kekuatan erosi lapisan karena pengaruh sinar matahari atau cuaca yang sangat bagus. Hal ini membuat transmisi lapisan kaca sebagai aplikasi sel surya mencapai nilai optimum sebesar 99,7%. Hal yang sama berlaku untuk pelapis ZnO dan Si dengan indeks bias yang berbeda dari kedua bahan ini, jika cahaya tampak nyata bagi Anda (lapisan tunggal ZnO) memiliki nilai transmitansi yang rendah, tetapi nilai transmitansi akan meningkat jika SiO₂ digabungkan dengan ZnO (96,1%). Dengan demikian lapisan ganda SiO₂-MgF₂ juga dapat digunakan sebagai referensi sebagai pendukung energi surya fotovoltaik dengan tingkat transmitansi sebesar 98,89%. Maka dari ketujuh artikel tersebut dapat kita bandingkan nilai transmitansi dari hasil review mengenai nilai transmitansi material SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂, seperti terlihat pada Tabel 3.

KESIMPULAN

Hasil kajian dan temuan studi literatur bahan antireflektif lapisan rangkap SiO₂-TiO₂, SiO₂-ZnO, SiO₂-MgF₂ pada sel fotovoltaik, sehingga transmitansinya cukup baik untuk dijadikan kandidat bahan antirefleksi karena memiliki transmitansi tinggi 98,8% di lapisan anti-reflektif SiO₂-TiO₂. Transmisi yang diperoleh pada sampel menjadi salah satu parameter bahwa material tersebut dapat digunakan sebagai kandidat terbaik material antireflektif lapisan ganda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Fisika Fakultas Sains Universitas Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas penelitian sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

REFERENSI

1. Sharma, R., Amit, G., & Ajit, V. (2017). Effect of single and double layer antireflection coating to enhance

- photovoltaic efficiency of silicon solar. *Journal of Nano and Electronic Physics*.
2. Zhou, G., He, J., Gao, L., Ren, T., & Li, T. (2013). Superhydrophobic self-cleaning antireflective coatings on Fresnel lenses by integrating hydrophilic solid and hydrophobic hollow silica nanoparticles. *RSC Advances*, **3**(44), 21789–21796.
 3. Zhang, X. X., Cai, S., You, D., Yan, L. H., Lv, H. B., Yuan, X. D., & Jiang, B. (2013). Template-free sol-gel preparation of superhydrophobic ORMOSIL films for double-wavelength broadband antireflective coatings. *Advanced Functional Materials*, **23**(35), 4361–4365.
 4. Prené, P., Priotton, J. J., Beaurain, L., & Belleville, P. (2000). Preparation of a sol-gel broadband antireflective and scratch-resistant coating for amplifier blastshields of the french laser LIL. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **19**(1), 533–537.
 5. Zhang, L., Qiao, Z. A., Zheng, M., Huo, Q., & Sun, J. (2010). Rapid and substrate-independent layer-by-layer fabrication of antireflection-and antifogging-integrated coatings. *Journal of Materials Chemistry*, **20**(29), 6125–6130.
 6. Liang, Z., Li, W., Dong, B., Sun, Y., Tang, H., Zhao, L., & Wang, S. (2019). Double-function SiO₂-DMS coating with antireflection and superhydrophobic surface. *Chemical Physics Letters*, **716**, 211–214.
 7. Slamet, W. (2010). Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*.
 8. Fitriani, F., & Handani, S. (2017). Pengaruh Temperatur dan Waktu Putar Terhadap Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO yang Dibuat dengan Metode Sol-Gel Spin Coating. *Jurnal Fisika Unand*, **6**(2), 156–161.
 9. Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates Jr, J. T. (1995). Photocatalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms, and selected results. *Chemical reviews*, **95**(3), 735–758.

10. Fujishima, A., Zhang, X., & Tryk, D. A. (2008). TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena. *Surface science reports*, **63**(12), 515–582.
11. Pakdel, E., & Daoud, W. A. (2013). Self-cleaning cotton functionalized with TiO₂/SiO₂: focus on the role of silica. *Journal of colloid and interface science*, **401**, 1–7.
12. Son, S., Hwang, S. H., Kim, C., Yun, J. Y., & Jang, J. (2013). Designed synthesis of SiO₂/TiO₂ core/shell structure as light scattering material for highly efficient dye-sensitized solar cells. *ACS applied materials & interfaces*, **5**(11), 4815–4820.
13. Li, Y., Leung, P., Yao, L., Song, Q. W., & Newton, E. (2006). Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *Journal of Hospital Infection*, **62**(1), 58–63.
14. Evans, P., & Sheel, D. W. (2007). Photoactive and antibacterial TiO₂ thin films on stainless steel. *Surface and Coatings Technology*, **201**(22-23), 9319–9324.
15. Saravanan, K., Ananthanarayanan, K., & Balaya, P. (2010). Mesoporous TiO₂ with high packing density for superior lithium storage. *Energy & Environmental Science*, **3**(7), 939–948.
16. Sali, S., Kermadi, S., Zougar, L., Benzaoui, B., Saoula, N., Mahdid, K., ... & Boumaour, M. (2017). Nanocrystalline properties of TiO₂ thin film deposited by ultrasonic spray pulverization as an anti-reflection coating for solar cells applications. *Journal of Electrical Engineering*, **68**(7), 24.
17. Li, W., & Zhao, D. (2013). Extension of the Stöber method to construct mesoporous SiO₂ and TiO₂ shells for uniform multifunctional core–shell structures. *Adv. Mater.* **25**, 142–149.
18. Jankiewicz, B. J., Jamiola, D., Choma, J., & Jaroniec, M. (2012). Silica–metal core–shell nanostructures. *Advances in colloid and interface science*, **170**(1-2), 28–47.
19. Chen, Y., Zhong, S., Tan, M., & Shen, W. (2017). SiO₂ passivation layer grown by liquid phase deposition for silicon solar cell application. *Frontiers in Energy*, **11**(1), 52–59.
20. Huang, H., Modanese, C., Sun, S., von Gastrow, G., Wang, J., Pasanen, T. P., ... & Savin, H. (2018). Effective passivation of p⁺ and n⁺ emitters using SiO₂/Al₂O₃/SiN_x stacks: Surface passivation mechanisms and application to industrial p-PERT bifacial Si solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **186**, 356–364.
21. Preissler, N., Amkreutz, D., Dulanto, J., Töfflinger, J. A., Trinh, C. T., Trahms, M., ... & Schlatmann, R. (2018). Passivation of Liquid-Phase Crystallized Silicon With PECVD-SiN_x and PECVD-SiN_x/SiO_x. *physica status solidi (a)*, **215**(14), 1800239.
22. Huang, C. H., Bai, H., Liu, S. L., Huang, Y. L., & Tseng, Y. H. (2011). Synthesis of neutral SiO₂/TiO₂ hydrosol and its photocatalytic degradation of nitric oxide gas. *Micro & Nano Letters*, **6**(8), 646–649.
23. Diop, M. M., Diaw, A., Mbengue, N., Ba, O., Diagne, M., Niasse, O. A., ... & Sarr, J. (2018). Optimization and modeling of antireflective layers for silicon solar cells: In search of optimal materials. *Materials Sciences and Applications*, **9**(08), 705.
24. Zahid, M. A., Khokhar, M. Q., Cho, E. C., Cho, Y. H., & Yi, J. (2020). Impact of Anti-Reflective Coating on Silicon Solar Cell and Glass Substrate: A Brief Review. *Current Photovoltaic Research*, **8**(1), 1–5.
25. Lin, W., Zheng, J., Yan, L., & Zhang, X. (2018). Sol-gel preparation of self-cleaning SiO₂-TiO₂/SiO₂-TiO₂ double-layer antireflective coating for solar glass. *Results in physics*, **8**, 532–536.
26. E. Hecht, (2001). Optics, 4th edition, Addison- Wesley Publishing Company, New York.

27. Li, D., Huang, F., & Ding, S. (2011). Sol-gel preparation and characterization of nanoporous ZnO/SiO₂ coatings with broadband antireflection properties. *Applied surface science*, **257**(23), 9752–9756.
28. Sun, X., Tu, J., Li, L., Zhang, W., & Hu, K. (2020). Preparation of wide-angle and abrasion-resistant multi-layer antireflective coatings by MgF₂ and SiO₂ mixed sol. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **602**, 125106.
29. Sun, X., Xu, X., Song, G., Tu, J., Li, L., Yan, P., ... & Hu, K. (2020). Preparation of MgF₂/SiO₂ coating with broadband antireflective coating by using sol-gel combined with electron beam evaporation. *Optical Materials*, **101**, 109739.



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

SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Nomor 200/M/KPT/2020
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020
Nama Jurnal Ilmiah
Komunikasi Fisika Indonesia

E-ISSN: 2579521X

Penerbit: Universitas Riau

Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

TERAKREDITASI PERINGKAT 4

Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu
Volume 15 Nomor 1 Tahun 2018 sampai Volume 19 Nomor 2 Tahun 2022

Jakarta, 23 Desember 2020

Menteri Riset dan Teknologi/
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional
Republik Indonesia,



Bambang P. S. Brodjonegoro
Bambang P. S. Brodjonegoro