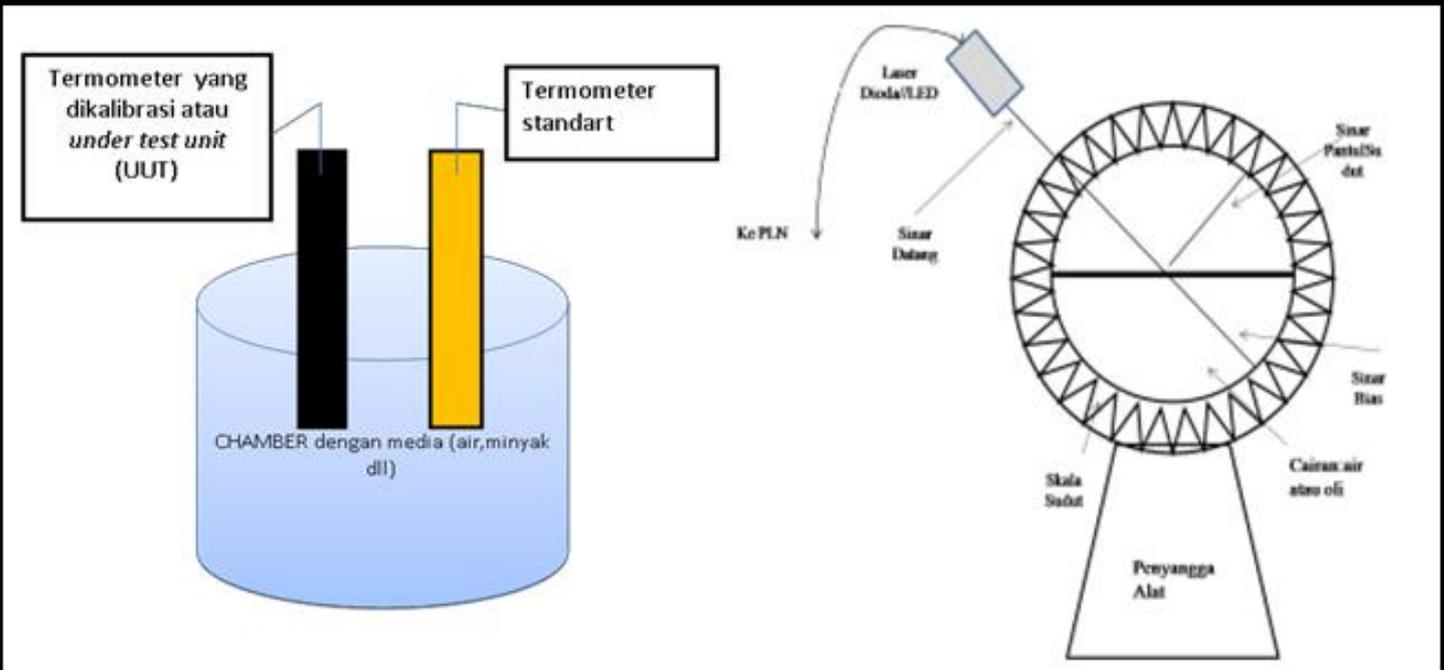


Komunikasi Fisika Indonesia





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
MENENTUKAN KUALITAS AIR BAWAH TANAH DI SEKITAR SPBU RIMBO PANJANG KAMPAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA <i>Fia Firdahlia, Juandi M</i>	93-98
SINTESIS DAN KARAKTERISTIK OPTIK <i>CARBON QUANTUM DOT</i> YANG BERASAL DARI ASAM SITRAT DENGAN VARIASI MASSA UREA <i>Elvan Yuniarti</i>	99-105
IDENTIFIKASI LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE DI WISATA AIR PANAS DESA PAWAN KABUPATEN ROKAN HULU <i>Dandy Putra, Usman Malik</i>	106-110
INTEGRASI <i>CHIRPING</i> DAN APODISASI BAHAN TOPAS UNTUK PENINGKATAN KINERJA SENSOR SERAT KISI BRAGG <i>Khaikal Ramadhan, Saktioto</i>	111-123
INTERPRETASI KUALITAS AIR BAWAH TANAH DI KELURAHAN TANGKERANG TENGAH KECAMATAN MARPOYAN DAMAI MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA <i>Devi Arvianti, Juandi M</i>	124-130
EVALUASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM KALIBRASI TERMOMETER DIGITAL MENGGUNAKAN PERSAMAAN REGRESI KALIBRASI <i>Icha Fatwasauri, Shantiana Tri Erawati, Margi Sasono, Rino Ferdian Surakusumah</i>	131-136
PEMBUATAN ALAT LABORATORIUM UNTUK PRAKTIKUM OPTIK GEOMETRI TINGKAT SMA BERBASIS LASER DIODA <i>Alexander Nasution, Minarni Shiddiq, Rakhmawati Farma, Sinta Afria Ningsih</i>	137-145
SURVEI SUMBER AIR PANAS DENGAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER (STUDI KASUS: WISATA AIR PANAS PAWAN, PASIRPANGARAIAN) <i>Bayu Yolanda Riputra, Usman Malik</i>	146-150
APLIKASI SISTEM SENSOR FIBER BRAGG GRATING UNTUK PENDETEKSIAN SIMULASI DENYUT JANTUNG <i>Febi Dwi Fadilla, Saktioto</i>	151-158
APLIKASI METODE GEOLISTRIK DIPOLE-DIPOLE DAN GEOKIMIA DALAM PENENTUAN REMBESAN LINDI PADA LAPISAN TANAH DI SEKITAR TPA MUARA FAJAR PEKANBARU <i>Aldianti Rizki Musdalifah Hutagalung, Usman Malik</i>	159-166

MENENTUKAN KUALITAS AIR BAWAH TANAH DISEKITAR SPBU RIMBO PANJANG KAMPAR DENGAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA

Fia Firdahlia*, Juandi M

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

E-mail korespondensi: fiafirdah30@gmail.com

ABSTRACT

The very rapid industrial growth in Rimbo Panjang village hurts the environment. The gas station industry can have an impact on underground water pollution due to leaks in reservoirs or spills. The level of water pollution will be at greater risk because in the Rimbo Panjang area there is peat lithology. The method used is the Schlumberger rule geoelectric survey with two passes, while the geochemical method is used to determine the quality of groundwater by analyzing the parameters of turbidity, pH, TDS, conductivity, and salinity. The results obtained from geoelectricity show that the village of Rimbo Panjang has five layers with the aquifer in the fifth layer on the first line and the third layer on the second line. While the chemical parameter values, turbidity values, TDS, conductivity, and salinity are classified as good, but pH parameters are classified as acidic. So it can be said that the water quality in Rimbo Panjang Village is still not suitable for consumption because the peat lithology and activities at gas stations have no impact on the environment.

Keywords: Groundwater, Geoelectricity, Schlumberger, Resistivity, Lithology, Geochemistry.

ABSTRAK

Pertumbuhan industri yang sangat pesat di Desa Rimbo Panjang memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Industri SPBU dapat menimbulkan dampak pada pencemaran air bawah tanah karena peristiwa kebocoran pada penampungan maupun tumpahan. Tingkat pencemaran air akan beresiko lebih besar karena di daerah Rimbo Panjang berlitologi gambut. Metode yang dilakukan adalah survei geolistrik aturan Schlumberger dengan dua lintasan sedangkan untuk menentukan kualitas air bawah tanah digunakan metode geokimia dengan menganalisis parameter kekeruhan, pH, TDS, konduktivitas dan salinitas. Hasil yang diperoleh dari geolistrik menunjukkan bahwa Desa Rimbo Panjang memiliki lima lapis dengan akuifer berada di lapisan ke lima pada lintasan satu dan lapisan ke tiga pada lintasan dua. Sedangkan nilai parameter kimia, nilai kekeruhan, TDS, konduktivitas dan salinitas tergolong baik namun parameter pH tergolong asam. Sehingga dapat dikatakan bahwa kualitas air di Desa Rimbo Panjang masih belum layak dikonsumsi karena litologi yang gambut dan kegiatan di SPBU tidak berdampak pada lingkungan.

Kata kunci: Air Bawah Tanah, Geolistrik, Schlumberger, Resistivitas, Litologi, Geokimia.

Diterima 09-09-2020 | Disetujui 30-03-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Air adalah salah satu komponen yang sangat penting dalam kehidupan manusia dan memiliki keunggulan. Air tanah terbentuk karena air hujan yang turun ke permukaan tanah kemudian menyerap kedalam tanah dan pergerakan air tanah mencapai pada titik kumpul air tanah dan menjadi bagian dari sistem air tanah [1].

Desa Rimbo Panjang terletak di salah satu desa yang berada di wilayah Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar berbatasan langsung dengan Kota Pekanbaru yang mana Desa Rimbo Panjang membentang sepanjang jalan Raya Pekanbaru-Bangkinang kurang lebih 10 KM persegi. Kehidupan masyarakat di Desa Rimbo Panjang didominasi oleh pertanian, perkebunan, dan buruh harian. Nenas adalah

salah satu buah segar yang merupakan hasil pertanian yang paling unggul di Desa Rimbo Panjang. Air tanah adalah salah satu komponen yang banyak di manfaatkan untuk kehidupan sehari-hari dan untuk hewan atau tumbuhan lainnya yang mana air tanah merupakan cabang dari air tawar terbesar di bumi [2].

Kualitas air tanah dapat ditentukan dengan beberapa parameter, ada parameter fisika berupa suhu, warna dan konduktivitas, porositas [3] Dan parameter kimia berupa pH, salinitas dan oksigen terlarut lainnya yang mana parameter ini dapat menentukan kualitas dari air-air yang ada di dalam maupun permukaan tanah. Air yang dikategorikan tercemar apabila hasil dari parameter kualitas air tergolong tidak baik atau standar kualitas yang tidak terpenuhi sehingga air tanah diketahui perkembangan untuk diinterpretasikan kedalam kategori geologi dan hidrogeologi [4].

Metode resistivitas merupakan metode yang digunakan untuk menentukan nilai resistivitas dan menetapkan distribusi potensial di permukaan tanah [5]. Metode geolistrik yaitu salah satu metode geofisika untuk menentukan sifat aliran listrik yang terdapat didalam bumi yang mana metode geolistrik memiliki banyak macamnya [6]. Konfigurasi elektroda Schlumberger dengan menggunakan empat elektroda, yaitu dua elektroda arus dan dua elektroda potensial yang mana elektroda potensial dalam keadaan tetap. Hasil dari pengukuran lapangan didapati nilai tahanan jenis yang merupakan fungsi dari elektroda dan berhubungan dengan kedalaman penetrasinya [7]. Pengujian kualitas air untuk menghindari dampak pencemaran air yang dibagi dalam 4 kategori yaitu dampak terhadap kehidupan biota air, dampak terhadap kualitas air tanah, dampak terhadap kesehatan dan dampak terhadap lingkungan sekitar [8-10].

Dari penjelasan di atas maka penulis ingin melakukan penelitian untuk mengetahui :

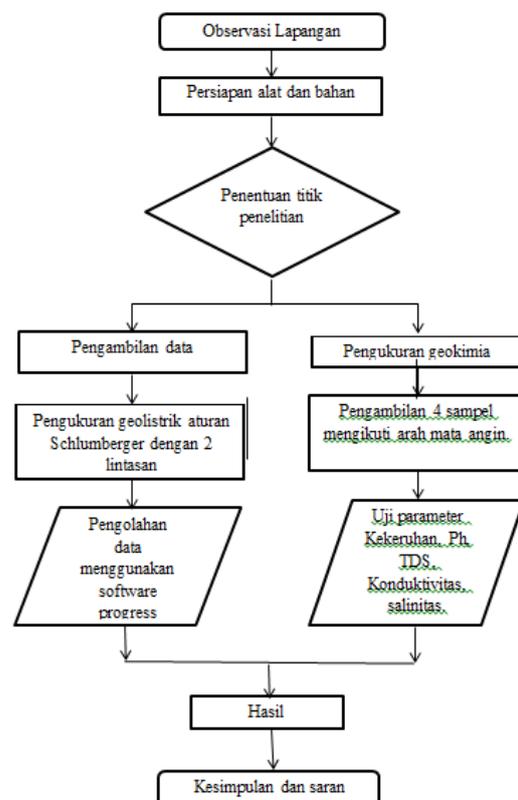
1. Menentukan litologi lapisan bawah permukaan dan mengetahui nilai resistivitas dengan menggunakan metode geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Desa Rimbo

Panjang Kecamatan Tambang Kabupaten Kampar.

2. Menentukan kualitas air berdasarkan parameter kekeruhan, pH, TDS, Konduktivitas dan Salinitas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Desa Rimbo Panjang Kecamatan Tambang dengan menggunakan metode geolistrik dan metode geokimia. Metode geolistrik menggunakan konfigurasi Schlumberger dengan pengambilan data melalui dua lintasan sepanjang 100 m. lintasan pertama berada di koordinat N 0°26'21" – E 101°19'16" dan lintasan kedua berada di koordinat N 0°26'21" – E 101°19'16". Sedangkan metode geokimia untuk menentukan kualitas air tanah dengan menggunakan lima parameter yaitu kekeruhan, pH, TDS, konduktivitas dan salinitas.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

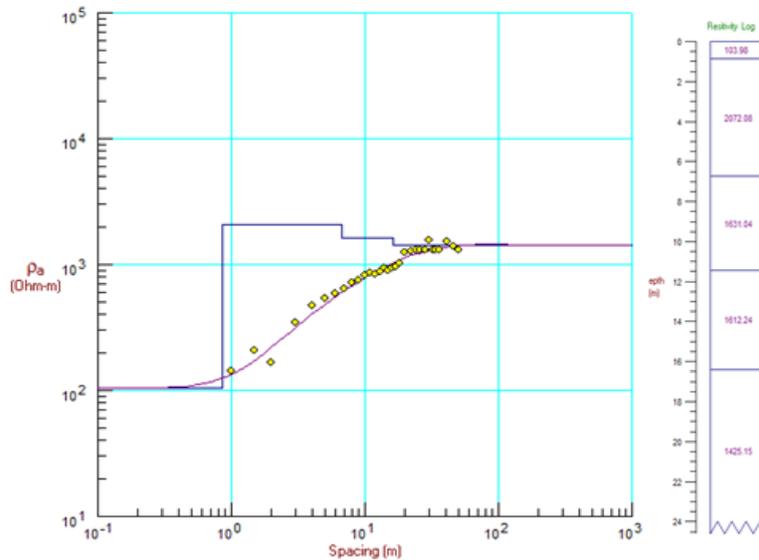
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan dua metode yaitu metode geolistrik dan metode geokimia.

Data Hasil Pengukuran dan Pengolahan Berdasarkan Pengukuran Geolistrik Lintasan 1

Hasil dari pengolahan data menggunakan *Software Progress* pada koordinat N 0°26'21" –

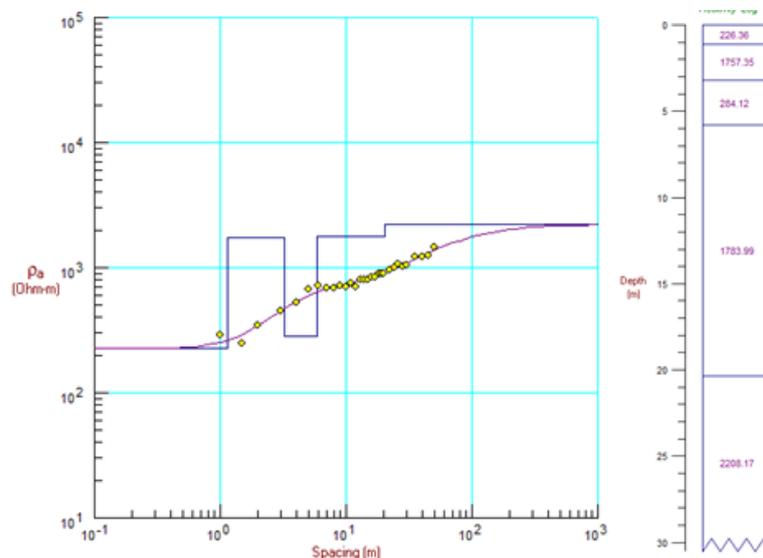
E 101°19'16" di lintasan 1 dengan persentase error 9,7047% yang terdiri dari 5 lapisan dengan kedalaman dan nilai resistivitas yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Restivitas dan litologi lintasan 1.

Pada lapisan pertama dengan ketebalan 1 m dengan nilai resistivitas 103,98 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan gambut basah. Lapisan kedua dengan ketebalan 5,7 m dengan nilai resistivitas 2.072,08 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan gambut kering bercampur serpih. Lapisan ketiga dengan ketebalan 4,8 m dengan nilai resistivitas 1.631,04 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil kering

dan pasir lempungan. Lapisan keempat dengan ketebalan 5 m dengan nilai resistivitas 1.612,24 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil kering dan pasir lempungan. Lapisan kelima dengan ketebalan 5 m sampai tak hingga dengan nilai resistivitas 1.425,15 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan pasir lempungan dimana letak titik akuifer terbatas terdapat pada lapisan kelima.



Gambar 3. Restivitas dan litologi lintasan 2.

Data Hasil Pengukuran dan Pengolahan Berdasarkan Pengukuran Geolistrik Lintasan 2

Hasil dari pengolahan data menggunakan Software Progress pada koordinat N 0°26'21" – E 101°19'16" dilintasan 2 dengan persentase error 6,1070% yang terdiri dari 5 lapisan dengan kedalaman dan nilai resistivitas yang berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada lapisan pertama dengan ketebalan 1 m dengan nilai resistivitas 226,36 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan gambut basah. Lapisan kedua dengan ketebalan 2 m dengan nilai resistivitas 1.757,35 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan gambut kering bercampur serpih. Lapisan ketiga dengan ketebalan 3 m dengan nilai resistivitas 284,12 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan gambut basah. Lapisan keempat dengan ketebalan 14,02 m dengan nilai resistivitas 1.783,99 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil kering dan pasir lempungan. Lapisan kelima dengan ketebalan 14,02 sampai tak hingga dengan nilai resistivitas 2.208,17 Ωm diinterpretasikan sebagai lapisan lempung dimana letak titik akuifer air terdapat pada lapisan ketiga sebagai air gambut.

Hasil Pengukuran dan Pengolahan Berdasarkan Pengukuran Data Geokimia.

Pengukuran geokimia dilakukan dengan menggunakan lima parameter dan pengujian 4 sampel pada masing-masing parameter yaitu Kekeruhan, pH, TDS, Konduktivitas dan Salinitas. Hasil uji kualitas air ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil data geokimia.

Kode	Turb	pH	TDS	Cond	Salt
A	1.95	4.41	4	6	2
B	2.16	4.02	14	24	10
C	11.46	4.07	8	14	6
D	1.14	3.25	20	29	13

Pengambilan sampel berdasarkan titik arah mata angin dengan koordinat yang berbeda-

beda. Koordinat pada setiap sampel ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Koordinat sampel.

Kode Sampel	Titik Koordinat
Sampel A	N 0,456046 – E 101,354455
Sampel B	N 0,458259 – E 101,355200
Sampel C	N 0,456997 – E 101,355786
Sampel D	N 0,456484 – E 101,355177

Analisis kekeruhan pada umumnya memiliki satuan NTU. Dari hasil data geokimia pada nilai kekeruhan pada sampel A yaitu 1,95 NTU, sampel B yaitu 2,16 NTU, sampel C yaitu 11,46 NTU, sampel D yaitu 1,14 NTU. Dari keempat sampel masih tergolong kekeruhan yang baik karena masih dibawah standar baku mutu kekeruhan yaitu sebesar 25 NTU.

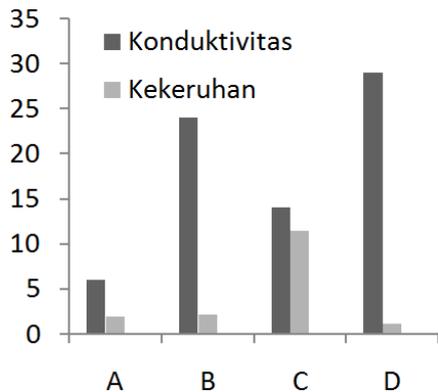
Analisis pH untuk menentukan sifat asam atau basa pada air dengan $\text{pH} < 7$ merupakan air bersifat asam, untuk $\text{pH} = 7$ merupakan air bersifat netral dan $\text{pH} > 7$ merupakan air bersifat basa. Dari hasil uji data geokimia untuk pH didapati bahwa semua sampel memiliki $\text{pH} < 7$ berarti termasuk air yang bersifat asam. Air yang bersifat asam tidak layak untuk di konsumsi.

Analisis TDS untuk menentukan banyaknya jumlah padatan logam berat yang terkandung didalam air. Berdasarkan standar WHO (*World Health Organization*) kandungan TDS yang layak untuk dikonsumsi yaitu kecil dari 300. Dari keempat sampel untuk nilai TDS masih tergolong kecil atau layak untuk di konsumsi.

Analisis konduktivitas untuk menentukan banyaknya zat yang terlarut yang dapat menghantarkan arus listrik. Konduktivitas yang baik untuk digunakan atau dikonsumsi yaitu kecil dari 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. dari keempat sampel nilai konduktivitasnya tergolong kecil berarti baik untuk di konsumsi.

Analisis salinitas untuk menentukan jumlah kadar garam didalam sampel dengan standar baku mutu layak minum kecil dari 50 mg/L. Dari keempat sampel nilai salinitas yang didapat masih dibawah standar baku mutu berarti sangat layak untuk dikonsumsi.

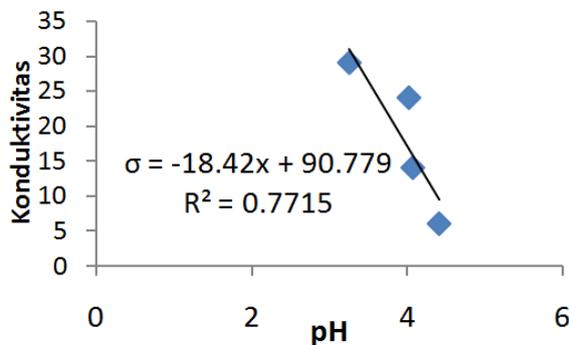
Hubungan Konduktivitas dengan Parameter Kekeruhan



Gambar 4 Hubungan konduktivitas dengan kekeruhan.

Gambar 4 menunjukkan bahwa konduktivitas dengan kekeruhan tidak memiliki hubungan karena dari gambar grafik dapat kita lihat bahwa kekeruhan dan konduktivitas pada sampel terlihat acak, tidak berbanding lurus ataupun berbanding terbalik.

Hubungan Konduktivitas dengan Parameter pH



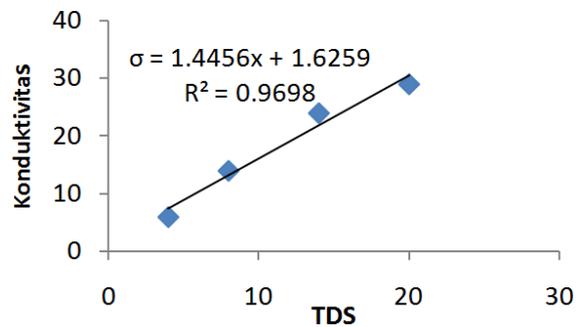
Gambar 5. Hubungan konduktivitas dengan pH.

Gambar 5 menunjukkan bahwa hubungan konduktivitas dengan parameter pH berbanding terbalik. Semakin rendah nilai konduktivitas maka semakin tinggi nilai pH. pH semakin tinggi menghasilkan ion yang lebih sedikit dibandingkan dengan nilai pH yang rendah

Hubungan konduktivitas dengan parameter TDS

Gambar 6 menunjukkan bahwa hubungan konduktivitas berbanding lurus dengan nilai

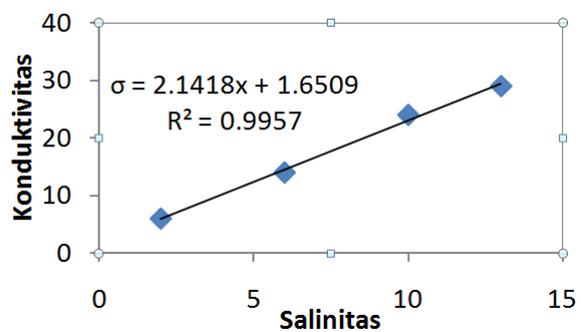
TDS karena semakin besar nilai konduktivitas maka nilai TDS juga semakin besar. Artinya jumlah padatan logam dan kandungan ion didalam air semakin besar.



Gambar 6 Grafik Hubungan Konduktivitas dengan TDS.

Hubungan Konduktivitas dengan Parameter Salinitas

Gambar 7 menunjukkan bahwa hubungan antara konduktivitas dengan salinitas berbanding lurus atau linear yaitu semakin besar nilai konduktivitas maka semakin besar nilai salinitas yang didapat. Artinya salinitas dapat menghantarkan arus listrik dikarenakan kadar garam pada larutan terdapat ion yang bergerak bebas.



Gambar 7 Grafik Hubungan Konduktivitas dengan Salinitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari metode geolistrik yang digunakan pada dua lintasan dan pengolahan data dengan menggunakan *Software Progress* maka didapat lima lapisan tanah dan resistivitasnya. Analisa nilai resistivitas di daerah penelitian pada lintasan 1 untuk mengetahui potensi air dengan nilai resistivitas 1.425,15 Ωm sebagai akuifer terbatas.

Sedangkan pada lintasan 2 dengan nilai resistivitas 284,12 Ω m sebagai akuifer (air gambut). Analisis litologi dibawah permukaan di daerah penelitian berdasarkan lintasan 1 dan lintasan 2 merupakan lapisan yang berlitologi gambut. Analisis kualitas air bawah tanah dengan menggunakan 5 parameter uji. Pada parameter kekeruhan, TDS dan konduktivitas masih tergolong bagus tapi pada kekeruhan pH dan salinitas masih dibawah standar baku mutu dengan nilai pH < 6,5 dan nilai salinitas lebih besar dari 0,5 ppt. Kualitas air di daerah penelitian masih belum layak untuk dikonsumsi karena dari semua parameter terdapat 2 parameter yang belum memenuhi standar baku mutu.

REFERENSI

1. Juandi, M. (2017). Sustainability Model for Unconfined Aquifers. *International Journal of Science and Applied Technology*, **1**(1), 8–14.
2. Wanielista, M., Kersten, R., and Eaglin, R. (1997). *Hydrology: Water Quantity and Quality Control*. New York : Joh Wiley and Sons Inc.
3. Juandi, M. (2016). Quantitative Models to Study the Soil Porosity as Function of Soil Resistivity. *Open Journal of Modern Hydrology*, **6**(4), 253–262.
4. Saputri, R., Malik, U. and Juandi, J. (2018). Prediksi Kedalaman dan Analisa Potensi Air Bawah Tanah: Studi Kasus 2 Kecamatan Senapelan Kota Pekanbaru. *Journal Online Of Physics*, **4**(1), 12–17.
5. Slamet dan Ruhayat, H. (1981). Geofisika Eksplorasi Terbatas. Bandung : Lembaga Fisika Nasional – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
6. Juandi, M., Malik, U. and Leonardo, M. (2018). Analisa Tingkat Pencemaran Air Bawah Tanah dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Kecamatan Tampan Kota Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **15**(1), 23–27.
7. Arman, Y. (2012). Identifikasi Struktur Bawah Tanah di Kelurahan Pangmilang Kec. Singkawang Selatan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas dan Inversi Lavenberg – Marquardt. *Jurnal Positron*, **2**(1), 6–11.
8. Kementerian Lingkungan Hidup. (2004). *Pengendalian Pencemaran Air*. Jakarta.
9. 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.
10. Yasmin, A. P. & Juandi, M. (2021). Interpretasi lapisan bawah permukaan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger dan geokimia: Studi kasus TPA Muara Fajar Rumbai. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 22–28.



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

SINTESIS DAN KARAKTERISTIK OPTIK *CARBON QUANTUM DOT* YANG BERASAL DARI ASAM SITRAT DENGAN VARIASI MASSA UREA

Elvan Yuniarti

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

E-mail korespondensi: elvan.yuniarti@uinjkt.ac.id

ABSTRACT

Carbon quantum dot (CQD) is a semiconductor carbon material with a size smaller than 10 nm. CQD has many benefits in the fields of sensors, LEDs, drug delivery, biomedicine industry, fluorescence, solar cells, etc. This study synthesizes CQD with an up and down method using microwave radiation. Sample derived from citric acid was given 1 gr, 1.7 gr, 2.4 gr, and 3.2 gr of urea. Furthermore, the sample was tested using ultraviolet-visible (UV-Vis) spectroscopy and fluorescence spectroscopy. From the spectra, we analyzed the optical properties consisting of the amount of absorption, gap energy, the intensity of its fluorescence. UV-Vis spectra of CQD extends between 300 nm and 822 nm. Fluorescence excitation wavelengths range from 360 – 800 nm. The determined energy gaps of the CQD by using touch plot method are 2.3 eV and 2.4 eV.

Keywords: Carbon Quantum Dot, Gap Energy, UV-Vis, Urea Fluorescence.

ABSTRAK

Carbon quantum dot (CQD) merupakan material karbon semikonduktor dengan ukuran lebih kecil dari 10 nm. CQD memiliki banyak manfaat di bidang sensor, LED, pengiriman obat, industri biomedis, fluoresensi, sel surya, dan lain-lain. Penelitian ini mensintesis CQD dengan metode naik turun menggunakan radiasi gelombang mikro. Sampel yang berasal dari asam sitrat diberi 1 gr, 1,7 gr, 2,4 gr, dan 3,2 gr variasi urea. Selanjutnya sampel diuji menggunakan spektroskopi ultraviolet-terlihat (UV-Vis) dan spektroskopi fluoresensi. Hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui sifat optik yang terdiri dari jumlah serapan, energi gap, intensitas fluoresensinya. Spektrum UV-Vis CQD membentang antara 300 nm dan 822 nm. Panjang gelombang eksitasi fluoresensi berkisar dari 360 – 800 nm. Energi gap CQD yang ditentukan dengan menggunakan metode touch plot adalah 2,3 eV dan 2,4 eV.

Kata kunci: Carbon Quantum Dot, Energi Gap, UV-Vis, Fluoresensi Urea.

Diterima 29-04-2020 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Penelitian *carbon quantum dot* (CQD) telah dilakukan dari tahun 2004. CQD merupakan nanopartikel carbon yang ukurannya lebih kecil dari 10 nm. Penelitian ini penting dilakukan karena begitu banyak manfaat dari material ini di berbagai bidang seperti bidang optoelektronik, sensor, fotovoltaiik, *drug delivery*, biomedis dan lain-lain [1-3]. Tujuan penelitian ini yaitu mensintesis CQD, menganalisis sifat optik dari CQD yang diperoleh yaitu besar absorbansi dari *ultraviolet-visible* (UV-Vis), intensitas

emisi fluoresensi, besar energi *gap* CQD, dan tingkat kedalaman absorpsi dari CQD. Manfaat penelitian ini material CQD dapat dijadikan *dye* untuk sel surya.

TINJAUAN PUSTAKA

Carbon Quantum Dot

Sintesis CQD dapat dibuat dari metode *top down* dan metode *bottom up*. CQD dapat disintesis dari bahan alam, bahan limbah alam. Ukuran CQD yang diperoleh dari penelitian

terdahulu dipengaruhi oleh sumber bahan dasar dari CQD, metode yang digunakan dan setiap ukuran partikel CQD yang dihasilkan akan mengemisikan warna-warna yang berbeda. Sintesis CQD dengan metode hidrotermal yang berasal dari bahan paprika, jus pome, ampas tebu, asam sitrat, kentang, kulit timun, madu, gelatin, dan lain-lain yang menghasilkan warna fluoresensi berwarna biru dan ukuran yang dihasilkan 2 – 9 nm. Sedangkan CQD yang diperoleh dari jelaga kulit jeruk dengan warna emisi fluoresensi dari 1 – 10 nm [4].

Metode Sintesis Carbon Quantum Dot

Sintesis CQD dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu metode ablasi kimiawi, karbonisasi secara elektrokimia, ablasi laser, irradiasi *microwave*, hidrotermal, solvotermal, dan lain-lain. Penelitian ini dipilih dengan metode *microwave* karena dapat dilakukan cepat, dapat terukur, biayanya efektif, dan ramah lingkungan. Kelemahan metode *microwave* yaitu sulit mengontrol ukuran partikel CQD [5]. Sintesis CQD telah dilakukan dengan metode *microwave* untuk biomedis dengan menggunakan asam sitrat dan urea menghasilkan emisi berwarna biru, hijau, kuning, merah, dan mendekat infra merah. CQD yang diperoleh memiliki sifat tidak beracun, sifat materialnya bias di *tuning* [6].

Metode Touch Plot dalam Pengukuran Energi Gap

Penelitian ini menghitung energi *gap* dari koefisien absorpsi hasil pengujian spektroskopi UV-Vis. Selanjutnya dihitung energi *gap* dengan metode *touch plot*. Metode ini berdasarkan koefisien absorpsi bergantung pada energi sesuai dengan persamaan berikut:

$$\alpha h\nu^{1/\gamma} = B(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Koefisien absorpsi α , konstanta planck h , frekuensi ν , energi *gap* E_g , B konstanta, faktor γ bergantung dari transisi electron langsung

sebesar $\frac{1}{2}$ dan untuk transisi electron tidak langsung sebesar 2 transisi *bandgap* [7].

Sifat Material Carbon Quantum Dot

CQD yang dihasilkan dari sintesis dari variasi asam sitrat dengan metode *microwave* telah dilakukan sebelumnya. Hasil CQD memiliki spektra absorpsi UV-Vis yang kuat dibawah 400 nm. Hal ini bersesuaian dengan transisi $n-\pi^*$ dari C=O dan transisi $\pi-\pi^*$ dari C=C. Gugus fungsi pada CQD dapat dikarakterisasi oleh spektroskopi *Fourier-transform infrared* menunjukkan intensitas maksimum pada puncak pita yang lebar pada 3300 cm^{-1} menunjukkan *stretching* gugus fungsi O-H dalam jumlah banyak. Puncak spektra di 1750 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C=O. Puncak kecil sekitar 1650 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C=C. Puncak 1200 cm^{-1} menunjukkan *stretching* C-O-C. Hasil dari pengujian *transmission electron microscopy* ukuran CQD dihasilkan sebesar 3 nm. Pada Emisi fluoresensi carbon quantum dot antara 300 – 600 nm [8].

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Terpadu PLT UIN Syarif Hidayatullah dan Laboratorium Fisika IPB.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan terdiri dari *Erlenmeyer*, labu takar, gelas piala, gelas ukur, timbangan analitik, *oven*, *microwave*, spektrofotometri UV-Vis, dan spektroskopi fluoresensi. Bahan yang digunakan berupa asam sitrat, urea, dan aquades.

Metode Sintesis Carbon Quantum Dot

Sintesis CQD diperoleh dengan menambahkan asam sitrat 0,5 gr ke dalam gelas ukur dengan urea. Penambahan urea diberikan bervariasi yaitu 1 gr, 1,7 gr, 2,4 gr, dan 3,2 gr.

Selanjutnya asam sitrat dan urea dilarutkan dengan 10 ml aquades. Sehingga akan terbentuk larutan transparan. Larutan tersebut di radiasi dengan gelombang mikro dengan *microwave* selama 4 menit. Larutan tersebut akan berubah menjadi warna coklat. Selanjutnya akan berubah menjadi *cluster* padatan berwarna coklat, hal ini menandakan bahwa CQD terbentuk. Residu pada padatan dihilangkan dengan dipanaskan selama satu jam di dalam oven. Selanjutnya padatan ditambah aquades 10 ml untuk di purifikasi sentrifuse kemudian di dekantasi. Untuk memperoleh CQD yang pekat yaitu dengan cara dipanaskan diatas *hotplate*. CQD yang terbentuk diuji dengan spektroskopi UV-Vis dan spektroskopi fluoresensi. Pengukuran absorpsi CQD Setiap sampel ditimbang sebanyak 0,01 gr kemudian dilarutkan dengan air bebas ion ke dalam labu takar 10 ml. Setiap sampel lalu diencerkan dengan konsentrasi beragam dan diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis 1700 Shimadzu. Serapan diukur pada rentang panjang gelombang 200 – 700 nm untuk mendapatkan spektrum serapan.

Pengukuran emisi CQD setiap sampel ditimbang sebanyak 0,01 gr kemudian dilarutkan dengan air bebas ion ke dalam labu takar 10 mL. Setiap sampel lalu diencerkan dengan konsentrasi beragam dan diukur serapannya dengan menggunakan spektrofotometer *Optic Ocean*. Serapan diukur pada rentang panjang gelombang 200 – 700 nm untuk mendapatkan spektrum emisi. Selanjutnya pengujian energi *gap* diperoleh dengan metode *touch plot* dari hasil hubungan grafik koefisien serapan UV-Vis dengan energi.

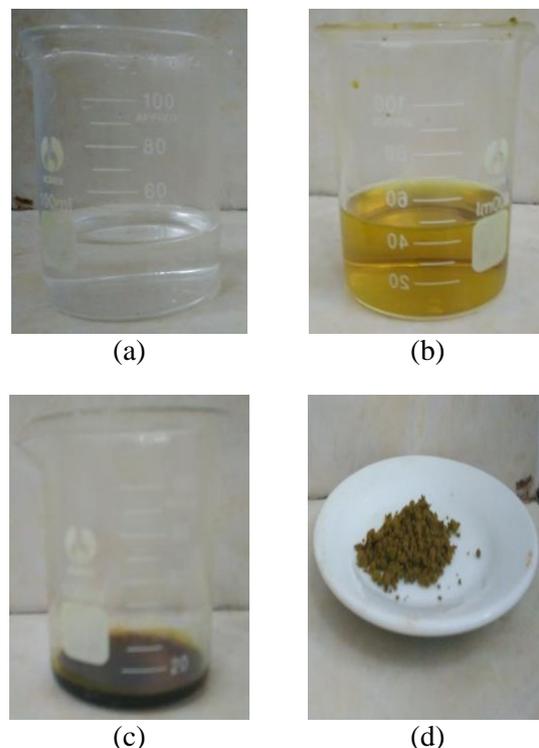
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembentukan *Carbon Quantum Dot*

Penelitian ini berhasil membuat CQD dari asam sitrat dan urea dengan beberapa variasi seperti pada Gambar 1. CQD yang divariasikan dari asam sitrat yang ditambah 1 gr urea tidak

menghasilkan endapan tapi berupa larutan yang warnanya belum berubah masih bening atau tidak berwarna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 (a). Penambahan urea 2,4 gr urea memperoleh hasil perubahan warna menjadi kekuning-kuningan setelah dipanaskan dalam *microwave* selama 4 menit. Hasil dapat dilihat pada warna larutan seperti pada Gambar 1 (b). Sedangkan larutan CQD untuk 3,2 gr Urea.

Hasil yang diperoleh berupa endapan CQD diperoleh untuk 3,2 gr urea dan asam sitrat 0,5 gr pada 10 ml aquades. Hasilnya dapat dilihat berupa padatan berwarna coklat ke kuning kuningan. Padatan ini merupakan CQD yang digunakan sebagai *dye* pada CQD. Hasil tersebut merupakan hasil dari polimerasi.



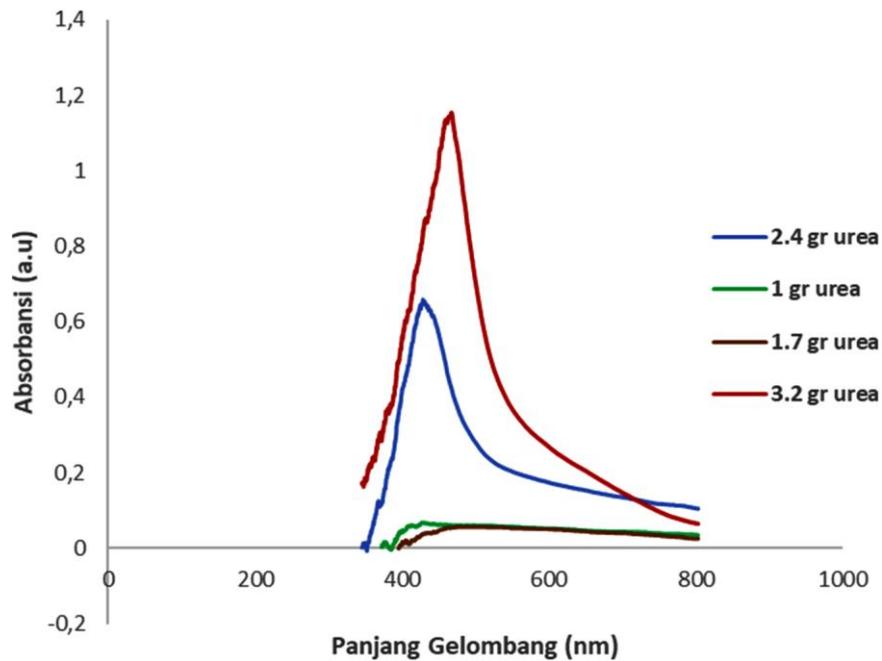
Gambar 1. Proses hasil sampel CQD yang terbentuk: (a) penambahan 1 gr urea; (b) CQD penambahan 2,4 gr urea; (c) CQD dengan penambahan 3,2 gr urea; (d) serbuk CQD terbentuk.

Hasil Pengujian *Carbon Quantum Dot* dengan Spektroskopi UV-Vis

Hasil uji CQD dengan penambahan 1 gr urea diperoleh panjang gelombang puncak absorbansi di 425,57 nm. Namun nilai yang diserap sangat kecil dengan penyerapan

sebesar 0,036. Hal ini dikarenakan sifat fisis dari larutan tidak berwarna. Jangkauan penyerapan yang kecil ini berada pada panjang gelombang 395 – 822 nm. Sedangkan hasil pengujian UV-Vis dengan penambahan 1,7 gr urea memperoleh panjang gelombang puncak absorpsi di 442,05 nm. Namun nilai yang diserap sangat kecil dengan penyerapan dengan nilai absorbansinya 0,042. Terjadi pergeseran panjang gelombang. Jangkauan penyerapan

berada di daerah cahaya tampak dengan jangkauan panjang gelombang 357,39 – 813 nm. Sampel CQD dengan variasi urea 2,4 gr diperoleh panjang gelombang puncak absorpsi di 434,71 nm. Namun nilai yang diserap sangat kecil dengan penyerapan dengan nilai absorbansinya 0,6. Terjadi pergeseran panjang gelombang. Jangkauan penyerapan berada di daerah cahaya tampak dengan panjang gelombang 348 – 799 nm.



Gambar 2. Spektrum absorpsi UV-Vis dari CQD.

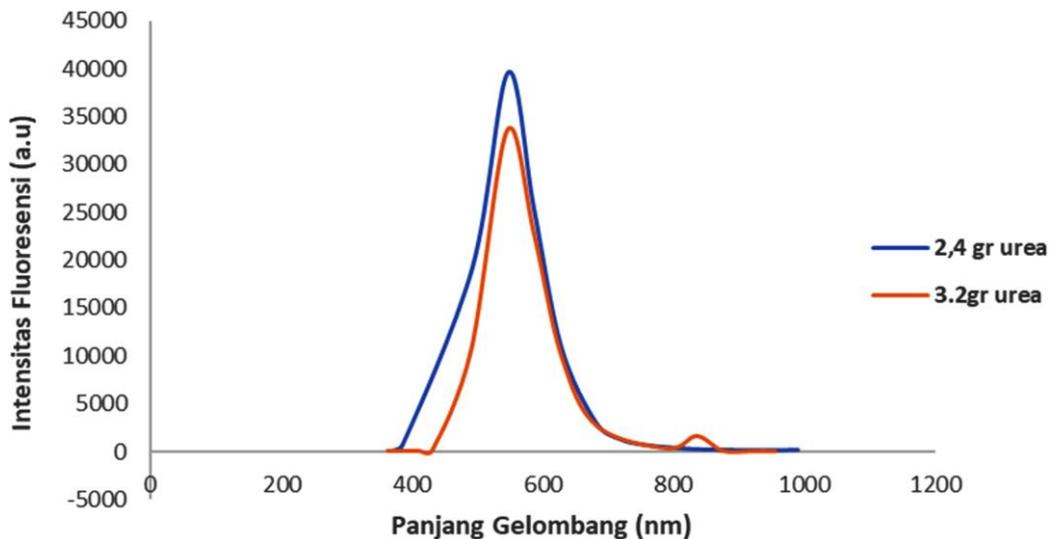
Sintesis CQD yang berasal dari asam sitrat ditambah dengan penambahan urea 3,2 gr memperoleh hasil spektrum absorpsi seperti pada Gambar 2. Puncak absorpsi diperoleh untuk panjang gelombang 469,81 nm dengan absorbansi 1,142. Terdapat pergeseran puncak bergeser ke kanan dengan penambahan urea dengan jangkauan panjang gelombang 391,44 – 539,24 nm. Bertambahnya massa urea semakin meningkat nilai absorbansinya. Daerah penyerapan CQD berada di daerah cahaya tampak. Penambahan urea juga menyebabkan terjadinya pergeseran puncak ke kanan dengan penambahan energinya semakin besar. CQD yang dihasilkan dari sintesis semuanya berada pada jangkauan 390 – 822 nm. Hal ini merupakan kontribusi transisi $n-\pi^*$ pada pita C=O dan transisi konjugat $\pi-\pi^*$ pada C=C [8].

Hasil Pengujian *Carbon Quantum Dot* dengan Spektroskopi Fluoresensi

Spektra hasil uji fluoresensi ditunjukkan pada Gambar 3. Penambahan urea 2,4 gr memiliki puncak eksitasi 544,49 nm dengan intensitas 33515,18 sedangkan untuk penambahan urea sebesar 3,2 gr memiliki puncak eksitasi 546,32 dengan intensitas 39598. Emisi yang dipancarkan CQD memancarkan warna hijau ketika ditembak dengan laser 405 nm. Intensitas fluoresensi dipengaruhi konsentrasi dari penambahan urea dan konsentrasi CQD. Partikel dengan ukuran yang lebih kecil akan tereksitasi di panjang gelombang yang lebih rendah dibandingkan partikel dengan ukuran lebih besar akan tereksitasi di panjang gelombang yang lebih

tinggi [9]. Dari spektra terlihat bahwa untuk penambahan urea 2,4 gr akan diprediksi memiliki ukuran CQD lebih kecil dibandingkan dengan ukuran CQD yang dihasilkan dengan penambahan urea 3,2 gr. Kehadiran fungsional grup pada permukaan CQD menghasilkan serangkaian emisi *trap* antara π dan π^* pada C-

C. Emisi merupakan fluoresensi juga sebagai akibat efek ukuran partikel dan cacat permukaan CQD [9]. Emisi yang dipancarkan CQD berasal dari asam sitrat dengan penambahan urea mengemisikan warna hijau seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Spektrum intensitas fluoresensi dari CQD.



Gambar 4. Hasil emisi CQD yang berasal dari asam sitrat dengan penambahan urea.

Hasil Perhitungan Energi Gap pada *Carbon Quantum Dot*

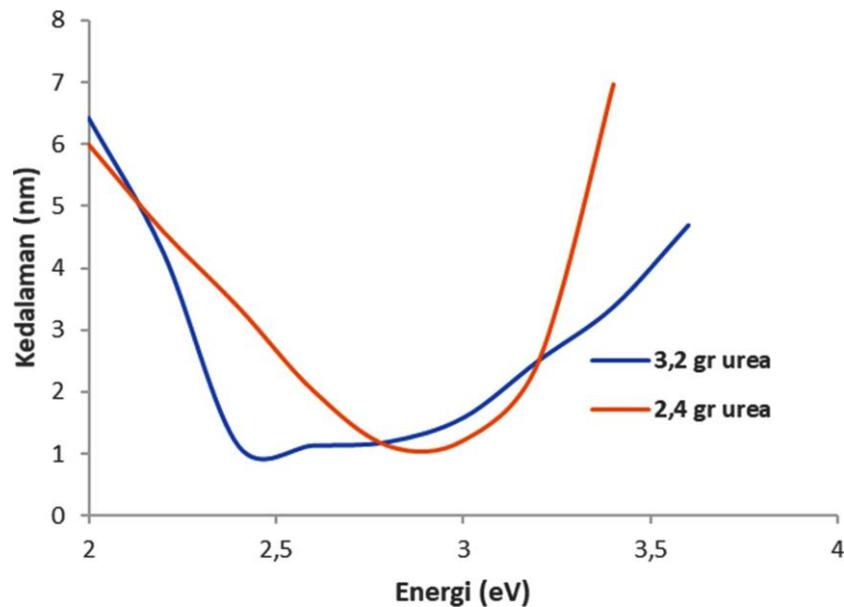
Pada penelitian ini diperoleh bahwa dengan penambahan massa urea terjadi pergeseran energi *gap* yang dimiliki oleh CQD. Sampel CQD hasil sintesis dengan penambahan urea 2,4 gr memiliki nilai energi *gap* lebih besar yaitu 2,4 eV. Sedangkan sampel CQD dengan sintesis dengan penambahan urea

sebesar 3,2 gr memiliki energi *gap* yang lebih kecil 2,32 eV. Nilai energi *bandgap* CQD memiliki hubungan dengan ukuran partikel CQD. Semakin kecil energi *bandgap* maka ukuran CQD semakin besar [10]. Jadi pada penelitian ini dengan penambahan urea pada saat sintesis dengan asam sitrat menyebabkan energi *gap* yang semakin kecil. Hal ini dapat memprediksi ukuran CQD semakin besar.

Tabel 1. Energi *gap* CQD.

Jenis sampel	Energi <i>gap</i> (eV)
CQD (2,4 gr urea)	2.40 (<i>direct</i>)
CQD (3,2 gr urea)	2.32 (<i>direct</i>)

Fungsi kedalaman CQD dapat dilihat pada Gambar 5. Terlihat dari fungsi tersebut kemampuan cahaya tampak diserap pada permukaan kuantum untuk CQD yang disintesis dengan penambahan urea 2,4 gr pada energi 2,4 eV sebesar 3,5 nm sedangkan untuk penambahan urea 3,2 gr pada saat sintesis, memiliki kemampuan kedalaman pada saat penyerapan 4 nm untuk energi 2,32 eV. Fungsi tersebut dapat memprediksi dimensi CQD.



Gambar 5. Fungsi kedalaman CQD.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis CQD berbahan dasar asam sitrat dengan variasi urea. CQD yang dihasilkan memiliki karakteristik optik dengan fungsi kerja pada cahaya tampak dengan jangkauan 390 – 800 nm. Penambahan urea dapat menggeser daerah serapan ke daerah *red shift*. Warna pendaran larutan CQD dikenai laser 510 nm berwarna hijau. Energi *gap* dari CQD sebesar 2,4 eV dan 2,32 eV. Penambahan urea dapat menggeser pita energi *gap*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kami sampaikan sehingga penelitian ini dapat terselenggara berkat dana Hibah penelitian pemula Pusat Penelitian dan Penerbitan (Puslitpen) LP2M UIN Syarif Hidayatullah Jakarta yang telah mendukung kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Das, R., Bandyopadhyay, R., & Pramanik, P. (2018). Carbon quantum dots from natural resource: A review. *Materials today chemistry*, **8**, 96–109.
2. Apriyani, I. & Farma, R. (2021). Pembuatan elektroda karbon aktif dari tandan kosong buah aren dengan variasi suhu karbonisasi. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 58–63.
3. Lestari, A. N. I., Farma, R., Asyana, V., & Awitdrus, A. (2020). Fabrikasi dan karakterisasi elektroda karbon dari biomassa serabut buah nipah dengan variasi konsentrasi aktivator KOH. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 127–133.
4. Bhartiya, P., Singh, A., Kumar, H., Jain, T., Singh, B. K., & Dutta, P. K. (2016). Carbon dots: Chemistry, properties and applications. *Journal of the Indian Chemical Society*, **93**(7), 759–766.
5. Wang, Y., & Hu, A. (2014). Carbon quantum dots: synthesis, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry C*, **2**(34), 6921–6939.
6. Li, H., Shao, F. Q., Huang, H., Feng, J. J., & Wang, A. J. (2016). Eco-friendly and rapid microwave synthesis of green fluorescent graphitic carbon nitride quantum dots for vitro bioimaging. *Sensors and Actuators B: Chemical*, **226**, 506–511.
7. Makuła, P., Pacia, M., & Macyk, W. (2018). How to correctly determine the band gap energy of modified

- semiconductor photocatalysts based on UV–Vis spectra. *ACS Publications*, 6814–6817.
8. Bhisare, M. L., Talib, A., Khan, M. S., Pandey, S., & Wu, H. F. (2015). Synthesis of fluorescent carbon dots via microwave carbonization of citric acid in presence of tetraoctylammonium ion, and their application to cellular bioimaging. *Microchimica Acta*, **182**(13), 2173–2181.
 9. Abd Rani, U., Ng, L. Y., Ng, C. Y., & Mahmoudi, E. (2020). A review of carbon quantum dots and their applications in wastewater treatment. *Advances in colloid and interface science*, **278**, 102124.
 10. Wang, L., Li, W., Yin, L., Liu, Y., Guo, H., Lai, J., Han, Y., Li, G., Li, M., Zhang, J., Vajtai, R., & Wu, M. (2020). Full-color fluorescent carbon quantum dots. *Science advances*, **6**(40), eabb6772.



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

IDENTIFIKASI LITOLOGI BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI DIPOLE-DIPOLE DI WISATA HAPANASAN DESA PAWAN KABUPATEN ROKAN HULU

Dandy Putra*, Usman Malik

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: dandyp79@gmail.com

ABSTRACT

One of the geothermal systems in Riau is in Pawan Village, Rokan Hulu District. The geothermal system is stored in rocks beneath the earth's surface, so it is necessary to identify the subsurface lithology. The purpose of this research is to analyze the subsurface resistivity value and identify the lithology of rocks layers in the Pawan Hot Spring Tourist attraction. The method used is Geoelectric Dipole-Dipole Configuration. The results obtained in line II have resistivities ranging from (30.7 – 149) Ohm-meters which are identified as accumulated water flanked by a layer of clay. This layer is located at a depth (0.7 – 8.71) meters. The second layer has a resistivity ranging from (328 – 722) Ohm-meters at various depth, namely (0.6 – 10.8) meters where sand is identified. The third layer has resistivities ranging from (1,500 – 7,713) Ohm-meters at a depth (0.7 – 15.7) meters where sandstone is identified. The conclusion is that the Dipole-Dipole Geoelectric method has been successfully applied to identify subsurface lithology in the geothermal prospect area.

Keywords: Geothermal, Resistivity, Geoelectricity, Dipole-Dipole, Lithology.

ABSTRAK

Salah satu sistem panas bumi yang terdapat di Riau adalah Desa Pawan, Kabupaten Rokan Hulu. Sistem panas bumi itu tersimpan dalam batuan yang terletak di bawah permukaan bumi, sehingga perlu diidentifikasi litologi bawah permukaannya. Tujuan riset ini adalah menganalisa litologi lapisan batuan yang ada di objek wisata Air Panas Pawan. Metode yang digunakan yaitu geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole. Hasil yang diperoleh pada lintasan II memiliki resistivitas berkisar antara (30,7 – 149) Ohm-meter yang diidentifikasi sebagai akumulasi air yang diapit lapisan lempung. Lapisan ini terletak pada kedalaman (0,7 – 8,71) meter. Lapisan kedua memiliki resistivitas berkisar antara (328 – 722) Ohm-meter yang berada pada kedalaman bervariasi, yaitu (0,6 – 10,8) meter yang diidentifikasi adanya pasir. Lapisan ketiga memiliki resistivitas berkisar antara (1.500 – 7.713) Ohm-meter yang berada pada kedalaman (0,7 – 15,7) meter yang diidentifikasi adanya batu pasir. Kesimpulan yang dapat diambil adalah bahwa metode geolistrik Dipole-Dipole telah berhasil diterapkan untuk mengidentifikasi litologi bawah permukaan di daerah prospek panas bumi.

Kata kunci: Geotermal, Resistivitas, Geolistrik, Dipole-Dipole, Litologi.

Diterima 27-10-2020 | Disetujui 29-03-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang kaya akan laut dan pulau-pulau kecil disekitarnya. Proses terbentuknya disebabkan karena adanya tumbukan dari 3 lempeng besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Samudera Pasifik, dan Lempeng India-Australia. Tumbukan antar

lempeng tersebut membuat implikasi besar terhadap kehidupan dari dulu hingga saat ini. Tumbukan Lempeng India-Australia dan Lempeng Eurasia mempengaruhi Indonesia bagian barat, sedangkan tumbukan ketiga lempeng tersebut mempengaruhi Indonesia bagian timur. Salah satu fenomena yang terjadi yaitu adanya sumber energi panas bumi [1].

Sistem panas bumi yang ada di Indonesia adalah hidrotermal. Hasil perpindahan panas dari sumber panas ke lingkungan melalui konduksi dan konveksi merupakan teori dasar dari sistem hidrotermal. Dapat dilihat dari sistem panas bumi, reservoir panas bumi di Indonesia ditandai dengan munculnya gas dan mata air panas [2]. Adapun mata air panas yang muncul kepermukaan mengindikasikan bahwa adanya aktifitas geologi yang merupakan akibat dari suatu sistem panas bumi yang terbentuk di bawah permukaan, seperti vulkanisme dan tektonisme yang selanjutnya mengakibatkan air di bawah permukaan mengalami pemanasan dan naik menuju permukaan sebagai mata air panas [1,3]. Salah satu munculnya mata air panas yang terdapat di Riau yaitu berada di Desa Pawan, Kabupaten Rokan Hulu.

Potensi panas bumi dapat dimanfaatkan oleh manusia apabila diberdayakan secara efektif dan efisien. Kajian yang dilakukan untuk mengetahui potensi panas bumi dapat dilakukan dengan beberapa metode melalui survei geologi, geofisika, dan geokimia. Identifikasi litologi yang ada di bawah permukaan dapat dilakukan dengan beberapa metode geofisika yaitu metode geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole. Konfigurasi ini dipilih karena sensitifitas yang tinggi dan sangat efektif dalam menginterpretasikan struktur bawah permukaan secara vertikal dan horizontal dari nilai resistivitas batuan [4-6].

TINJAUAN PUSTAKA

Panas Bumi

Panas bumi dapat dilihat sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi dan membentuk sistem panas bumi yang telah ada sejak terbentuknya bumi. Letak Indonesia yang sangat strategis, membuat Indonesia berpotensi untuk menyimpan energi panas bumi yang cukup besar. Negara Indonesia terletak di pertemuan tiga lempeng aktif yaitu Lempeng Samudera Pasifik, Lempeng India-Australia, dan Lempeng Eurasia. Indonesia kaya akan gunung berapi yang tersebar

dibagian barat Pulau Sumatera dan bagian selatan Pulau Jawa yang merupakan penyebab dari adanya lempeng, sehingga sistem panas bumi di Indonesia bersifat hidrotermal. Hidrotermal merupakan uap panas yang menyebar melalui pori-pori bumi, sehingga menyebabkan perpindahan panas baik secara konduksi maupun secara konveksi [7,8].

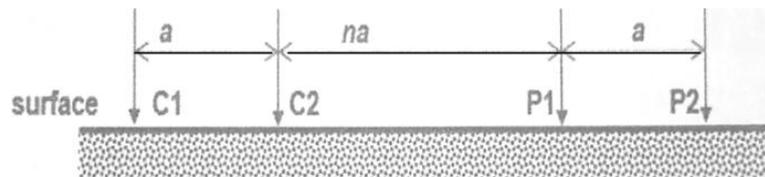
Proses geologi yang telah berlangsung disepanjang jalur gunung api merupakan pengaruh dari pembentukan panas bumi. Proses geologi yang dimaksud adalah proses pengangkatan larva yang keluar dari letusan gunung api dan kegiatan magmatis. Kegiatan magmatis berwujud dalam bentuk – bentuk uap dan gas yang menerobos dalam pori – pori di gunung api, sedangkan proses pengangkatan mengakibatkan adanya terbentuknya sesar di sepanjang jalur gunung api [9]. Daerah yang tidak terangkat akan berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan, hal ini terjadi karena relatif lebih banyak air yang meresap di dalam tanah dibandingkan daerah sekitarnya, sehingga daerah tersebut bisa disebut wadah air meteorik selama waktu proses geologi. Jalur rekahan yang terbentuk akibat pengangkatan menyebabkan terlihat petunjuk adanya sistem panas bumi yang ada di kedalaman dikarenakan air panas atau uap yang merembes ke permukaan serta merupakan akhir dari proses kegiatan vulkanisme [10,11].

Metode Geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole

Geolistrik yaitu sebuah metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara melakukan pendeteksian dan penelitian terhadap permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran arus, beda potensial, dan mendeteksi medan elektromagnet. Salah satu metode geolistrik untuk menentukan hasil resistivitas di permukaan bumi yaitu Konfigurasi Dipole-Dipole, yaitu sepasang elektroda arus dan elektroda potensial terpisah, jarak spasi antar elektroda $C_1 - C_2$ dan $P_1 - P_2$ yaitu a , sedangkan antara jarak C_1 dan P_1 yaitu

na. Oleh karena itu, konfigurasi elektroda yang digunakan pada penelitian ini yaitu Konfigurasi

Dipole-Dipole dengan susunan elektroda seperti Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Elektroda Konfigurasi Dipole-Dipole.

Keunggulan dari konfigurasi ini yaitu sensitifitas yang tinggi untuk arah horizontal dan vertikal dan sangat efektif untuk penetrasi kedalaman. Nilai resistivitas yang diperoleh merupakan nilai resistivitas semu (ρ_a) yaitu resistivitas yang diperoleh dari bumi yang dianggap memiliki lapisan homogen. Nilai ρ_a dinyatakan sebagai berikut:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Dengan faktor geometri Konfigurasi Dipole-Dipole:

$$k = \pi \cdot a \cdot n (n + 2) (n + 1) \quad (2)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik Konfigurasi Dipole-Dipole dengan sistem eksperimen lapangan untuk mendapatkan data primer seperti nilai kuat arus dan beda potensial menggunakan resistivitymeter dan menentukan titik koordinat lokasi menggunakan GPS merupakan data sekunder. Data yang diambil berupa 2 lintasan dengan titik yang berbeda di sekitar objek wisata Air Panas Pawan, Kabupaten Rokan Hulu. Adapun langkah-langkah pengambilan data geolistrik sebagai berikut:

1. Survei lokasi penelitian.
2. Mengukur panjang lintasan yang diteliti.
3. Menentukan titik spasi di lokasi penelitian sebagai tempat elektroda.
4. Menghubungkan seluruh kabel pada elektroda arus dan elektroda potensial kemudian dihubungkan pada alat geolistrik resistivity meter.

5. Menginjeksikan elektroda arus dan elektroda potensial ditanah.
6. Mengatur jarak elektroda arus hingga diam di titik yang ditentukan dan elektroda potensial dipindahkan sampai $n = 16$.
7. Menghubungkan alat resistivitymeter ke aki, lalu hasil awalnya dicatat. Kemudian pindahkan masing-masing elektroda arus dengan titik spasi yang ditentukan.
8. Hasil dari penelitian akan dicatat dalam tabel pengamatan.

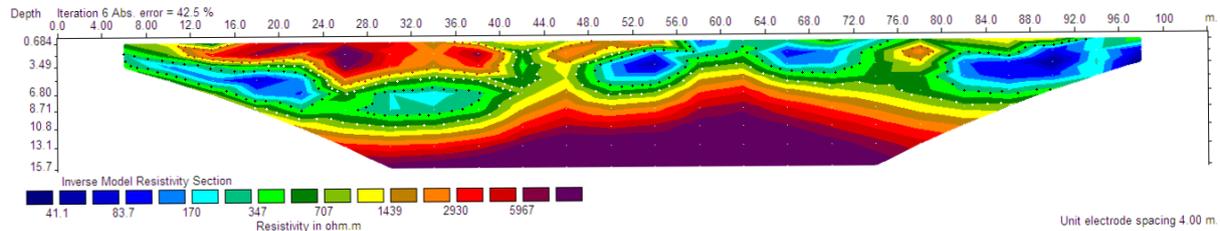
Hasil pengukuran yang didapatkan berupa jarak elektroda arus, jarak elektroda potensial, nilai beda potensial, dan kuat arus diolah menggunakan program *Excel* untuk menghitung nilai resistivitas semu dengan persamaan (1) dan faktor geometri dengan persamaan (2). Data yang telah diolah menggunakan *Excel*, lalu diolah menggunakan *software Res2Dinv*. Data yang telah diolah di *Excel* untuk menentukan resistivitas semu (ρ_a), maka data datum point (dp), spasi elektroda (a) dan faktor yang memisah elektroda (n) diinput dalam *software Notepad* dalam format *.dat*. Setelah data di daerah penelitian dalam format *.dat* dan telah sesuai dalam format *Res2Dinv*, maka dilakukan inversi yang menampilkan penampang bawah permukaan di daerah penelitian. Dari data tersebut, dapatlah ditentukan litologi bawah permukaannya dan struktur bawah permukaan dengan membandingkan nilai resistivitas yang didapat dengan nilai resistivitas literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang diperoleh pada pengukuran data geolistrik yang dilakukan di lintasan I dan lintasan II menggunakan Konfigurasi Dipole-Dipole dengan panjang lintasan 104 meter.

Pengukuran tersebut menghasilkan beda potensial (ΔV) dan besar arus listrik (I) sehingga dapat dihitung nilai resistivitas semu (ρ_a) dan diinput ke *software Res2Dinv* untuk memperoleh resistivitas sebenarnya. Hasil yang

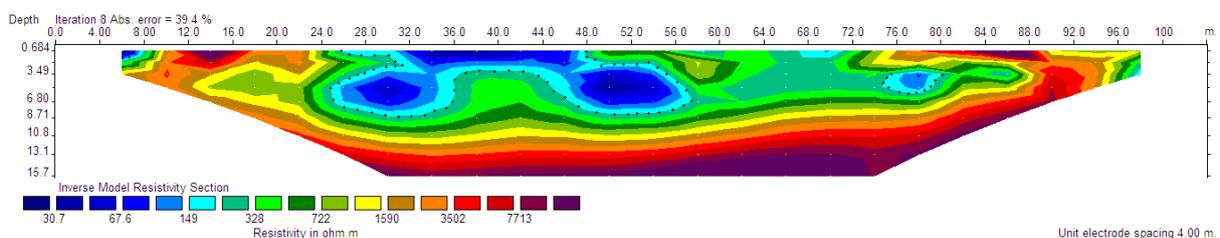
didapat pada software ini menunjukkan litologi lapisan bawah permukaan dan jenis batuan yang terdapat pada lapisan tersebut. Data interpretasi geolistrik dari lintasan I dan II berturut-turut sebagai berikut.



Gambar 2. Penampang Resistivitas Lintasan I.

Lapisan pertama memiliki resistivitas berkisar antara (41,1 – 170) Ohm-meter yang diidentifikasi adanya akumulasi air yang diapit lapisan lempung. Lapisan ini terletak pada kedalaman (1,7 – 6,8) meter. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas berkisar antara (300 – 800) Ohm-meter yang berada pada kedalaman bervariasi, yaitu (0,6 – 9) meter yang diidentifikasi adanya pasir. Lapisan ketiga memiliki resistivitas berkisar antara (1.400 – 5.967) Ohm-meter yang berada pada kedalaman yang bervariasi, yaitu (0,6 – 4,5) meter dan (6,5 – 15,7) meter yang diidentifikasi adanya batu pasir.

Dapat diinterpretasikan bahwa tidak ada aliran air panas berdasarkan nilai resistivitas air yang diperoleh berkisar antara (41,1 – 90) Ohm-meter. Hal tersebut dikarenakan lapisan-lapisan yang ada di bawah permukaan sangat keras sehingga tidak ada celah atau rekahan untuk meloloskan air, serta litologi air yang dapat diamati yaitu batuan lempung dengan resistivitas (83,7 – 100) Ohm-meter. Batuan lempung yang selalu mengapit air memiliki sifat impermeabel yaitu lapisan yang tidak dapat meloloskan air.



Gambar 3. Penampang Resistivitas Lintasan II.

Lapisan pertama memiliki nilai resistivitas berkisar antara (30,7 – 149) Ohm-meter yang diidentifikasi adanya akumulasi air yang dipisahkan oleh lapisan lempung yang berada pada kedalaman (0,7 – 8,71) Ohm-meter yang berada pada kedalaman bervariasi, yaitu (0,6 – 10,8) meter yang diidentifikasi adanya pasir. Lapisan ketiga memiliki resistivitas berkisar antara (1.500 – 7.713) Ohm-meter yang kedalamannya berada di setiap lapisan, yaitu (0,7 – 15,7) meter yang diidentifikasi adanya batu pasir di lapisan tersebut.

Dapat diinterpretasikan bahwa terdapat perbedaan dari data kedua lintasan, yaitu pada lintasan kedua terdapatnya batu pasir hampir di setiap lapisan dengan nilai resistivitas berkisar antara (1.500 – 7.713) Ohm-meter. Dapat diamati bahwa litologi air di bawah permukaan yaitu batuan lempung dengan nilai resistivitas (67,6 – 100) Ohm-meter. Sifat dari batuan lempung yaitu impermeabel sehingga tidak terdapat aliran air panas pada data yang diperoleh.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini yaitu bahwa litologi air yang terdapat di bawah permukaan yaitu batuan lempung yang nilai resistivitasnya pada lintasan I yaitu (83,7 – 100) Ohm-meter dan pada lintasan II yaitu (67,6 – 100) Ohm-meter. Sifat dari batuan lempung yaitu impermeabel, sehingga tidak terdapat aliran air panas di kedua lintasan.

REFERENSI

1. Zanuvar, R. (2009). *Pemodelan 2-Dimensi Data Magnetotellurik di Daerah Prospek Panas Bumi Gunung Endut, Banten*. Skripsi, Universitas Indonesia.
2. Abdillah, F. & Malik, U. (2021). Pemetaan sebaran mata air panas di daerah objek wisata Desa Pawan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 35–41.
3. Silvia, R. & Malik, U. (2021). Sebaran air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 18–21.
4. Putri, C. S. & Malik, U. (2020). Analisa kedalaman air panas menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di objek wisata Air Panas Pawan. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(2), 87–91.
5. Sapitri, T. E. & Malik, U. (2020). Identifikasi air tanah di Perumahan Graha Mustamindo Permai 3 menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 150–154.
6. Rangkuti, M. Z. I., Salomo, S., & Malik, U. (2020). Perbandingan nilai suseptibilitas magnetic air laut menggunakan Quincke di Pantai Sumatera Bagian Tengah. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 41–45.
7. Ulumiyah, & Iftichatul. (2012). *Analisis Kelembaban dan Temperatur Permukaan Dangkal di Daerah Gonoharjo*. Skripsi, Universitas Negeri Semarang.
8. Afriani, A., Malik, U., & Husin, A. (2020). Analisa efek gerhana matahari total 9 Maret 2016 terhadap kandungan total electron ionosfer. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 50–54.
9. 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.
10. Prihadi, T., Supriyadi, & Sulhadi. (2013). Aplikasi Metode Geolistrik Dalam Survey Potensi Hidrothermal. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, **14**(2).
11. 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.



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

INTEGRASI *CHIRPING* DAN APODISASI BAHAN TOPAS UNTUK PENINGKATAN KINERJA SENSOR SERAT KISI BRAGG

Khaikal Ramadhan*, Saktioto

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: khaikal.ramadhan4946@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The discovery of the fiber Bragg grating (FBG) is an early milestone in the development of optical fiber technology, such as in optical communication to monitoring of material health structures as sensors. For optical communication the FBG components are capable of filtering certain signals. In the FBG optical sensor has a high sensitivity immune to electromagnetic wave interference, small size and is resistant to extreme environmental conditions. The sensitivity of the FBG sensor is obtained from the shift in the peak wavelength of each of the temperature and strain quantities. However, the performance of the FBG sensor can be improved by engineering the distribution of the refractive index on the grid with the apodization and chirp functions. Apodization is a technique to improve the performance of the FBG sensor by eliminating noise, narrowing the full wave half maximum, lowering the side lobes of the main lobe and improving the spectrum ripple factor. Apart from apodization, the chirp function also affects the sensor sensitivity and the distribution of the refractive index on the grid. Numerical experiments were carried out in designing the FBG component as a sensor using Gaussian apodization and Topaz cyclic olefin copolymer for several chirp functions. The results show that Gaussian apodized topass lattice fibers for all chirp functions as a strain sensor have the same sensitivity, namely $0.84 \text{ pm}/\mu\text{strain}$ while for temperature sensors the highest sensitivity is obtained at cubic root chirp $13.82857 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ followed by square chirp $13.74286 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, Quadratic chirp $13.71429 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ and Linear Chirp $13.4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ the Bragg wavelength shift was greater for 1°C than for the $1 \mu\text{strain}$.

Keywords: Fiber Bragg Grating, Topaz, Gaussian, Apodisasi, Chirp.

ABSTRAK

Penemuan fiber Bragg grating (FBG) merupakan tonggak awal perkembangan teknologi serat optik, seperti pada komunikasi optik hingga pemantauan struktur kesehatan material sebagai sensor. Untuk komunikasi optik komponen FBG mampu memfilter sinyal-sinyal tertentu. Dalam sensor optik FBG memiliki sensitivitas yang tinggi kebal terhadap interferensi gelombang elektromagnetik, ukuran yang kecil dan tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim. Sensitivitas sensor FBG diperoleh dari pergeseran puncak panjang gelombang Bragg tiap besaran suhu dan regangan. Walaupun demikian kinerja sensor FBG dapat ditingkatkan dengan merencanakan distribusi indeks bias pada kisi dengan fungsi apodisasi dan chirp. Apodisasi merupakan salah satu teknik dalam meningkatkan kinerja sensor FBG dengan menghilangkan noise, mempersempit full wave half maximum, menurunkan lobus samping dari lobus utama dan memperbaiki factor riak spektrum. Selain apodisasi fungsi chirp juga berpengaruh terhadap sensitivitas sensor dan distribusi indeks bias pada kisi. Eksperimen numerik dilakukan dalam merancang komponen FBG sebagai sensor dengan menggunakan apodisasi Gaussian dan bahan Topaz cyclic olefin copolymer untuk beberapa fungsi chirp. Diperoleh hasil bahwa FBG Topaz apodisasi Gaussian untuk semua fungsi chirp sebagai sensor regangan memiliki sensitivitas yang sama yaitu $0.84 \text{ pm}/\mu\text{strain}$ sementara untuk sensor suhu diperoleh sensitivitas tertinggi pada cubic root chirp $13,82857 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ diikuti oleh square chirp $13,74286 \text{ pm}/^\circ\text{C}$, Quadratic chirp $13,71429 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ dan Linear Chirp $13,4 \text{ pm}/^\circ\text{C}$ pergeseran panjang gelombang Bragg lebih besar untuk 1°C daripada untuk $1 \mu\text{strain}$.

Kata kunci: FBG, Topaz, Gaussian, Apodisasi, Chirp.

Diterima 16-04-2021 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Penemuan kisi Bragg telah banyak menghasilkan aplikasi yang luar biasa dalam dunia riset dan industri. Aplikasi yang sangat luas tersebut diantaranya komunikasi optik, penginderaan optik, filter data, kompensator dispersi dan pemantauan struktur kesehatan material hingga pengaplikasian dalam dunia medis sebagai biosensor. Dalam bidang komunikasi optik, komponen serat kisi Bragg atau *fiber bragg grating* (FBG) digunakan sebagai kompensator dispersi untuk menghasilkan jangkauan transmisi data yang jauh [1], baik dengan penguat maupun tidak, selain itu juga diaplikasikan sebagai filter optik untuk panjang gelombang yang ditransmisikan akibat dari adanya perubahan kisi secara periodik [2,3], serta add and drop panjang gelombang dalam komunikasi *wavelength division multiplexing* yaitu teknologi yang mampu menggabungkan sejumlah sinyal optik ke satu serat, dengan menggunakan berbagai panjang gelombang dari cahaya atau laser sehingga memungkinkan komunikasi dua arah dalam satu serat pada aplikasi penginderaan atau pemantauan optik [4]. Sensor FBG sensitif terhadap perubahan besaran fisis dan memiliki kinerja yang lebih baik daripada penginderaan konvensional ataupun elektronik. FBG dapat dibangun atas inti serat yang dapat mendeteksi perubahan parameter fisik seperti regangan [5,6], suhu [7, 8], dan tekanan [9]. Keunggulan FBG dibanding sensor mekanis atau elektronik lainnya adalah pengodean informasi yang diukur dalam panjang gelombang nanometer, sehingga mengurangi kerugian konektor dan kehilangan daya serta lebih sensitif terhadap perubahan fisis [10]

Sensor optik FBG telah mengalami perkembangan dan menjadi topik yang banyak diteliti dua dekade terakhir dan beberapa perkembangan penelitian aplikatif pada FBG dilaporkan seperti FBG sebagai smart textile dalam pemantauan pernapasan pada manusia secara real-time [11], pemantauan frekuensi jantung [12], dan pada pemantauan suhu dan tekanan yang dihybrid dengan tenun kain

komposit termoplastik [13]. Secara eksperimen numerik dalam peningkatan kinerja sensor FBG juga sudah banyak diteliti seperti yang dilaporkan bahwa FBG dengan bahan Topas memiliki sensitifitas lebih tinggi dibandingkan dengan bahan Tera Flex dan Silika murni [14] dan dilaporkan bahwa apodisasi mampu mempersempit *full wave half maximum* (FWHM) pada FBG seperti yang dilaporkan [15] berupa fasa phi dengan beberapa fungsi apodisasi seperti Gaussian, Sinus, Nuttal, Blackman dan Raised cosine direkomendasikan untuk sensor pemantauan suhu tinggi pada trafo listrik. FBG [16] dengan apodisasi Nuttal memiliki sensitifitas yang tinggi pada sensor suhu di permukaan laut dengan bahan dilapisi polimer hidrofobik. Metodologi penginderaan suhu berbasis *fiber optical sensor* meliputi sensor interferometri [17,18], sensor serat kristal fotonik [19] dan FBG [20,21].

FBG dapat dilihat sebagai komponen penyaringan optik di sepanjang inti serat optik dengan panjang gelombang tertentu. Berdasarkan bentuk dan struktur kisi, FBG secara umum diklasifikasikan sebagai homogen dan apodisasi. FBG seragam secara inheren sensitif terhadap perubahan regangan eksternal dan suhu. Sifat penginderaan ini dipandang sebagai pergeseran panjang gelombang dalam spektrum pantulan unit penginderaan. Spektrum diperlihatkan dari sebuah FBG homogen ditandai dengan adanya jumlah sisi yang lebih banyak lobus dan energi yang sangat dekat dengan panjang gelombang puncak sehingga mengurangi akurasi deteksi sensor tersebut [22].

Penelitian ini akan merancang, mensimulasikan dan menganalisis kinerja sebagai komponen sensor suhu dan regangan untuk menghasilkan FBG yang sensitif dan akan dilakukan optimalisasi dengan beberapa chirping dan apodisasi seperti Blackman, Hamming dan Gaussian yang merupakan teknik mengurangi lobus samping, sehingga akan menghasilkan sinyal yang sempit dan sensitif. Parameter yang akan dipertimbangkan untuk mengetahui pengaruh sensitivitasnya ialah panjang kisi, dan variasi chirping dan

apodisasi dengan bahan Topas [14]. Metodologi menggunakan simulasi komponen sensor FBG dengan perangkat *Optigrating* dengan pergeseran puncak gelombang Bragg tiap perubahan temperatur dan regangan, selanjutnya akan mengoptimalkan kinerja sensor terhadap beberapa apodisasi yang akan divalidasi dengan perangkat *OptiSystem*.

TINJAUAN PUSTAKA

Serat optik merupakan sebuah media transmisi cahaya dan dapat membawa informasi berupa data suara dan video [23]. Cahaya ditransmisikan melalui serat yang terbuat dari Silika [24]. Semenjak ditemukannya serat optik banyak perkembangan yang terjadi, efisien dalam mentransmisikan cahaya selain Silika, juga ada berbahan Germanium, Topas, Tera Flex, plastik dan polimer. Serat optik ini dapat digunakan untuk menggantikan kabel konvensional yang fungsinya sebagai kabel daya. Serat optik memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan kabel konvensional elektronik terutama karena data yang dikirimkan dimodulasi dengan laser atau cahaya sehingga tidak berbahaya. Keunggulan lainnya adalah pengiriman data yang sangat cepat, akurat dan relatif stabil terhadap kondisi lingkungan dibandingkan dengan kabel konvensional. Tak heran kalau serat optik dapat digunakan untuk mentransmisi data lintas benua dengan kerentanan terhadap gelombang elektromagnetik yang mengakibatkan tidak adanya interferensi gelombang, tahan terhadap suhu tinggi, redaman transmisi yang kecil, serta memiliki *bandwith* yang besar [25].

FBG dapat memantulkan panjang gelombang tertentu yang disebut dengan panjang gelombang Bragg dan mentransmisikan panjang gelombang lainnya akibat dari adanya kisi yang berperiodik di dalam bagian inti serat. Ketika cahaya mengenai bagian kisi maka terjadi hamburan yang disebut dengan efek Bragg. Panjang gelombang Bragg, λ_b bergantung pada periode kisi Λ , dan sifat pemandu dari FBG seperti

indeks bias, n_{eff} secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut [26]:

$$\lambda_b = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

Distribusi indeks bias $n_{eff}(z)$ sepanjang FBG dituliskan dengan Persamaan:

$$n_{eff}(z) = n_0 + f(z) \cdot \Delta n_{ac} \cdot v \cos\left(\left(\frac{2\pi}{\Lambda}\right)z + \theta(z)\right) \quad (2)$$

dimana z adalah posisi, n_0 indeks bias mula-mula FBG, Λ periode kisi, Δn_{ac} amplitude indeks bias modulasi, $f(z)$ fungsi apodisasi, dan $\theta(z) = 2\pi Cz^2/\Lambda$ adalah fungsi *chirp* dimana C adalah parameter *chirp*, v visibilitas pinggir.

Persamaan (1) dan (2) berhubungan secara langsung dengan variabel kisi pada temperatur (T), regangan (L), dan perubahan panjang gelombang $\Delta\lambda$, dengan memisalkan X secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta\lambda_b = \frac{d\lambda_b}{dX} \Delta X = \lambda_b \left(\frac{\delta n_{eff}}{n_{eff}} + \alpha \right) \Delta X \quad (3)$$

dimana $\delta n_{eff}/n_{eff}$ adalah sensitivitas yang dinormalisasikan dari indeks bias moda dan α adalah koefisien perubahan panjang fisik yang bergantung pada parameter X . FBG bertindak sebagai sensor ketika perubahan parameter fisis tersebut dapat menggeser panjang gelombang Bragg terhadap besaran yang diukur seperti suhu, regangan, tekanan hidrostatis atau indeks bias dari kelongsong yang fungsinya pada Persamaan (3) [27].

Pergeseran panjang gelombang Bragg dalam mengukur suhu dan regangan dipengaruhi oleh koefisien *thermo-optic* dan ekspansi termal bahan yang digunakan, dan dapat mengukur suhu dan regangan secara bersamaan seperti pada Persamaan (4):

$$\Delta\lambda_b = \lambda_b (\alpha + \delta) \Delta T \quad (4)$$

Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu dipengaruhi oleh koefisien α (thermo-optik) dan δ koefisien ekspansi termal

masing-masing didefinisikan oleh Persamaan $\alpha = (1/n_{eff})(\Delta n_{eff}/\Delta T)$ dan $\delta = (1/\Lambda)(\Delta\Lambda/\Delta T)$.

Sementara dalam sensitivitas terhadap regangan, pergeseran panjang gelombang Bragg dipengaruhi oleh koefisien regangan optik, rasio poisson, indeks bias dan koefisien ekspansi thermal yang ditunjukkan oleh persamaan dibawah ini:

$$\Delta\lambda_b = \lambda_b (1 - \rho_e) \delta \quad (5)$$

dengan ρ_e adalah koefisien regangan optik yang didefinisikan sebagai $\rho_e = (n^2/2)(\rho_{12} - \nu(\rho_{11} + \rho_{12}))$ dimana ν merupakan rasio poisson dan ρ_{11} dan ρ_{12} merupakan tensor regangan.

Secara alamiah sensor serat kisi Bragg tidak dapat dipisah hanya untuk mengukur satu parameter suhu saja atau regangan saja. Serat kisi Bragg mengukur kedua besaran secara bersamaan seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (6):

$$\Delta\lambda = k_t \Delta T + k_e \Delta\delta + \Delta k_t \Delta k_e \Delta\delta \quad (6)$$

FBG dapat ditingkatkan kinerjanya dengan apodisasi, yang merupakan teknik menghilangkan parameter-parameter yang tidak menguntungkan dari sepektrum cahaya yang direfleksikan, tetapi terdapat beberapa kerugian diantaranya pengurangan amplitudo dari puncak reflektivitas spektrum. Beberapa aplikasi yang menerapkan perbedaan apodisasi adalah *filtering*, kompensasi dispersi, penyetelan panjang gelombang dan penginderaan dalam komunikasi optik dan optoelektronik serta peningkatan kinerja dalam sensor temperatur dan regangan [14]. Hasil penelitian terdahulu diperoleh bahwa apodisasi profil terbaik dalam kinerja FBG sebagai sensor suhu dan regangan adalah apodisasi fungsi Gaussian dengan sensitivitas sebesar 0,84 $\mu\text{m}/\mu\text{strain}$ dan 14 $\text{pm}/^\circ\text{C}$ [14]. Berikut adalah fungsi apodisasi Gaussian yang digunakan [28]:

$$A(x) = \exp \left(-\ln 2 \left(\frac{2(x - \frac{L}{2})}{0.5L} \right)^2 \right) \quad (7)$$

Selain fungsi apodisasi, fungsi *chirp* juga mempengaruhi sensitivitas dari sensor FBG. Berikut ini jenis fungsi *chirp* [25]:

1. *Linear*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \frac{z-L/2}{L} \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (8)$$

2. *Quadratic*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\left(\frac{z}{L} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (9)$$

3. *Square root*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\sqrt{\frac{z}{L}} - \frac{1}{\sqrt{2}} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (10)$$

4. *Cubic root*

$$\Lambda(z) = \Lambda_0 - \left[\sqrt[3]{\frac{z}{L}} - \frac{1}{\sqrt[3]{2}} \right] \Delta; \Delta''\Lambda_0 \quad (11)$$

dimana, $\Lambda(z)$ merupakan periode *grid* pada jarak tertentu, Λ_0 adalah periode awal *grid*, dan Δ adalah total *chirp*.

Apodisasi merupakan salah satu teknik dalam meningkatkan sensitivitas sensor FBG. Banyak penelitian telah dilaporkan mengenai pengaruh perubahan apodisasi [30], seperti apodisasi fungsi Nuttall-Blackman dapat menekan sisi lobus spektrum refleksi dibandingkan dengan tanpa apodisasi atau jenis uniform. Semakin kecil atau sempit sisi lobus akan memberikan sensitivitas yang tinggi pada sensor FBG. Selanjutnya dilaporkan [15] dalam pemantauan suhu tinggi pada trafo listrik, serat kisi Bragg dengan fasa μ diperoleh hasil bahwa FBG unggul dibandingkan dengan jenis sinusoidal untuk setiap apodisasi. Dalam penelitian ini akan dioptimalkan kinerja sensor suhu dan regangan FBG dengan variasi apodisasi, panjang kisi dan puncak refleksi untuk aplikasi pemantauan pernapasan pada manusia.

METODE PENELITIAN

Komponen FBG bahan Topas *cyclic olefin copolymer* (COC) dirancang dengan parameter dan besaran-besaran yang mempengaruhi kinerja sensor FBG. Hasil simulasi akan memberikan gambaran perubahan panjang gelombang Bragg terhadap parameter yang divariasikan (panjang kisi 10 – 50 mm) selanjutnya data yang diperoleh dari FWHM akan dianalisa untuk menghasilkan komponen sensor FBG yang terbaik. Simulasi dioperasikan pada perangkat *OptiSystem* kemudian, profil spektrum akan diperoleh dan selanjutnya akan dilihat perubahan puncak gelombang refleksi terhadap suhu dan regangan. FBG dirancang berdasarkan geometri dan indeks bias dari *core*, *cladding*, dan bentuk kisi sesuai dengan parameter bahan Topas yang memiliki indeks bias *core* 1,53 dan indeks bias *cladding* 1,525. Selanjutnya didefinisikan puncak signal dan lobus samping kiri dan kanan dari luaran spektrum yang dihasilkan. Suhu diukur dengan menggunakan FBG dimana panjang gelombang sumber cahaya

setelah melewati kisi-kisi Bragg akan difilter. Analisis dari hasil spektrum panjang gelombang Bragg tiap periode *chirp* akan dianalisis diantaranya ialah *linear chirp*, *quadratic root*, *square root*, dan *cubic root*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan yang digunakan dalam eksperimen numerik kali ini ialah Topas COC merupakan bahan polimer yang bening dan terkemuka sangat baik diaplikasikan untuk alat-alat kesehatan dan alat elektronik [31]. Bahan Topas FBG sensor juga memiliki keunggulan dalam mengukur suhu dan regangan seperti yang dilaporkan oleh shayma *et al.* (2019), bahwa FBG sensor suhu dan regangan Bahan Topas lebih sensitif dibandingkan dengan bahan Silikon, Germanium, dan Tera Flex, dengan masing-masing sensitivitas sebesar 14 pm/°C dan 0,84 pm/ μ strain [14], Topas memiliki indeks bias 1,53 yang akan di eksperimenkan secara numerik dengan indeks bias *core* 1,53 dan indeks bias *cladding* 1,525. Parameter FBG yang lain dilihat pada Tabel 1.

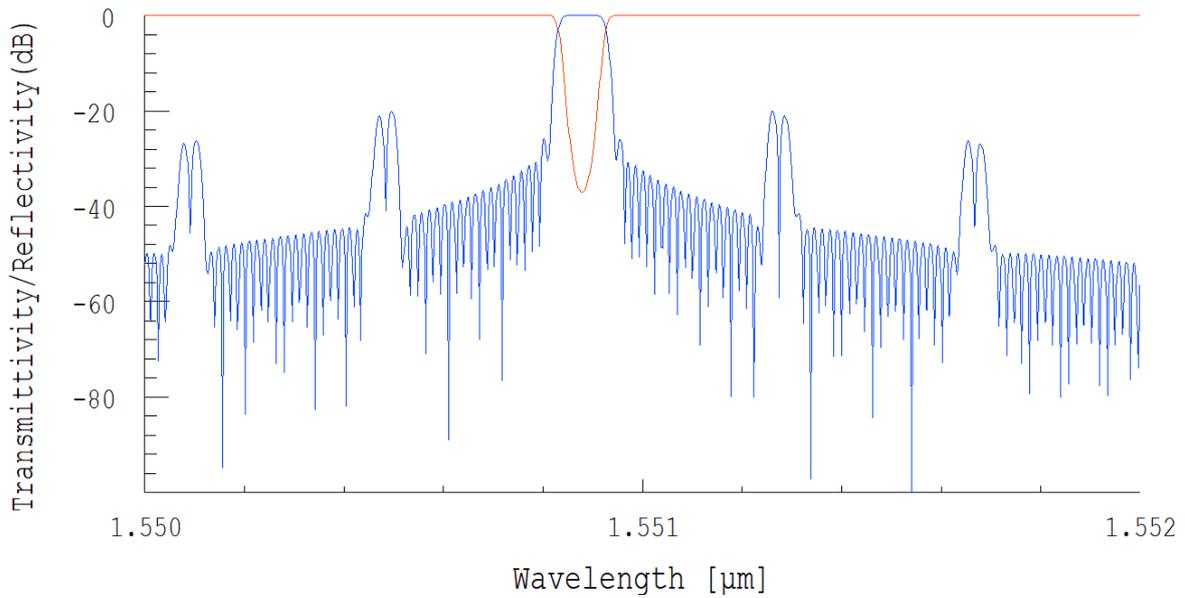
Tabel 1. Parameter pada kisi sensor FBG.

Parameter	Nilai
Periode	0,5076
Bentuk kisi	Sinusoida
Rata-rata indeks	Uniform
Apodisasi	Gaussian
Panjang kisi	50 mm
Indeks modulasi	0,0001
Total <i>chirp</i>	0,2
<i>Tapers</i> parameter	0,5

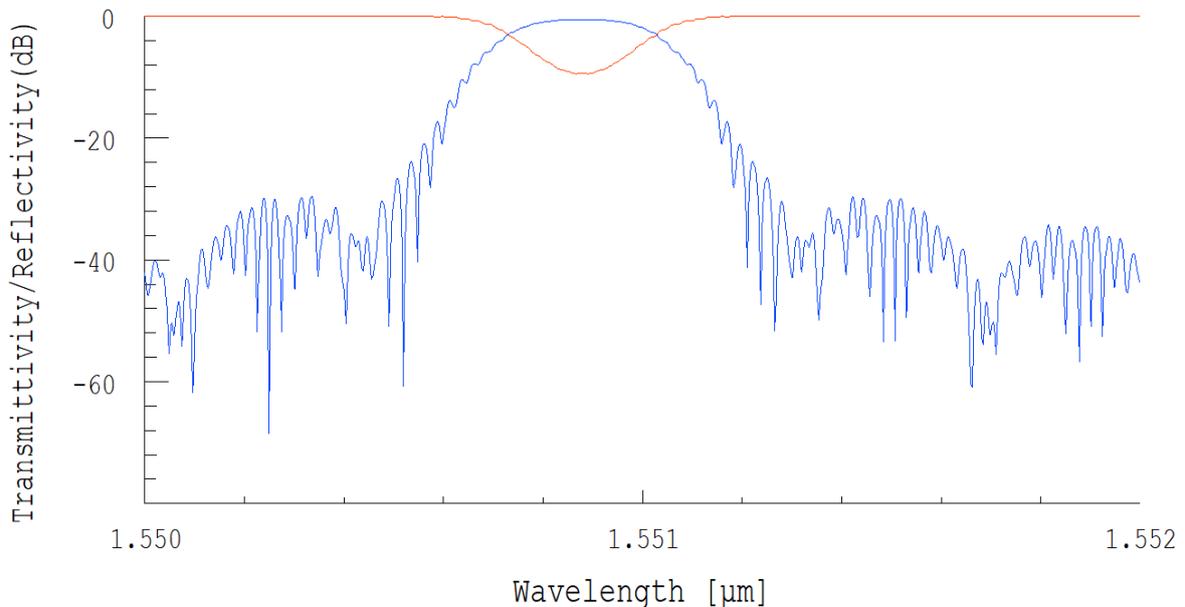
Analisis Spektrum Panjang Gelombang Apodisasi Gaussian Terhadap Fungsi *Chirp*

Fungsi apodisasi dan *chirp* faktanya dapat mempengaruhi struktur dan distribusi indeks bias yang ada di dalam kisi sensor FBG seperti yang ditujukan pada persamaan (1) dan persamaan (2) dan dalam hal ini yang diperlihatkan hanya dalam bentuk apodisasi Gaussian. Gambar 1 menunjukkan spektrum panjang gelombang Bragg dalam jangka panjang gelombang 1550 – 1552 nm, diperlihatkan kenaikan puncak tiap panjang

gelombang yang hampir periodik sebelum dan setelah melewati puncak spektrum panjang gelombang Bragg. Gambar 2 menunjukkan perbedaan lobus utama dan lobus samping dari apodisasi Gaussian dengan *linear chirp* yang tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan tanpa *chirp*, parameter yang diperoleh dari setengah puncak gelombang untuk *linear chirp* adalah *bandwidth* sebesar 0,232 nm dengan perbedaan lobus utama dan samping sebesar 0,228 nm hasil ini mengindikasikan tidak baiknya kinerja sensor FBG.



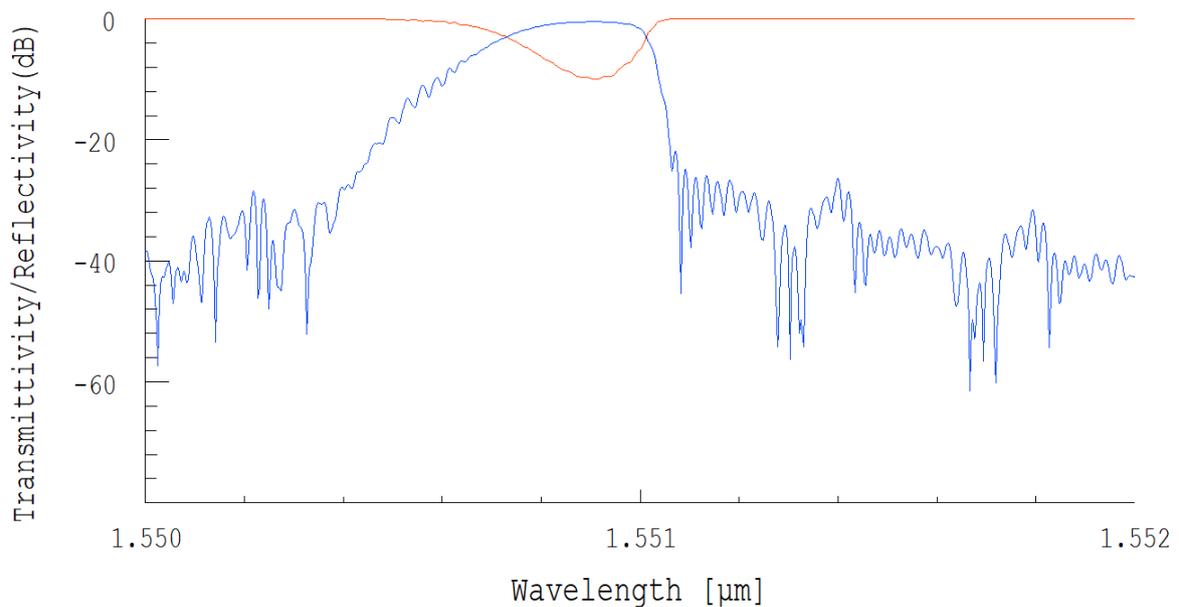
Gambar 1. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan tanpa *chirp*.



Gambar 2. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *linear chirp*.

Lebar *bandwidth* dari spektrum panjang gelombang untuk *quadratic chirp* adalah sama dengan *linear chirp* yaitu sebesar 0,232 nm dan perbedaan lobus utama dan samping dari *quadratic chirp* lebih kecil yaitu sebesar 0,206 nm, spectrum refleksi dari *quadratic*

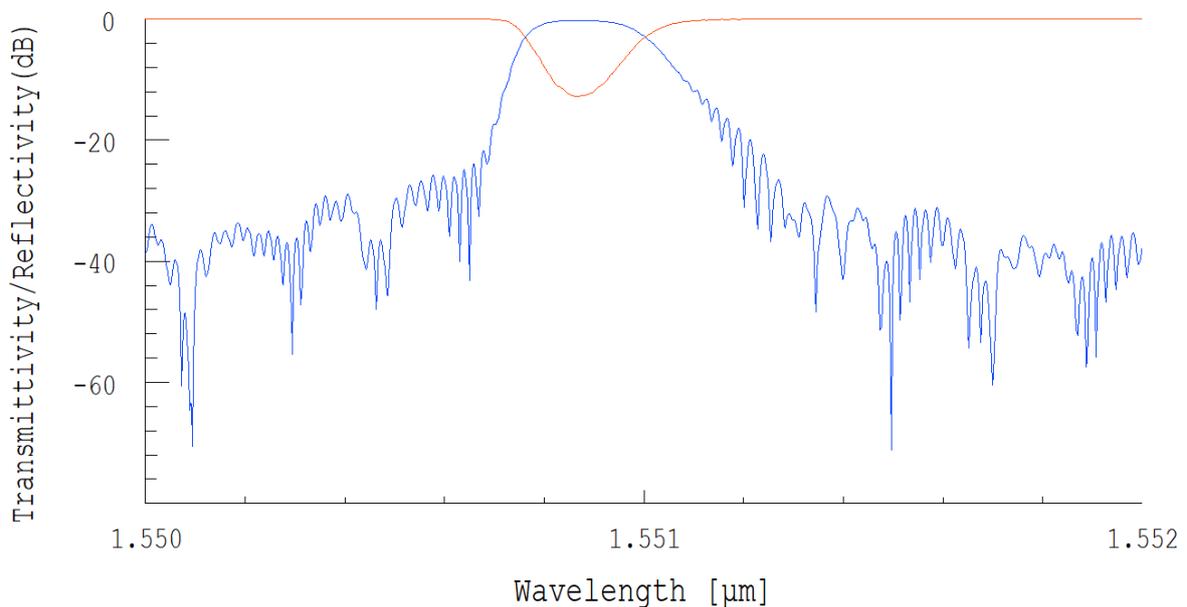
mengalami riak yang kecil dan teratur setelah mencapai puncak panjang gelombang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3, hal ini sebenarnya bagus untuk aplikasi komunikasi optik untuk menghilangkan *noise* dari spektrum panjang gelombang.



Gambar 3. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *quadratic chirp*.

Gambar 4 menunjukkan *bandwidth* lobus utama dari spektrum panjang gelombang untuk *square chirp* lebih sempit dibandingkan dengan *linear chirp* dan *quadratic chirp*, yaitu 0,171 nm sedangkan perbedaan lobus samping dan

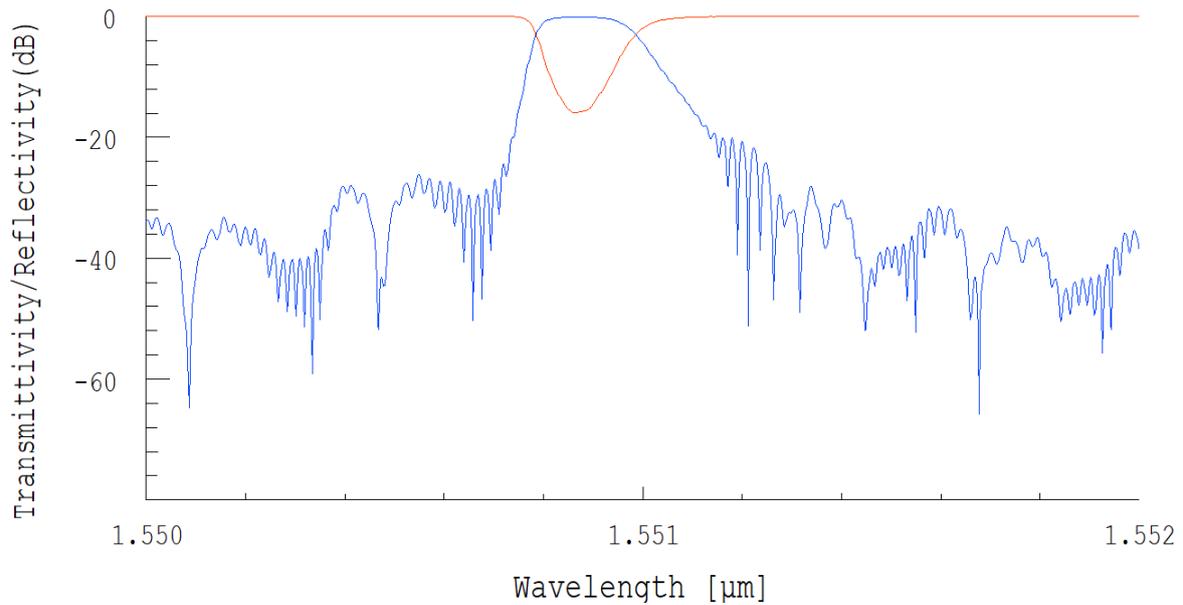
lobus utama ialah sebesar 0,164 nm yang artinya memiliki kinerja lebih buruk dibandingkan dengan periode *linear chirp* dan *quadratic chirp*.



Gambar 4. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *square chirp*.

Diantara periode *chirp* yang diatas, *cubic root chirp* memiliki lobus utama paling sempit yaitu 0,14 nm seperti pada Gambar 5. Sementara itu perbedaan lobus utama dan samping diperoleh 0,124 nm yang semakin kecil perbedaan lobus utama dan samping

dibandingkan dengan *linear, square, quadratic chirp*. Hal tersebut mengindikasikan kinerja yang tidak bagus dari sensor FBG baik terhadap suhu maupun terhadap regangan. Namun FWHM yang sempit mengindikasikan sensor FBG yang lebih sensitif.

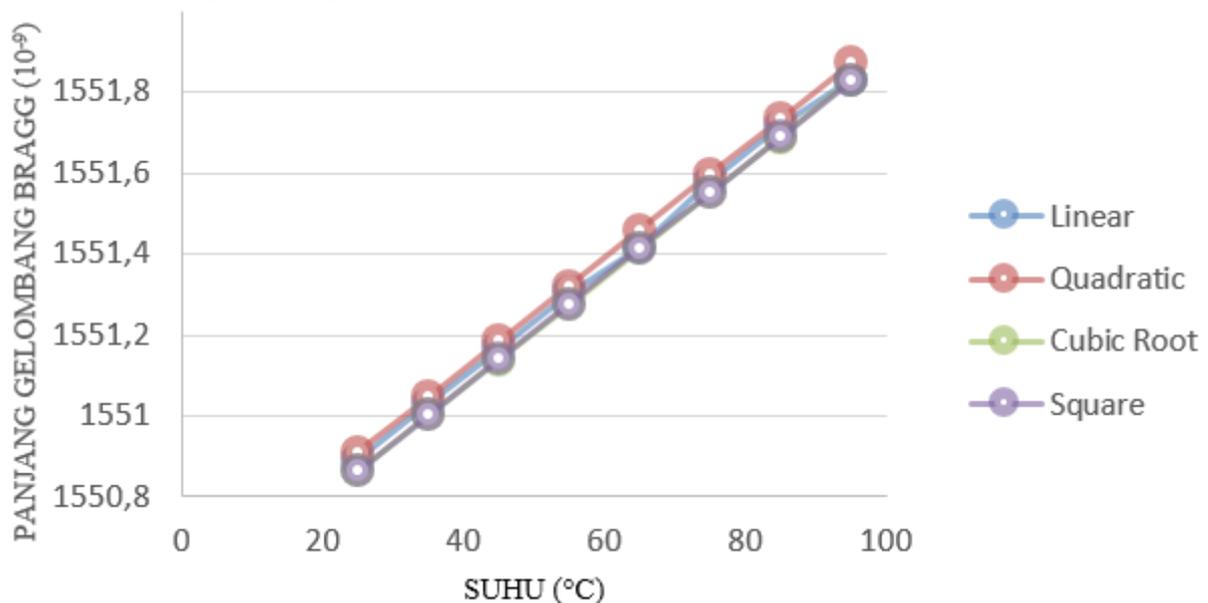


Gambar 5. Spektrum panjang gelombang sensor FBG apodisasi Gaussian dengan *cubic root chirp*.

Sensitivitas Terhadap Suhu

Seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6) bahwa panjang gelombang Bragg akan bergeser tiap perubahan suhu dan regangan, sementara itu keterkaitan silang antara perubahan suhu dan regangan tidak bisa dipisahkan namun dengan menggunakan perangkat *Optigrating* akan dihilangkan pengaruh perubahan regangan

dan hanya meninjau pengaruh perubahan suhu untuk bagian ini dengan menggunakan koefisien *thermo optic* sebesar $8,3 \times 10^6$ dan koefisien ekspansi termal $5,5 \times 10^7$. Setelah rancangan selesai dan menginput semua parameter, maka diperoleh pergeseran panjang gelombang Bragg masing-masing *chirp* untuk apodisasi Gaussian seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu untuk masing-masing fungsi *chirp*.

Pergeseran panjang gelombang Bragg untuk tiap suhu hampir selalu linier seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6, nilai sensitivitas

masing-masing fungsi *chirp* seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2. Sensitivitas masing-masing fungsi chirp terhadap suhu.

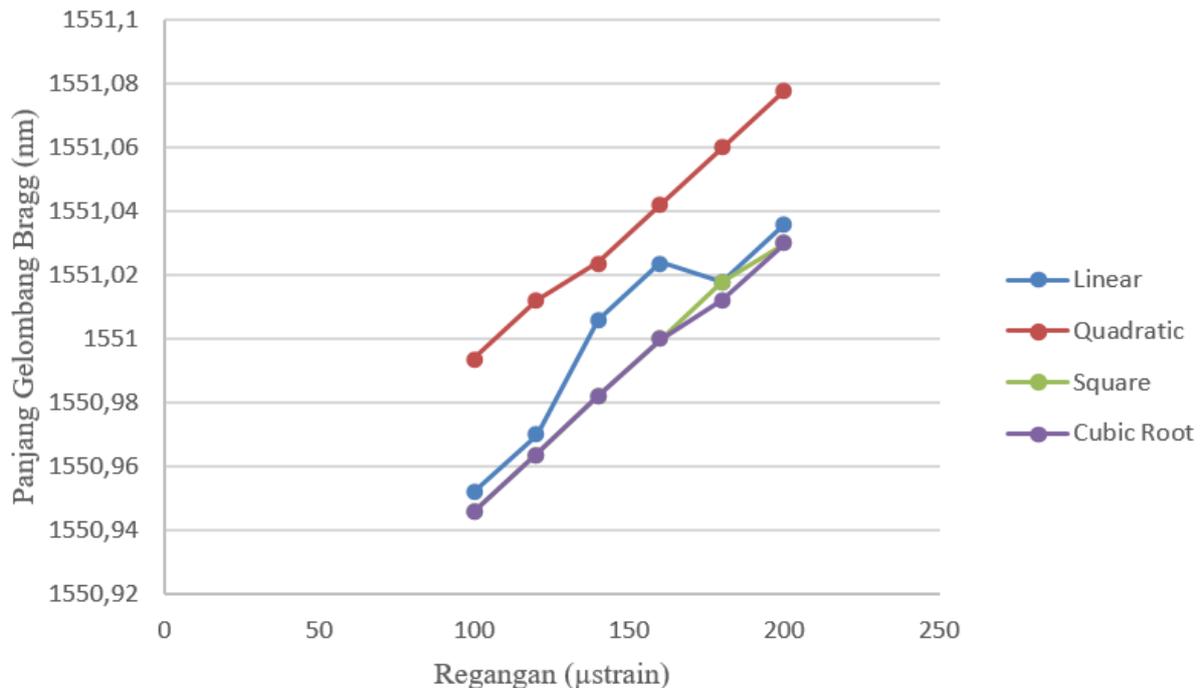
<i>Chirp</i>	Sensitivitas Suhu (pm/°C)
<i>Linear</i>	13,4
<i>Quadratic</i>	13,71429
<i>Cubic Root</i>	13,82857
<i>Square</i>	13,74286

Pada Tabel 2 diperoleh bahwa masing-masing fungsi *chirp* memiliki sensitivitas yang berbeda dengan apodisasi Gaussian untuk *cubic root chirp* yang memiliki pergeseran panjang gelombang Bragg yang paling besar yaitu 13,82857 pm/°C diikuti oleh *square chirp* 13,74286 pm/°C, *quadratic chirp* 13,71429 pm/°C, dan *linear chirp* 13,4 pm/°C. Hasil tersebut menyatakan bahwa kinerja sensor FBG Topas apodisasi Gaussian untuk *cubic root chirp* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya.

Sensitivitas Terhadap Regangan

Seperti halnya suhu maka FBG juga memiliki sensitivitas terhadap perubahan regangan seperti pada persamaan (6), setelah menginput koefisien *photoelastic* $\rho_{11} = 0,121$,

$\rho_{12} = 0,27$ dengan rasio Poisson 0,17 Maka diperoleh pergeseran puncak gelombang Bragg dengan tiap perubahan regangan sebesar 20 μ strain. Pada Gambar 7 menunjukkan pergeseran panjang gelombang Bragg tiap satuan regangan tidak begitu linier dibandingkan dengan perubahan suhu, namun untuk *cubic* dan *square chirp* linieritas tampak lebih bagus dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya. Sementara itu yang paling tidak linier ialah *linear chirp* dalam regangan 120 – 140 μ strain yang mengalami peningkatan yang jauh. Sedangkan pada regangan 160 – 180 μ strain, puncak gelombang Bragg mengalami penurunan dibandingkan dengan sebelumnya, ini mengindikasikan kinerja sensor regangan yang buruk dari FBG.



Gambar 7. Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap regangan.

Tabel 3. Sensitivitas regangan FBG Topas apodisasi Gaussian pada setiap chirp.

<i>Chirp</i>	Sensitivitas Regangan (pm/ μ strain)
<i>Linear</i>	0,84
<i>Quadratic</i>	0,84
<i>Square</i>	0,84
<i>Cubic Root</i>	0,84

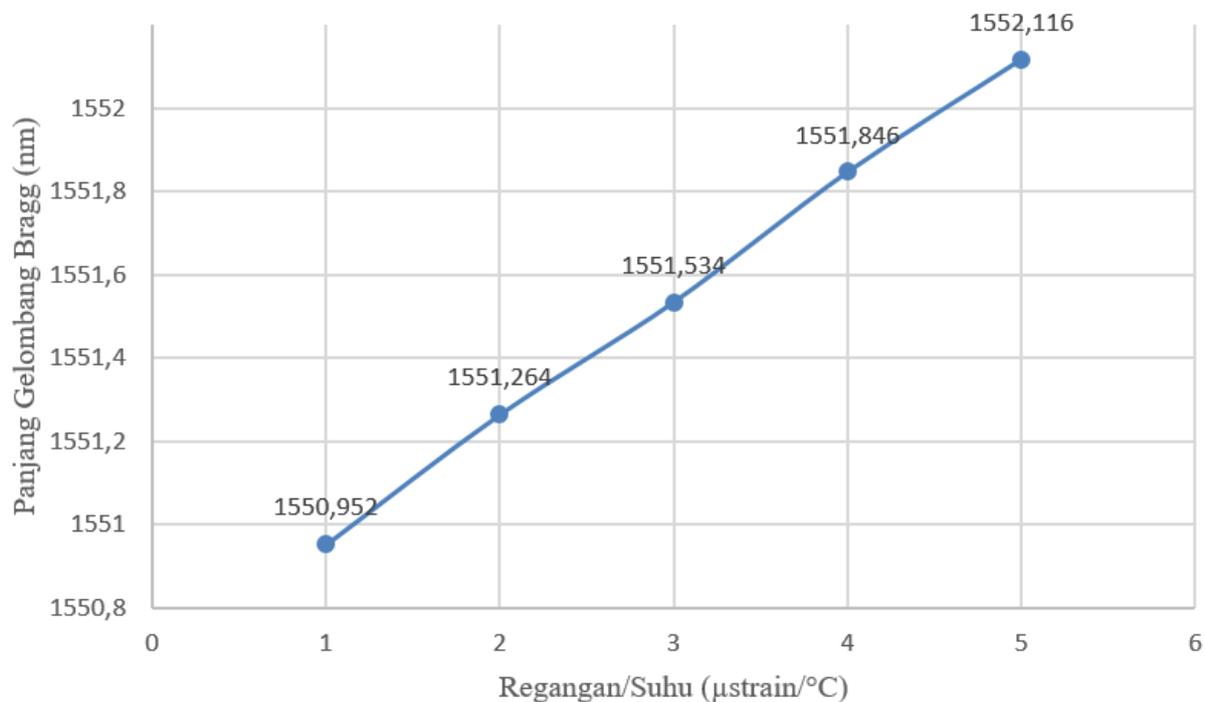
Pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap regangan sama dengan yang dilaporkan oleh shayma *et al.* (2019) dalam artikelnya dengan sensitivitas 0,84 pm/ μ strain walaupun memiliki linieritas yang berbeda.

Walaupun memiliki linieritas yang berbeda namun sensitivitas FBG terhadap regangan untuk masing-masing fungsi chirp sama yaitu sebesar 0,84 pm/ μ strain. Hasil yang sama juga diperoleh oleh shayma *et al.* (2019) dalam publikasinya mengenai sensitivitas FBG Topas apodisasi Gaussian. Dari hasil temuannya diperlihatkan bahwa walaupun puncak gelombang Bragg pada suhu ruangan untuk tiap fungsi *chirp* berbeda namun gradien pergeseran panjang gelombang Bragg dalam rentang regangan 100 – 200 μ strain memiliki nilai yang sama seperti pada Tabel 3. Fungsi *chirp* dan

apodisasi ialah dua buah fungsi yang dapat mengubah geometri dalam isi FBG dan juga dapat menghilangkan *noise* dari spektrum panjang gelombang yang dihasilkan.

Sensitivitas Suhu dan Regangan Bahan Topas *Linear Chirp*

Pengukuran sensor FBG terhadap suhu dan regangan tidak bisa dipisahkan, pergeseran panjang gelombang Bragg tergantung kepada dua besaran suhu dan regangan yang tidak bisa dihilangkan satu dengan yang lainnya. Pada Gambar 8 ditunjukkan pergeseran panjang gelombang Bragg terhadap suhu dan regangan sekaligus untuk setiap 200 °C dan 20 μ strain.



Gambar 8. Pergeseran sensor FBG terhadap perubahan suhu dan regangan sekaligus.

Tabel 4. Puncak panjang gelombang Bragg apodisasi Gaussian tiap suhu dan regangan sekaligus.

No	Regangan/Suhu ($\mu\text{strain}/^\circ\text{C}$)	Panjang Gelombang Bragg (nm)
1	100/25	1550,952
2	120/45	1551,264
3	140/65	1551,534
4	160/85	1551,846
5	180/105	1552,116

Berdasarkan hasil Tabel 4 yang diperoleh menunjukkan bahwa puncak panjang gelombang Bragg untuk dua besaran sekaligus seperti suhu dan regangan pada suhu ruangan dan regangan 100 μstrain diperoleh puncak panjang gelombang Bragg pada 1550,952. Sementara itu untuk masing-masing suhu 25 $^\circ\text{C}$ dan regangan 100 μstrain diperoleh 1550,89 nm dan 1550,952 nm, dari hasil tersebut diperlihatkan memiliki nilai yang sama dengan puncak panjang gelombang Bragg pada regangan 100 μstrain . Sementara itu jika kita lihat untuk suhu 65 $^\circ\text{C}$ dan 140 μstrain sekaligus diperoleh puncak Panjang gelombang sebesar 1551,416 nm dan 1551,006 nm. Pada suhu dan regangan sekaligus diperoleh 1551,534 nm dan 0,118 nm perbedaan dari puncak gelombang Bragg pada suhu dan 0.410 nm pada regangan. Disini jupa didapatkan bahwa pengaruh perubahan suhu tiap 10 $^\circ\text{C}$ lebih besar terhadap pergeseran puncak panjang gelombang Bragg daripada 1 μstrain .

KESIMPULAN

Fungsi *chirp* memiliki sensitivitas yang berbeda dengan apodisasi Gaussian untuk sensor suhu dengan *cubic root chirp* memiliki pergeseran panjang gelombang Bragg yang paling besar yaitu 13,82857 $\text{pm}/^\circ\text{C}$, diikuti oleh *square chirp* 13,74286 $\text{pm}/^\circ\text{C}$, *quadratic chirp* 13,71429 $\text{pm}/^\circ\text{C}$, dan *linear chirp* 13,4 $\text{pm}/^\circ\text{C}$. Berdasarkan hasil yang tersebut, kinerja sensor FBG Topas apodisasi Gaussian dengan *cubic root chirp* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan periode *chirp* lainnya. Sedangkan sensitivitas FBG terhadap regangan untuk masing-masing fungsi *chirp* sama yaitu sebesar 0,84 $\text{pm}/\mu\text{strain}$.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Riau khususnya Laboratorium Plasma dan Fotonik yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan penelitian.

REFERENSI

1. Tahhan, S. R., Ali, M. H., & Abass, A. K. (2020). Characteristics of dispersion compensation for 32 channels at 40 Gb/s under different techniques. *Journal of Optical Communications*, **41**(1), 57–65.
2. Irawan, D., Ali, J., & Fadhali, M. (2013). Birefringence analysis of directional fiber coupler induced by fusion and coupling parameters. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, **124**(17), 3063–3066.
3. Navruz, I. & Guler, N. F. (2008). A novel technique for optical dense comb filters using sampled fiber Bragg gratings. *Optical Fiber Technology*, **14**(2), 114–118.
4. Murthy, C. S. R. & Gurusamy, M. (2002). *WDM optical networks: concepts, design, and algorithms*. Prentice Hall.
5. Tahir, B. A., Ali Saktioto, J., Fadhali, M., Rahman, R. A., & Ahmed, A. (2008). A study of FBG sensor and electrical strain gauge for strain measurements. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, **10**(10), 2564–2568.
6. Yang, X., Luo, S., Chen, Z., Ng, J. H., & Lu, C. (2007). Fiber Bragg grating strain sensor based on fiber laser. *Optics communications*, **271**(1), 203–206.
7. Vendittozzi, C., Felli, F., & Lupi, C. (2018). Modeling FBG sensors sensitivity

- from cryogenic temperatures to room temperature as a function of metal coating thickness. *Optical Fiber Technology*, **42**, 84–91.
8. Daud, S., Jalil, M. A., Najmee, S., Saktioto, S., Ali, J., & Yupapin, P. P. (2011). Development of FBG sensing system for outdoor temperature environment. *Procedia Engineering*, **8**, 386–392.
 9. Jahan, M. I., Honnugar, R. V., & Versha, R. (2018). Analysis of FBG sensor for accurate pressure sensing with improved sensitivity. *Materials Today: Proceedings*, **5**(2), 5452–5458.
 10. Kashyap, R. (2009). *Fiber bragg gratings*. Academic press.
 11. Issatayeva, A., Beisenova, A., Tosi, D., & Molardi, C. (2020). Fiber-optic based smart textiles for real-time monitoring of breathing rate. *Sensors*, **20**(12), 3408.
 12. Dziuda, L., Skibniewski, F. W., Krej, M., & Lewandowski, J. (2012). Monitoring respiration and cardiac activity using fiber Bragg grating-based sensor. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, **59**(7), 1934–1942.
 13. Chen, C., Wu, Q., Xiong, K., Zhai, H., Yoshikawa, N., & Wang, R. (2020). Hybrid temperature and stress monitoring of woven fabric thermoplastic composite using fiber Bragg grating based sensing technique. *Sensors*, **20**(11), 3081.
 14. Tahhan, S. R., Ali, M. H., Al-Ogaidi, M. A. Z., & Abass, A. K. (2019). Impact of Apodization Profile on Performance of Fiber Bragg Grating Strain-Temperature Sensor. *J. Commun.*, **14**(1), 53–57.
 15. El-Gammal, H. M., El-Badawy, E. S. A., Rizk, M. R., & Aly, M. H. (2020). A new hybrid FBG with a π -shift for temperature sensing in overhead high voltage transmission lines. *Optical and Quantum Electronics*, **52**(1), 1–24.
 16. CR, U. K., Samiappan, D., Kumar, R., & Sudhakar, T. (2020). Development and experimental validation of a Nuttall apodized fiber Bragg Grating sensor with a hydrophobic polymer coating suitable for monitoring sea surface temperature. *Optical Fiber Technology*, **56**, 102176.
 17. Zhou, X., Zhou, Y., Li, Z., Bi, M., Yang, G., & Wang, T. (2019). Research on temperature sensing characteristics with cascaded fiber Sagnac interferometer and fiber Fabry–Perot interferometer-based fiber laser. *Optical Engineering*, **58**(5), 057103.
 18. Irawan, D., Saktioto, T., Ali, J., & Yupapin, P. (2015). Design of Mach-Zehnder interferometer and ring resonator for biochemical sensing. *Photonic Sensors*, **5**(1), 12–18.
 19. Ying, Y., Hu, N., Si, G. Y., Xu, K., Liu, N., & Zhao, J. Z. (2019). Magnetic field and temperature sensor based on D-shaped photonic crystal fiber. *Optik*, **176**, 309–314.
 20. Syahputra, R. F. & Meri, R. (2017). Profile of single mode fiber coupler combining with Bragg grating. *Telkomnika*, **15**(3), 1103–1107.
 21. Reddy, P. S., PRASAD, R. N. S., Sengupta, D., Shankar, M. S., & Srimannarayana, K. (2010). Teflon-coated fiber Bragg grating sensor for wide range of temperature measurements. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, **12**, 2040–2043.
 22. Jin, X., Yuan, S., & Chen, J. (2019). On crack propagation monitoring by using reflection spectra of AFBG and UFBG sensors. *Sensors and Actuators A: Physical*, **285**, 491–500.
 23. Van Delden, J. S. (1995). Optical circulators improve bidirectional fiber systems. *Laser focus world*, **31**(11), 109–112.
 24. Djohan, N. & No, J. T. D. R. (2009). Soliton dalam Serat Optik. *Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta*.
 25. Sari, D. M. (2010). Kajian karakteristik rugi-rugi pada serat Optik Telkom karena pembengkokan Makro.

26. Measures, R. M. (2001). *Structural monitoring with fiber optic technology*. Academic Press, Inc.
27. Xu, M. G., Archambault, J. L., Reekie, L., & Dakin, J. P. (1994). Thermally-compensated bending gauge using surface-mounted fibre gratings. *International Journal of Optoelectronics*, **9**(3), 281–283.
28. Blackman, R. B. & Tukey, J. W. (1985). *The measurement of power spectra*. New York: Dover Publications.
29. Mohammed, N. A., Ali, T. A., & Aly, M. H. (2013). Performance optimization of apodized FBG-based temperature sensors in single and quasi-distributed DWDM systems with new and different apodization profiles. *AIP Advances*, **3**(12), 122125.
30. CR, U. K., Samiappan, D., Kumar, R., & Sudhakar, T. (2020). Development and experimental validation of a Nuttall apodized fiber Bragg Grating sensor with a hydrophobic polymer coating suitable for monitoring sea surface temperature. *Optical Fiber Technology*, **56**, 102176.
31. Bundgaard, F., Perozziello, G., & Geschke, O. (2006). Rapid prototyping tools and methods for all-Topas® cyclic olefin copolymer fluidic microsystems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, **220**(11), 1625–1632.
32. Khanarian, G. (2001). Optical properties of cyclic olefin copolymers. *Optical Engineering*, **40**(6), 1024–1029.



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

INTERPRETASI KUALITAS AIR BAWAH TANAH DI KELURAHAN TANGKERANG TENGAH KECAMATAN MARPOYAN DAMAI MENGGUNAKAN METODE GEOLISTRIK DAN GEOKIMIA

Devi Arvianti*, Juandi M

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: deviarvianti08@gmail.com

ABSTRACT

Tangkerang Tengah Village is one of the residential locations with a densely populated area and has peat lithology. This condition causes the impact of underground water pollution due to domestic waste from housing. This study was aimed to determine the distribution pattern and qualities of its groundwater in Tangkerang Tengah village. The method used is the geoelectric of Wenner configuration and geochemistry by analyzing parameters of pH, turbidity, TDS, conductivity and salinity. The results of geoelectric method shows in the study area on the first track there were 5 layers with aquifers in the third layer at a depth of 9.26 – 17 meters while on the second track there were also 5 layers with aquifers in the fourth layer at a depth of 13.5 – 19.8 meters. The results of the geochemistry method shows two parameters that are not in accordance with the existing quality standards in the Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia No. 32 of 2017, namely the $pH < 6.5$ and salinity > 0.5 ppt.

Keywords: Groundwater, Peat, Geoelectric, Geochemistry, Pollution.

ABSTRAK

Kelurahan Tangkerang Tengah adalah salah satu lokasi perumahan dengan kawasan padat penduduk serta memiliki litologi gambut. Kondisi tersebut dapat menimbulkan dampak pencemaran air bawah tanah yaitu akibat limbah domestik dari perumahan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pola penyebaran dan kualitas air bawah tanah di kelurahan Tangkerang Tengah. Metode yang digunakan adalah metode geolistrik konfigurasi Wenner dan geokimia dengan menganalisa parameter pH, kekeruhan, TDS, konduktivitas dan salinitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa di daerah studi pada lintasan pertama terdapat 5 lapisan dengan akuifer berada dilapisan ketiga pada kedalaman 9,26 – 17 meter sedangkan pada lintasan kedua juga terdapat 5 lapisan dengan akuifer berada dilapisan keempat pada kedalaman 13,5 – 19,8 meter. Berdasarkan hasil uji parameter geokimia dapat dikatakan bahwa air bawah tanah dilokasi penelitian menunjukkan dua parameter yang tidak sesuai dengan standar baku mutu yang ada pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 yaitu nilai $pH < 6,5$ dan salinitas $> 0,5$ ppt.

Kata kunci: Air Bawah Tanah, Gambut, Geolistrik, Geokimia, Pencemaran.

Diterima 09-09-2020 | Disetujui 26-04-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia tidak terlepas dari yang namanya air. Air merupakan sumber utama bagi kehidupan. Manusia biasanya memperoleh air untuk pemenuhan kebutuhan dari sumber air tanah ataupun air permukaan [1]. Dimana kualitas air tanah relatif lebih baik dibandingkan

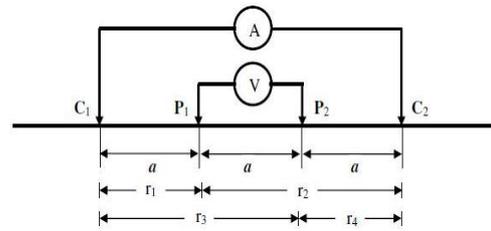
dengan air permukaan karena air permukaan memiliki potensi tercemar yang lebih besar [2].

Kelurahan Tangkerang Tengah merupakan wilayah padat penduduk dengan jumlah penduduk mencapai 33.845 jiwa. Jumlah penduduk yang padat menyebabkan kebutuhan terhadap air juga meningkat. Kepadatan jumlah penduduk juga mengakibatkan semakin banyak limbah baik limbah hasil industri maupun

limbah domestik hasil kegiatan rumah tangga dan dapat mengurangi kualitas dari air tanah sendiri [3]. Air yang bersih sangatlah penting bagi kesehatan masyarakat karena air yang tidak sesuai dengan standar baku mutu dapat membawa bibit-bibit penyakit bagi masyarakat. Sampah juga sering mengandung patogen yang dapat menyebabkan penyakit. Polutan air dapat dengan mudah pindah ke air permukaan yang dikonsumsi hewan, bila merujuk pada rantai makanan maka akan sampai pula kepada manusia [4].

Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian untuk menguji kualitas air di Kelurahan Tangkerang Tengah. Kualitas air dinyatakan dalam beberapa parameter seperti parameter fisika, kimia dan biologi. Parameter fisika air yaitu meliputi suhu, kekeruhan, jumlah padatan terlarut dan lainnya, porositas [5]. Parameter kimia yaitu meliputi kadar logam, pH, salinitas, COD, BOD dan lainnya sedangkan parameter biologi meliputi bakteri ataupun keberadaan plankton dalam air [6]. Analisis air tanah juga dapat dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik [7]. Metode geolistrik yang sering digunakan adalah metode geolistrik resistivitas. Metode ini sering digunakan karna memiliki hasil yang cukup baik juga murah dan mudah untuk dilakukan. Metode geolistrik digunakan untuk mengetahui aliran listrik di dalam bumi yang terukur dari elektroda arus dan elektroda potensial. Cara pengukurannya yaitu dengan menginjeksikan arus listrik ke dalam tanah dengan menancapkan dua elektroda arus dan dua elektroda potensial [8]. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode geolistrik konfigurasi Wenner.

Metode geolistrik konfigurasi Wenner menggunakan empat buah elektroda yaitu dua elektroda arus (C1C2) dan dua elektroda potensial (P1P2). Susunan keempat elektroda pada konfigurasi Wenner dapat dilihat pada Gambar 1. Jarak elektroda potensial selalu 1/3 dari jarak elektroda arus. Apabila jarak elektroda arus diperbesar maka jarak elektroda potensial juga harus diperbesar.



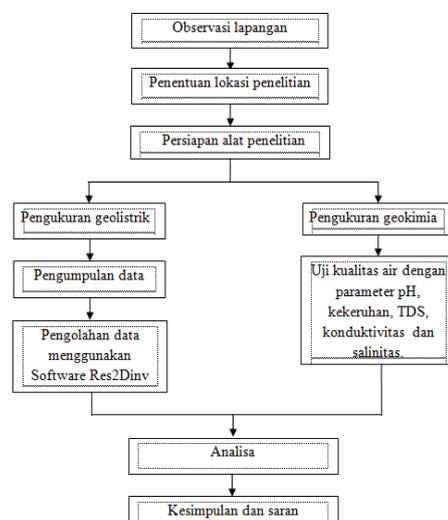
Gambar 1. Susunan elektroda konfigurasi Wenner.

Pengujian kualitas air pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil empat sampel berdasarkan arah mata angin dengan parameter yang diuji adalah pH, kekeruhan, TDS, konduktivitas dan salinitas dengan standar baku mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan persyaratan Kesehatan Air Untuk keperluan Higiene Sanitasi, kolam renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum.

Dengan alasan demikian, penulis ingin melakukan penelitian dengan tujuan :

1. Menganalisa pola penyebaran air bawah tanah di Kelurahan Tangkerang Tengah Kecamatan marpoyan Damai menggunakan metode Geolistrik konfigurasi Wenner.
2. Menguji kualitas air berdasarkan parameter pH, Kekeruhan, TDS, Konduktivitas dan Salinitas.

METODE PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner dengan 2

titik lintasan di Kelurahan Tangkerang Tengah. Lokasi pertama berada di jalan Nurtanio pada titik koordinat 101°26'52" BT dan 0°29'11" LU dengan panjang lintasan 100 meter dan lokasi kedua berada di Jalan Garuda tepatkan disekitar lapangan SMP Negeri 37 pada titik koordinat 101°26'40" BT dan 0°29'30" LU dengan panjang lintasan 90 meter.

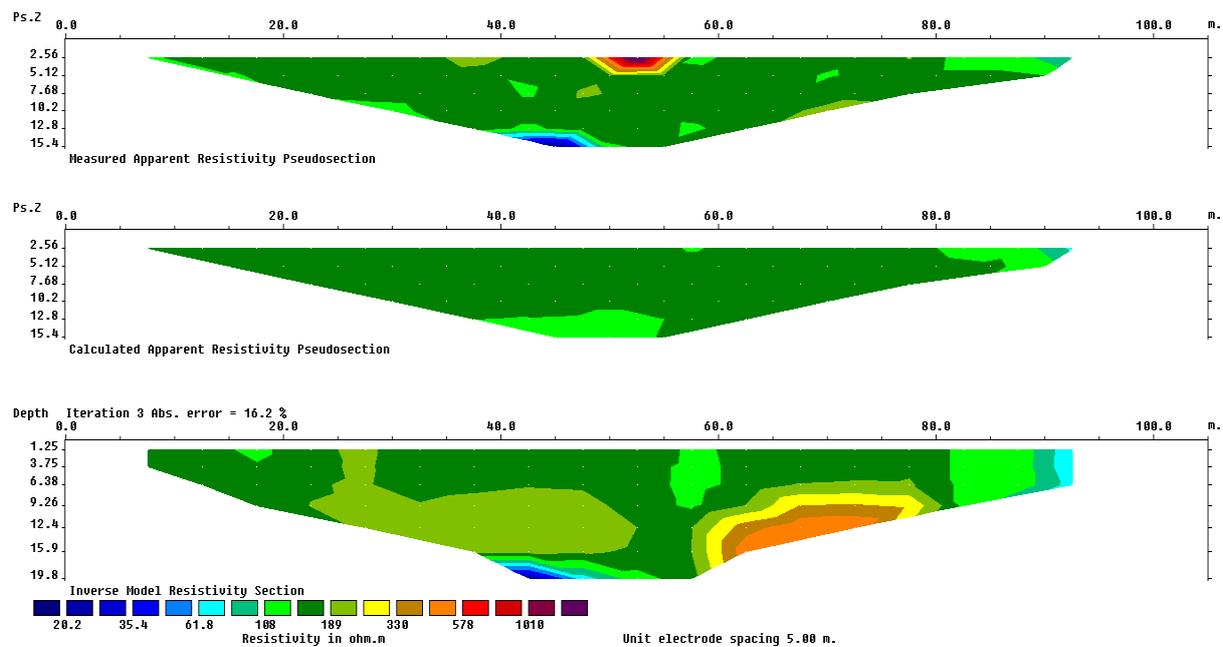
Hasil dari pengukuran dilapangan diolah menggunakan *Software Res2Dinv* untuk mengetahui penampang resistivitas bawah permukaan. Pada penelitian ini juga membahas kualitas air tanah dengan uji parameter pH, Kekeruhan, TDS, Konduktivitas dan Salinitas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data geolistrik yang telah diperoleh diolah menggunakan *Software Res2Dinv* sehingga diperoleh citra 2D dari penampang bawah permukaan.

Hasil Pengolahan Data Menggunakan *Software Res2Dinv* pada Lintasan 1

Hasil perhitungan dan pengolahan data dengan *software Res2Dinv* untuk metode Wenner diperoleh penampang bawah permukaan seperti Gambar 3.



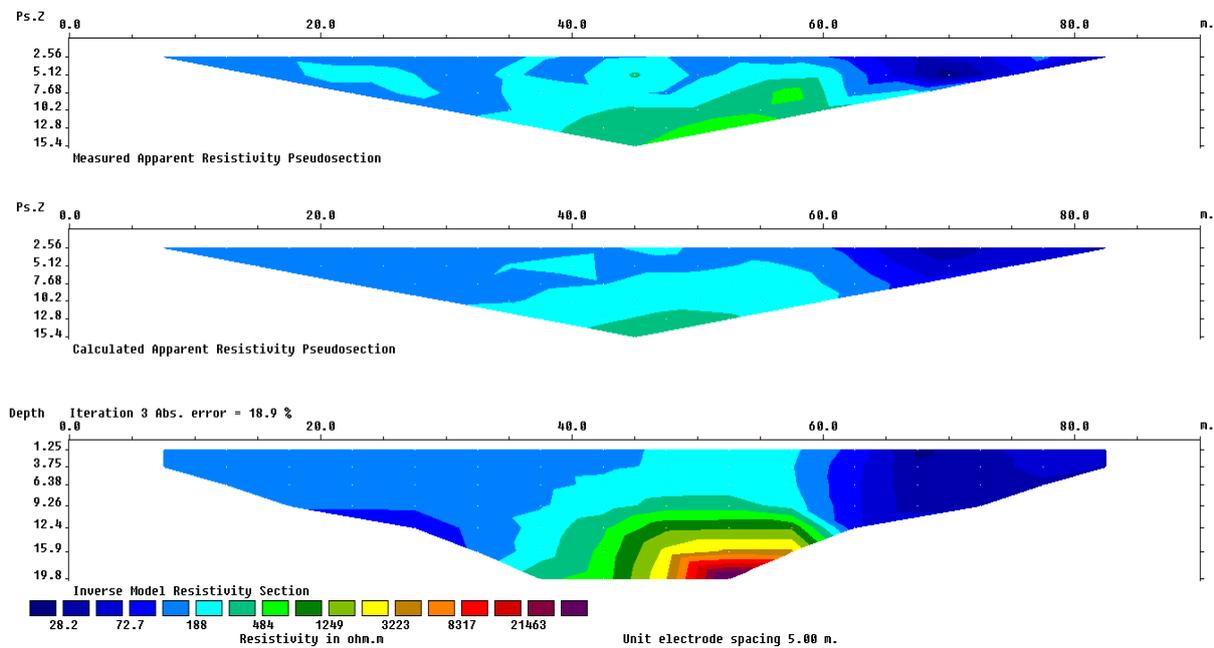
Gambar 3. Penampang resistivitas lintasan 1.

Berdasarkan Gambar 3 kedalaman yang diperoleh sebesar 19,8 meter dengan RMS error 16,2%. Dari hasil inversi 2D *Software Res2Dinv* didapatkan distribusi nilai resistivitas yang berbeda-beda ditandai dengan citra warna yang berbeda pula. Nilai resistivitas lapisan pertama 108 – 189 Ωm dengan kedalaman 0 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil. Nilai resistivitas lapisan kedua 189 – 330 Ωm dengan kedalaman 6,38 – 9,26 meter diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil. Nilai resistivitas lapisan ketiga 330-578 Ωm dengan kedalaman 9,26 – 17 meter diinterpretasikan sebagai lapisan pasir yang merupakan lapisan akuifer dimana lapisan ini dapat menyimpan

dan mengalirkan air dalam jumlah yang besar. Nilai resistivitas lapisan keempat 20,2 – 61,8 Ωm dengan kedalaman 17 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan lempung. Nilai resistivitas lapisan terakhir 578 – 1010 Ωm dengan kedalaman lebih besar dari 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan gamping.

Hasil Pengolahan Data Menggunakan *Software Res2Dinv* pada Lintasan 2

Hasil perhitungan dan pengolahan data dengan *software Res2Dinv* untuk metode Wenner diperoleh penampang bawah permukaan seperti Gambar 4.



Gambar 4. Penampang resistivitas lintasan 2.

Berdasarkan Gambar 4 kedalaman yang diperoleh sebesar 19,8 meter dengan RMS error 18,9%. Dari hasil inversi 2D *Software Res2Dinv* didapatkan distribusi nilai resistivitas yang berbeda-beda ditandai dengan citra warna yang berbeda pula. Nilai resistivitas lapisan pertama 28,2 – 188 Ωm dengan kedalaman 0 – 15,5 meter diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan pasir lempungan. Nilai resistivitas lapisan kedua 188 – 484 Ωm dengan kedalaman 0 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan kerikil dan pasir. Nilai resistivitas lapisan ketiga

484 – 1249 Ωm dengan kedalaman 12,4 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan batu serpih. Nilai resistivitas lapisan keempat 1.249 – 3.223 Ωm dengan kedalaman 13,5 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan batu pasir yang merupakan lapisan akuifer dimana lapisan ini dapat menyimpan dan mengalirkan air dalam jumlah yang besar. Nilai resistivitas lapisan terakhir 3.223 – 21.463 Ωm dengan kedalaman 15,9 – 19,8 meter diinterpretasikan sebagai lapisan basalt.



Gambar 5. Pola penyebaran air tanah.

Interpretasi Pola Penyebaran air Tanah

Dari interpretasi kedua lintasan dapat diketahui pola penyebaran air tanah dimana aliran air tanah mengalir dari lapisan yang dangkal ke lapisan yang lebih dalam.

Berdasarkan Gambar 5 Pola penyebaran air tanah mengalir dari lapisan dangkal ke lapisan yang lebih dalam, sehingga untuk pola penyebara air tanah dari 2 lintasan di kelurahan Tangkerang tengah mengalir dari lintasan 1 yang berada di jalan Nurtanio menuju lintasan 2 di jalan Garuda.

Analisa Parameter Kualitas Air Tanah

Pengambilan keempat sampel berdasarkan arah mata angin. Sampel 1 diarah selatan pada titik koordinat 0°29'11" LU dan 101°26'50" BT. Sampel 2 diarah utara pada titik koordinat 0°29'29" LU dan 101°26'41" BT. Sampel 3 diarah timur pada titik koordinat 0°29'28" LU dan 101°26'41" BT. Sampel 4 diarah barat pada titik koordinat 0°29'14" LU dan 101°26'7" BT. Hasil uji sampel air berdasarkan 5 parameter tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji sampel air.

pH	TDS	Cond	Salt	Turb
4,80	6	9	4	2,00
4,20	16	25	11	2,12
4,31	10	15	7	0,12
4,00	38	58	27	20,7

Air normal memiliki rentang pH 6,5 – 8,5. Hasil Pengukuran sampel air menunjukkan pH dari keempat sampel bersifat asam (pH < 6,5). Hal ini disebabkan karna lokasi pengambilan sampel merupakan lahan gambut dimana lahan gambut merupakan hasil dari proses dekomposisi bahan-bahan organik yang menyebabkan pH gambut bersifat asam.

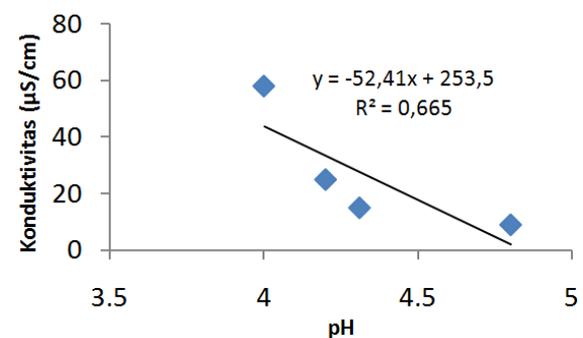
Hasil pengukuran nilai kekeruhan menunjukkan bahwa keempat sampel memiliki nilai kekeruhan yang baik yang sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan oleh Peraturan menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 yaitu maksimum 25 NTU.

Hasil pengukuran menunjukkan nilai konduktivitas dari keempat sampel masih dalam kategori layak konsumsi. Batas maksimum nilai konduktivitas yang dianjurkan adalah 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Semakin kecil nilai konduktivitas maka semakin baik kualitas air tersebut.

Pengujian nilai TDS untuk mengetahui jumlah zat padat terlarut dalam air. Kadar maksimum TDS menurut Peraturan menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 adalah 1.000 mg/l. Dari keempat sampel yang telah diuji nilai TDS yang diketahui sangat jauh dari ambang maksimumnya. Menunjukkan bahwa kualitas air nya baik.

Nilai salinitas dibagi menjadi 4 kategori yaitu air tawar dengan nilai salinitas 0 – 0,5 ppt, air payau 0,5 – 30 ppt, air garam 30 – 50 ppt dan air asin lebih besar dari 50 ppt. Dari hasil pengukuran nilai salinitas diketahui keempat masuk dalam kategori air payau. Perlu dibuat sistem pengolahan air agar air menjadi tawar.

Hubungan Konduktivitas dengan pH



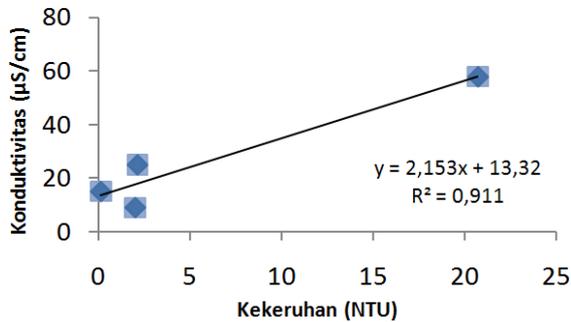
Gambar 6. Grafik Hubungan Konduktivitas dengan pH.

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa konduktivitas terhadap pH memiliki hubungan linier negatif, yaitu apabila nilai konduktivitas besar maka nilai pH akan berkurang begitu sebaliknya. Hal ini disebabkan karena nilai pH yang kecil (bersifat asam) memiliki jumlah ion yang banyak dimana ion-ion ini merupakan penghantar elektrolit yang dapat menghantarkan arus listrik.

Hubungan Konduktivitas dengan Kekeruhan

Berdasarkan Gambar 7 grafik hubungan kekeruhan dengan konduktivitas tidak terdapat

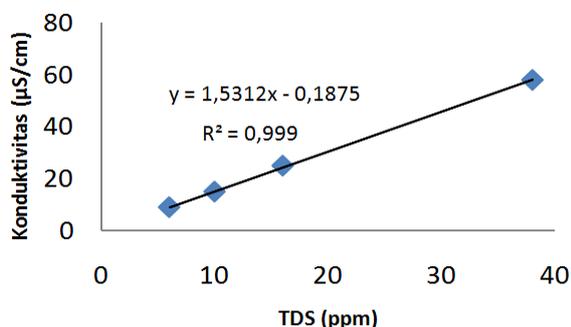
hubungan langsung antara keduanya. Konduktivitas adalah kemampuan air dalam menghantarkan arus listrik sedangkan kekeruhan merupakan ukuran relatif kejernihan air.



Gambar 7. Grafik Hubungan Konduktivitas dengan kekeruhan.

Hubungan Konduktivitas dengan TDS

TDS merupakan jumlah zat terlarut dalam air, setiap padatan yang terlarut akan mengandung ion-ion. Nilai konduktivitas menunjukkan konsentrasi ion dalam larutan. Penelitian yang telah dilakukan oleh irwan di Padang dengan meneliti air laut, air sungai dan air danau didapati hasil bahwa konduktivitas dengan TDS memiliki hubungan yang linier positif [9]. Apabila dilihat dari grafik pada Gambar 8 penelitian sebelumnya sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan yaitu jika nilai konduktivitas meningkat maka nilai TDS juga akan meningkat.

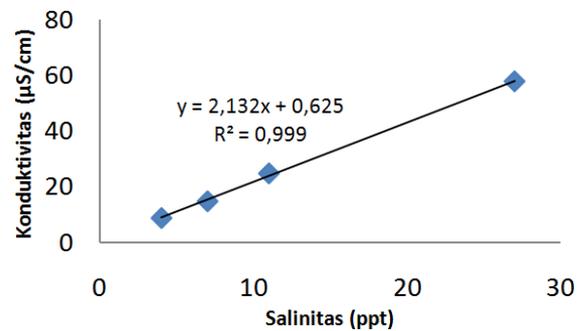


Gambar 8. Grafik Hubungan Konduktivitas dengan TDS.

Hubungan Konduktivitas dengan Salinitas

Salinitas adalah kadar garam didalam air. Setiap garam-garam yang terlarut didalam air mengandung ion-ion dimana setiap ion-ion ini

membantu meningkatkan nilai konduktivitas. hubungan salinitas dan konduktivitas adalah berbanding lurus atau linier positif, yang artinya semakin besar nilai konduktivitas maka nilai salinitas juga semakin besar [10]. Dapat dilihat pada Gambar 9 bahwa grafik tersebut sesuai dengan teori bahwa konduktivitas linier positif terhadap salinitas.



Gambar 9. Grafik Hubungan Konduktivitas dengan Salinitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan interpretasi lintasan 1 letak air tanah berada pada lapisan ketiga dengan kedalaman 9,26 – 17 meter dan interpretasi lintasan 2 letak air tanah berada pada lapisan keempat dengan kedalaman 13,5 – 19,8 meter sehingga pola penyebaran air tanah mengalir dari lintasan 1 menuju lintasan 2 dari lapisan dangkal menuju lapisan yang lebih dalam. Hasil uji kualitas air tanah dengan lima parameter yaitu pH, kekeruhan TDS, konduktivitas dan salinitas menunjukkan bahwa kualitas air di Kelurahan Tangkerang Tengah kurang baik untuk dikonsumsi masyarakat karena terdapat dua parameter yang tidak sesuai dengan standar air bersih. Perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut agar kualitas air menjadi lebih baik.

REFERENSI

1. Juandi, M. (2017). Sustainability Model for Unconfined Aquifers. *International Journal of Science and Applied Technology*, **1**(1), 8–14.
2. Fetter, C. W. (1988). *Applied Hydrogeology*. New York: Macmillan Publishing Company.

3. Juandi, M. and Sarkowi, M. (2016). 2D Groundwater Depth for Analysis of The Zone Unconfined Aquifer. *INSIST*, **1**(1), 16–19.
4. Issaka, S dkk. (2016). Evaluation of The Groundwater Quality in a Closed Industrial Landfill. *Journal of Engineering Studies and Research*, **22**(1).
5. Juandi, M. (2016). Quantitative Models to Study the Soil Porosity as Function of Soil Resistivity. *Open Journal of Modern Hydrology*, **6**(4), 253–262.
6. Effendi, H. (2003). *Telaan Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Yogyakarta: Kasinius.
7. Juandi, M. Malik, U. and Leonardo, M. (2018). Analisa Tingkat Pencemaran Air Bawah Tanah dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger di Kecamatan Tampan Kota. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **15**(1), 23–27.
8. Loke, M. H. (1995). Least Squares Deconvolution of Apprent Resistivity Pseudosection. *Geophysics*, **60**(6), 1682–1690
9. Irwan, F. Afdal. (2016). Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik degan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur Pada Beberapa Jenis Air. *Jurnal Fisika Unand*, **5**(1).
10. Khairunnas. Gusman, M. (2018). Analisis pengaruh parameter Konduktivitas, Resistivitas dan TDS Terhadap Salinitas Air Tanah Dangkal Pada Kondisi Air laut Pasang dan Air Laut surut di Daerah Pesisir Pantai Kota Padang. *Jurnal Bina Tambang*, **3**(4).



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

EVALUASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DALAM KALIBRASI TERMOMETER DIGITAL MENGGUNAKAN PERSAMAAN REGRESI KALIBRASI

Icha Fatwasauri^{1,*}, Shantiana Tri Erawati², Margi Sasono², Rino Ferdian Surakusumah¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Elektromedis, Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Al Insyirah Pekanbaru

²Program Studi Fisika, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta

*E-mail korespondensi: ichafatwasauri@gmail.com

ABSTRACT

Temperature measurement is one of the important parameters in guaranteeing the quality of a product. Thermometer accuracy quality assurance is very important and crucial in the production process. Thermometer accuracy requires traceability to international standard units of measurement through a routine calibration process. The method of calibration of the thermometer uses a temperature controlled chamber/bath and requires high temperature stability. Chambers/baths on the market are relatively expensive and the temperature calibration process takes a long time because at each set point stability must be waited. In this study, the thermometer calibration was carried out by comparing the readings of the calibrated thermometer with a standard thermometer and using a calibration regression equation to determine the value of the standard error of estimate (SEE). The regression equations use inverse and classical methods, each with linear equations, polynomial equations and power equations. From the research that has been done, the digital thermometer calibration can be done by using a temperature-controlled bath that is only by comparing the readings between a standard thermometer and a calibrated thermometer by recording any temperature increases. To evaluate the uncertainty of the digital thermometer calibration, the smallest SEE value is obtained in the power equation, namely 0.001. There were no significant differences in each type of regression and the combined standard uncertainty results were 0.16 at 37 °C using linear regression.

Keywords: Calibration, Regression Equation, Chamber/Bath, Digital Thermometer, Standard Error of Estimate.

ABSTRAK

Pengukuran suhu merupakan salah satu parameter penting dalam jaminan mutu suatu produk. Jaminan mutu akurasi termometer sangat penting dan krusial dalam proses produksi. Akurasi termometer memerlukan ketertelusuran ke satuan ukur standar internasional melalui proses kalibrasi rutin. Metode kalibrasi termometer yang ada menggunakan chamber/bath yang terkontrol suhu dan perlu stabilitas suhu tinggi. Chamber/bath di pasaran relatif mahal dan proses kalibrasi suhu memerlukan waktu yang lama karena pada setiap set point harus ditunggu stabilitasnya. Dalam penelitian ini kalibrasi termometer dilakukan dengan membandingkan pembacaan termometer yang dikalibrasi dengan termometer standar dan menggunakan persamaan regresi kalibrasi untuk menentukan nilai standar error of estimate (SEE). Persamaan regresi menggunakan metode invers dan klasik masing-masing dengan linear equation, polynomial equation dan power equation. Dari penelitian yang telah dilakukan kalibrasi termometer digital dapat dilakukan dengan menggunakan bath yang tidak terkontrol suhu yaitu hanya dengan melakukan komparasi pembacaan antara termometer standar dan termometer yang dikalibrasi dengan cara mencatat setiap kenaikan suhu yang ada. Untuk evaluasi ketidakpastian kalibrasi termometer digital diperoleh nilai SEE terkecil pada persamaan power yaitu 0,001. Tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam setiap jenis regresi dan hasil ketidakpastian baku gabungan 0,16 pada suhu 37 °C menggunakan regresi linear.

Kata kunci: Kalibrasi, Persamaan Regresi, Chamber/Bath, Termometer Digital, Standar Error of Estimate.

Diterima 21-05-2021 | Disetujui 25-06-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Pasar bebas Asia Tenggara atau Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) merupakan suatu bentuk integrasi kegiatan ekonomi perdagangan antera negara-negara Asia Tenggara. Produk-produk yang berasal dari negara Asia Tenggara dapat dengan bebas keluar masuk Indonesia, begitu pun sebaliknya. Berkenaan dengan hal tersebut, harus ada jaminan mutu produk yang terkait dengan proses standarisasi produksi.

Dalam prakteknya sebagian besar proses standarisasi produksi terkait dengan pengaturan dan pengukuran suhu secara terkontrol menggunakan alat thermometer. Misalnya, pengukuran suhu pada industri fabrikasi kaca dengan pemanfaatan *furnace* untuk memanaskan bahan kaca, kemudian melakukan pendinginan secara tepat. Proses pendinginan ini dilakukan dengan pengontrolan suhu *furnace* yang akurat menggunakan thermometer. Selain dalam dunia industri, pengukuran suhu juga sangat penting dalam dunia kesehatan. Misalnya, saat seorang dokter akan melakukan *medical checkup* kepada pasien yaitu dengan memanfaatkan nilai suhu tubuh untuk mendiagnosa awal penyakit. Alat ukur yang digunakan disebut thermometer klinis dengan rentang ukur antara 35,5 – 42 °C. Oleh karena itu, jaminan mutu akurasi thermometer sangat penting dan krusial dalam proses produksi/industri maupun kesehatan.

Akurasi thermometer memerlukan ketertelusuran ke satuan ukur standar Internasional melalui proses kalibrasi rutin. Kalibrasi didefinisikan sebagai suatu kegiatan untuk menentukan kebenaran nilai penunjukan alat inspeksi, alat pengukuran atau alat pengujian [1,2]. Kalibrasi bertujuan untuk memastikan akurasi kebenaran nilai yang ditunjukkan oleh alat ukur atau nilai-nilai yang tertera pada suatu bahan ukur. Kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan cara perbandingan secara langsung terhadap suatu standar ukur atau bahan acuan bersertifikat yang tertelusur ke standar Nasional atau Internasional [3-5]. Proses kalibrasi thermometer menurut standar yang ada, dilakukan

menggunakan suatu *chamber/bath* dengan suhu yang terkontrol dan stabilitas tinggi. *Chamber/bath* di pasaran relatif mahal dan proses kalibrasi suhu memerlukan waktu yang lama karena pada setiap *set point* harus ditunggu stabilitasnya.

Berdasarkan hal tersebut diperlukannya metode alternatif yaitu poses kalibrasi thermometer dilakukan dengan menggunakan sebuah *chamber/bath* yang suhunya tidak perlu dikontrol (tidak perlu diatur *set point*) dan waktu yang lebih singkat (tidak menunggu terjadinya stabilitas suhu). Metode ini dapat dilakukan dengan hanya membandingkan pembacaan thermometer yang dikalibrasi dengan thermometer standar pada suatu kondisi suhu *chamber/bath* tertentu. Sedangkan pengolahan data menggunakan persamaan regresi yang banyak digunakan dalam analisis kimia [6,7].

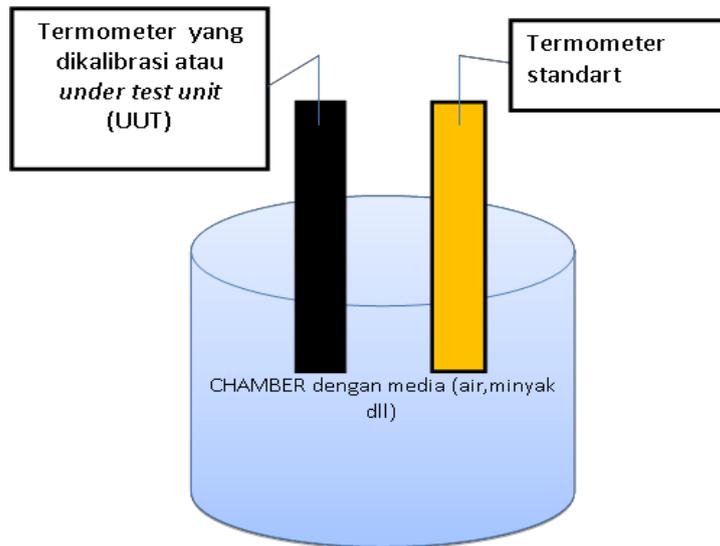
Persamaan regresi banyak digunakan pada bidang spektrofotometri. Dari data yang diperoleh, dihasilkan suatu hubungan linier antara nilai serapan standar larutan dengan pembacaan alat. Komparasi antara thermometer standar dan thermometer yang dikalibrasi dapat dikatakan memiliki hubungan linier seperti halnya dalam spektrofotometri. Persamaan regresi yang digunakan adalah regresi kalibrasi yaitu jika pada regresi biasa diberikan suhu aktual (x) kemudian ditentukan suhu observasi (y) yang bersesuaian, sedangkan bila terjadi sebaliknya suhu observasi (y) kemudian akan ditentukan suhu aktual (x) yang bersesuaian, masalah yang terjadi dikenal dengan masalah kalibrasi atau regresi kalibrasi [8-10]. Oleh karena itu sangat dimungkinkan penggunaan persamaan regresi untuk pengolahan data kalibrasi suhu tanpa *chamber/bath* yang terkontrol suhunya. Dengan demikian metode kalibrasi thermometer lebih murah karena hanya perlu *chamber* sederhana, tanpa kontrol suhu. Selain itu waktunya lebih cepat, tanpa harus menunggu suhu *chamber* stabil.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan thermometer digital DT03. Thermometer digital ini memiliki

resolusi suhu 0,1 °C. Sedangkan akurasi suhu 1 °C untuk rentang suhu 0 – 80 °C dan 5 – 10 °C. Termometer dikalibrasi dengan membandingkan termometer standar

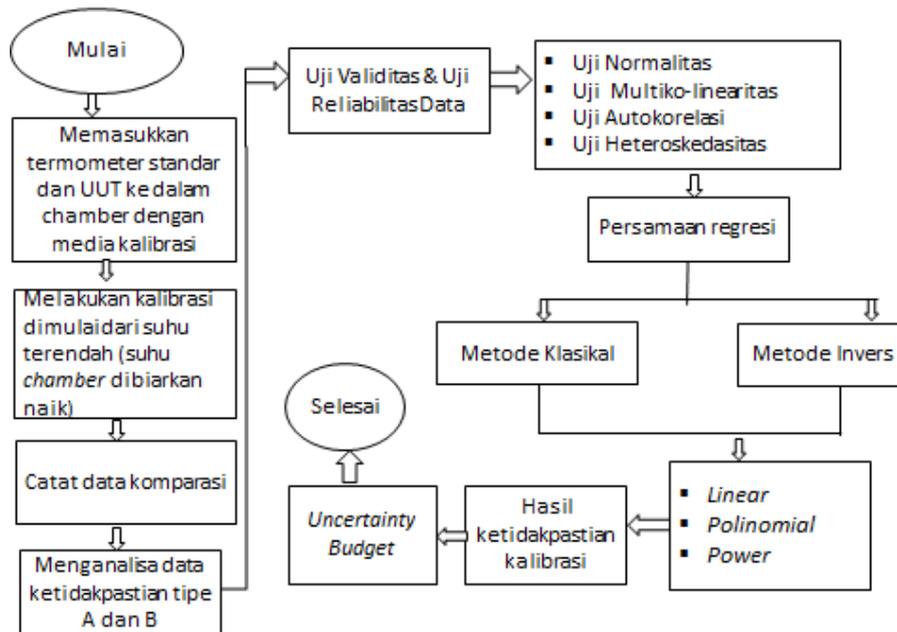
menggunakan suatu *chamber* dan hasil nilai ketidakpastian diolah menggunakan persamaan regresi. Metode kalibrasi yang digunakan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode kalibrasi termometer.

Pengolahan data kalibrasi termometer menggunakan persamaan kalibrasi dibagi menjadi 2 metode, yaitu metode klasik dan metode invers dengan masing-masing metode

dianalisis menggunakan persamaan linier, polinomial, dan daya [4]. Rancangan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan penelitian.

Setelah dilakukan kalibrasi termometer digital, data diolah dengan menganalisa ketidakpastian tipe A dan B. Hasil analisa data ketidakpastian tipe A dan B di evaluasi

menggunakan *software statistical product and service solution* (SPSS) dan dilakukan uji validitas, reliabilitas, normalitas, multiko-linearitas, autokorelasi dan heteroskedastisitas

sehingga didapatkan persamaan regresi. Persamaan regresi di analisa dengan metode klasik dan invers. Masing-masing metode terdapat persamaan linier, polinomial, dan daya. Dari ketiga data tersebut, nilai terkecil akan dijadikan nilai *standar estimate of error* (SEE). Nilai SEE yang diperoleh akan di masukkan ke dalam salah satu sumber ketidakpastian dalam kalibrasi termometer digital.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu yang digunakan dalam penelitian ini dalam rentang 37 – 41 °C. Data hasil pengukuran berdasarkan Tabel 1, UUT merupakan termometer yang dikalibrasi dan standar adalah acuan dari termometer yang dikalibrasi. Hasil menunjukkan nilai koreksi

atau selisih perbedaan antara UUT dan standar tidak mencapai 2 °C. Hal ini diakibatkan termometer yang dikalibrasi masih baru. Dapat diketahui bahwa nilai koreksi dari hasil pengukuran suhu standar dengan UUT pada penelitian ini semua di bawah 2 °C.

Nilai koreksi terbesar pada data pengukuran suhu 37 °C, yang terkecil pada data pengukuran suhu 41 °C. Setiap tingkatan suhu, didapatkan nilai koreksi yang berbeda-beda, hal ini dikarenakan perubahan secara fluktuasi pengukuran yang ditunjukkan oleh termometer digital tersebut. Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah regresi kalibrasi menggunakan program statistik SPSS. Regresi kalibrasi pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu metode klasik dan invers.

Tabel 1. Hasil pengukuran termometer standar dan UUT.

Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)	Standar (°C)	UUT (°C)	Koreksi (°C)
37,02	36,00	1,02	38,02	37,20	0,82	39,06	38,40	0,66	40,01	39,60	0,41	41,15	40,90	0,25
37,07	36,10	0,97	38,09	37,30	0,79	39,16	38,50	0,66	40,16	39,70	0,46	41,28	41,00	0,28
37,17	36,20	0,97	38,21	37,40	0,81	39,23	38,60	0,63	40,20	39,80	0,40	41,45	41,10	0,35
37,20	36,30	0,90	38,28	37,50	0,78	39,31	38,70	0,61	40,34	39,90	0,44	41,51	41,20	0,31
37,47	36,40	1,07	38,34	37,60	0,74	39,41	38,80	0,61	40,49	40,00	0,49	41,55	41,30	0,25
37,52	36,50	1,02	38,44	37,70	0,74	39,43	38,90	0,53	40,59	40,10	0,49	41,57	41,40	0,17
37,62	36,60	1,02	38,53	37,80	0,73	39,54	39,00	0,54	40,62	40,20	0,42	41,59	41,50	0,09
37,68	36,70	0,98	38,60	37,90	0,70	39,72	39,10	0,62	40,71	40,30	0,41	41,56	41,60	-0,04
37,74	36,80	0,94	38,75	38,00	0,75	39,80	39,20	0,60	40,80	40,40	0,40	41,55	41,70	-0,15
37,78	36,90	0,88	38,82	38,10	0,72	39,88	39,30	0,58	40,85	40,50	0,35	41,59	41,80	-0,21

Hasil-hasil pengolahan data yang disajikan dianggap merupakan hasil estimasi terbaik karena dapat memenuhi kriteria teori kalibrasi maupun statistik. Nilai SEE dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan persamaan linier, polinomial, dan daya. Untuk memperoleh nilai SEE maka terlebih dahulu dilakukan pengujian validitas data, reliabilitas data, dan uji asumsi klasik.

Uji Validitas Data

Suatu data dikatakan valid apabila nilai *corrected item-total correlation* di atas atau sama dengan 0,2. Tabel 2 menunjukkan variabel standar dan variabel UUT, memiliki nilai koreksi korelasi lebih dari 0,2 dan variabel dinyatakan valid.

Tabel 2. Hasil uji validitas.

Variabel	Corrected Item	Correlation
37	Standar	0,981
	UUT	0,981
38	Standar	0,997
	UUT	0,997
39	Standar	0,991
	UUT	0,991
40	Standar	0,991
	UUT	0,991
41	Standar	0,826
	UUT	0,826

Uji Reliabilitas Data

Data dikatakan reliabel apabila nilai $\alpha > 0,60$. Pada Tabel 3 nilai reliabilitas diperoleh 0,795 artinya ini telah memenuhi persyaratan.

Tabel 3. Hasil uji reliabilitas data.

N of Items	Cronbach's Alpha
2	0.795

Uji Normalitas

Tabel 4. Hasil uji normalitas data.

Variabel	P Value	α
Standar	0,287	0,05
UUT	0,988	0,05

Hasil uji normalitas pada Tabel 4 baik variabel standar dan UUT memiliki nilai ($p\text{ value}$) > α (0,05).

Uji Autokorelasi

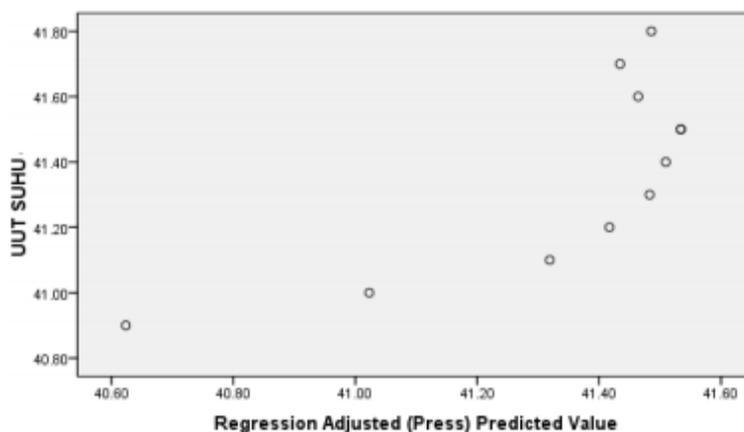
Tabel 5. Hasil uji autokorelasi.

Model	R	R square	Durbin-Watson
1	0.826	0.681	1.735

Data hasil uji autokorelasi pada Tabel 5 diperoleh nilai Durbin-Watson (DW) sebesar 1,735. Syarat data tidak terjadi autokorelasi adalah $1 < DW < 1,735$

Uji Heteroskedastisitas

Suatu data dinyatakan heteroskedastisitas jika terdapat pola tertentu pada grafik *scatterplot*. Berdasarkan Gambar 3 tidak terdapat pola yang jelas, serta titik-titik menyebar di atas dan di bawah angka 0. Sehingga dapat disimpulkan bahwa data pada penelitian ini tidak terjadi heteroskedastisitas.



Gambar 3. Grafik hasil uji heteroskedastisitas.

Hasil Uji Regresi Kalibrasi

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan program SPSS 17 semua data

yang telah melewati tiga pengujian di atas dikatakan valid sehingga diperoleh nilai SEE persamaan regresi kalibrasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai SEE persamaan regresi kalibrasi.

Metode Kalibrasi	Regresi	Suhu				
		37 °C	38 °C	39 °C	40 °C	41 °C
Klasik	Linier	0,058	0,020	0,038	0,040	0,086
	Polinomial	0,058	0,020	0,038	0,040	0,086
	Daya	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
Invers	Linier	0,060	0,023	0,042	0,042	0,173
	Polinomial	0,060	0,023	0,042	0,041	0,173
	Daya	0,002	0,001	0,001	0,001	0,004

Tabel 6 dapat diketahui bahwa nilai SEE pada masing-masing suhu memiliki nilai yang berbeda. Nilai SEE setiap suhu yang diujikan baik pada metode klasik maupun invers hasil nilai regresi linear dan polynomial sama. Sedangkan pada regresi power baik

menggunakan metode klasik maupun invers disetiap suhunya memiliki nilai yang sama, kecuali pada suhu 41 °C. Nilai SEE regresi power menggunakan metode klasik pada suhu 41 °C yaitu 0,002, sedang pada metode invers lebih tinggi yaitu 0,004. Hasil pengujian regresi

kalibrasi menggunakan metode klasik dan invers (dengan regresi linier, polinomial, dan daya) semakin kecil nilai SEE menunjukkan bahwa kalibrasi termometer digital tersebut semakin baik. Estimasi erornya semakin kecil, maka pembacaan data suhu pada sebuah termometer digital lebih akurat. Nilai SEE yang paling kecil terdapat pada jenis regresi power.

KESIMPULAN

Kalibrasi termometer digital dapat dilakukan dengan menggunakan *bath* yang tidak terkontrol suhu yaitu hanya dengan melakukan komparasi pembacaan antara termometer standar dan termometer yang dikalibrasi dengan cara mencatat setiap kenaikan suhu yang ada. Waktu dalam mengkalibrasi juga lebih singkat dibandingkan metode biasa (menggunakan *set point*). Evaluasi ketidakpastian kalibrasi termometer digital menggunakan persamaan regresi kalibrasi dapat digunakan karena berdasarkan perbandingan nilai SEE menggunakan metode klasik dan metode invers, nilai terkecil diperoleh pada hasil pengujian dengan regresi daya yaitu 0,001, sedangkan hasil pengujian pada regresi linier dengan polinomial sama. Hasil regresi kalibrasi menggunakan metode klasik dengan metode invers tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hasil regresi pada penelitian ini diperoleh 0,001 dan untuk nilai ketidakpastian bentangan pada *uncertainty budget* yaitu 0,16.

UCAPAN TERIMA KASIH

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Al Insyirah Pekanbaru

REFERENSI

1. Morris, A. S. (2001). Measurement and instrumentation principles. *IOP Science*.
2. Kardianto, K., Kristanti, K. H., Tiswati, K. A., & Dwihapsari, Y. (2019). Analisis Nilai Ketidakpastian dan Faktor Kalibrasi

pada Alat Ukur Radiasi di Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan Surabaya. *JFA (Jurnal Fisika dan Aplikasinya)*, **15**(2), 56–61.

3. Howarth, P. & Redgrave. F. (2008). Metrology. Istanbul: UMS.
4. Mulyana, M. R., Budiman, H., Zuas, O., & Darmayanti, N. T. E. (2018). Ketidakpastian Pengukuran: Evaluasi, Sumber-Sumber dan Kontribusinya dalam Pembuatan Bahan Acuan Campuran Gas (N₂O dalam Matriks N₂) Secara Gravimetri. *Jurnal Standardisasi*, **20**(1), 19–32.
5. Sinaga, T. A. & Umar, L. (2017). Pengukuran oksigen terlarut dari fotosintesis alga *chlorella vulgaris* dengan biochip-G. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **14**(2), 1103–1108.
6. Gandjar, I. G. & Rohman, A. (2007). Kimia farmasi analisis. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
7. Adli, D. N., & Sjojfan, O. (2020). Estimasi dan validasi kandungan energi bekatul sebagai pakan unggas dari komposisi kimia pakan. *Jurnal Nutrisi Ternak Tropis*, **3**(2), 90–96.
8. Chen, C. (2006). Evaluation of measurement uncertainty for thermometers with calibration equations. *Accreditation and quality assurance*, **11**(1), 75–82.
9. Hairil, T. W., Islamiyati, A., & Raupong, R. (2018). Penaksiran Parameter Model Kalibrasi Linier yang Berdistribusi Skew-Normal dengan Algoritma-EM. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, **12**(1), 36–47.
10. Emrinaldi, T., Sugianto, S., & Ginting, M. (2017). Selisih temperatur ozon permukaan berdasarkan metode IPCC dan instrumen AWS di Bukit Kototabang. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **14**(2), 1088–1094.



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

PEMBUATAN ALAT LABORATORIUM UNTUK PRAKTIKUM OPTIK GEOMETRI TINGKAT SMA BERBASIS LASER DIODA

Alexander Nasution, Minarni Shiddiq*, Rakhmawati Farma, Sinta Afria Ningsih

Program Studi Magister Fisika, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Riau

Jl. HR. Soebrantas km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

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

ABSTRACT

Improvement of science literacy of Indonesian students needs a standardized learning methods such as using demo kit or laboratorim kits. However, the schools oftently not utilized the demo kits due to financial restriction. Physics courses in grade X and XI of senior high school students in Indonesia contain lessons of geometrical optics. Kits for geometrical optics are essential to improve student learning outcomes. This study was aimed to make a low cost and simple geometrical optics kit using a diode laser. The kit was home made which consisted of a diode laser with wavelength of 650 nm and power of 5 mW, acrylic refraction tank, and a circular angle scale. The experiments conducted using this apparatus were experiment for Snell's law, measurent of refraction indexes fore liquids, and critical angles. In this study, the experiment modules were used by high school students of MAN 1 Padang Lawas, District of Barumun, Sumatera Utara. Some tests were carried out including validity test, practicality test by students and teacherss, and effectiveness test. The average result of all aspects of the validity test is 96.25 %, The practicality test result is 85,0 %. The kit effectiveness was tested using scores pre-test and posttest of the students. Differences in the average results of the pre-test and post-test in the experimental class and the control class, respectively are 32.83 at the time of the pre-test to 73 after the post-test for the experimental, 31.83 to 68 after doing the post test for the control class.

Keywords: Geometrical optic experiments, Refraction tank, Senior high school student, Validity test, Diode laser

ABSTRAK

Peningkatan literasi sains siswa Indonesia membutuhkan metode pembelajaran yang standar, salah satunya menggunakan metode pembelajaran dengan alat demo atau alat laboratorium. Namun penyediaan alat tersebut oleh sekolah belum optimal karena pendanaan yang kurang. pelajaran Fisika tingkat SMA khususnya kelas X atau XI membahas tentang optik geometri. Kit alat optik geometri yang ekonomis diperlukan untuk menunjang hasil belajar siswa pada materi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk membuat kit optik geometri yang ekonomis dan sederhana berbasis laser untuk percobaan optik geometri. Kit tersebut yang terdiri dari laser dioda dengan panjang gelombang 650 nm dan daya 5 mW, tangki pembiasan akrilik, skala sudut berbentuk melingkar. Percobaan yang dilakukan adalah penggunaan Hukum Snelius pada medium udara-air, menentukan indek bias cairan, dan sudut kritis. Pada penelitian ini, modul percobaan digunakan pada siswa MAN 1 Padang Lawas, Kecamatan Barumun, Sumatera Utara. Beberapa uji yang dilakukan yaitu uji kelayakan alat, uji praktikalita kit optik geometri, dan uji efektifitas penggunaan Kit Terhadap Hasil Belajar Siswa Kelas X. Hasil rata-rata semua aspek uji kelayakan menghasilkan skor 96,25%. Hasil uji praktikalitas adalah 85,00 %. Untuk uji efektifitas penggunaan kit adanya perbedaan hasil pre-test dan post-test pada kelas eksperimen dan kelas kontrol dimana pada kelas eksperimen rata-rata nilai siswa dari 32,83 pada saat pre-test menjadi 73 setelah post-test, sementara hasil pre-test kelas kontrol dari rata-rata 31,83 menjadi 68 setelah dilakukan post-test.

Kata kunci: Percobaan optik geometri, Tangki pembiasan, Siswa SMA, Uji validitas, Laser dioda

Diterima 22-04-2020 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Literasi sains adalah kemampuan seseorang untuk mengerti tentang hal-hal yang berhubungan dengan sains. Kemampuan tersebut mencakup kemampuan untuk menjelaskan suatu fenomena secara saintifik, mendesain dan mengevaluasi secara sains, dan mengartikan dan menganalisa data dan hasil eksperimen secara saintifik [1]. Menurut Kurnia dan Fathurrohman [2], kemampuan literasi sains dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain kurikulum dan sistem pendidikan, serta pemilihan metode pembelajaran. PISA (*Programme for International Student Assessment*) merupakan suatu program dari *organization for economic Co-operation and development* (OECD) yang bertugas untuk mengevaluasi bagaimana sistem pendidikan pada suatu negara berdasarkan pengetahuan dan kemampuan untuk siswa berumur 15 tahun di suatu negara. Tahun 2015 PISA menempatkan Indonesia pada peringkat ke-69, pada tahun yang sama Singapura berada pada tingkat pertama, dimana salah satu penilaian poin tinggi yaitu di bidang pengajaran, pembelajaran, dan evaluasi.

Pelajaran fisika merupakan salah satu pelajaran IPA yang memerlukan demonstrasi (demo) di depan kelas atau melakukan percobaan di laboratorium agar konsep fisika dapat dipahami oleh siswa. Perbaikan dalam metode pembelajaran fisika perlu dilakukan agar tingkat literasi sains siswa Indonesia meningkat. Kegiatan eksperimen di laboratorium dapat berjalan lancar jika sarana peralatan laboratorium tersedia. Namun, karena keterbatasan pendanaan, sekolah belum mempunyai alat-alat praktikum yang memadai. Faktor inilah merupakan salah satu yang menyebabkan banyak siswa yang mengalami kesulitan belajar fisika [3].

Optik adalah bidang ilmu fisika tentang cahaya. Optik juga mempelajari tentang interaksi cahaya dengan benda. Pelajaran optik terdiri dari dua bagian yaitu optik geometri dan optik fisis. Optik geometri memperlakukan cahaya sebagai sebuah sinar dan menggunakan

aturan-aturan geometri untuk membahas perjalanan sinar. Optik fisis memperlakukan cahaya sebagai suatu gelombang. Pada tingkat SMA, pembahasan optik diberikan pada pelajaran fisika kelas X pada bagian terakhir yang berupa alat optik terdiri dari pemantulan cahaya, pembiasan, dan alat optik [4]. Namun pada kurikulum 2013 revisi, pembahasan tentang optik diberikan pada kelas XI yaitu tentang alat-alat optik yang berisi Optik Geometri.

Pada umumnya alat praktikum optik geometri yang sering digunakan yaitu kaca plan paralel. Alat ini digunakan untuk memperlihatkan pembiasan dan menghitung indeks bias udara dan kaca plan paralel, akan tetapi kaca plan paralel memiliki kekurangan yaitu sudut kritis dan pemantulan sempurna pada kaca sulit diperlihatkan, sehingga alat praktikum fisika khususnya pada konsep pembiasan cahaya, indeks bias, sudut kritis, dan pemantulan tidak ikut dilibatkan dalam proses pembelajaran fisika [5].

Alat praktikum optik khususnya optik geometri biasa disebut kit telah banyak diproduksi dan dijual secara komersial baik produk dalam negeri seperti dari Puduk Scientific maupun dari luar negeri [6]. Namun kit optik tersebut relatif mahal dan memerlukan proses yang panjang untuk pengadaan di sekolah. Pengembangan kit optik geometri yang ekonomis sangat perlu dilakukan untuk mencapai pencapaian dari kurikulum 2013 revisi tentang eksperimen fisika khususnya di bidang optik.

Beberapa usaha telah dilakukan untuk membuat alat kit optik geometri untuk menunjang hasil belajar optik oleh siswa baik menggunakan media pembelajaran [7], maupun menggunakan laser pointer dan beberapa bahan sederhana untuk praktikum pembiasan [8], dan menggunakan beberapa komponen optik seperti prisma dan cermin datar [9]. Pengembangan kit untuk percobaan pembiasan baik zat cair maupun zat padat menggunakan bejana air dan laser juga telah dilakukan [5].

Pengembangan kit-kit optik yang ekonomis dan sederhana untuk optik geometri bertujuan

untuk mendemonstrasikan peristiwa pemantulan dan pembiasan, aplikasi hukum Snellius, sudut kritis dan pemantulan sempurna. Beberapa kit yang dikembangkan biasanya menggunakan bejana air dari kaca yang disebut dengan tangki pembiasaan. Sumber cahaya yang digunakan dapat berupa lampu senter atau led karena ekonomis dan tidak membahayakan [10]. Namun keduanya mempunyai berkas cahaya yang bersifat menyebar. Laser He-Ne sering digunakan dalam percobaan-percobaan optik karena kestabilan sinarnya, namun laser ini relatif mahal dan berukuran besar, rentan rusak karena merupakan laser gas dengan tabung kaca di dalamnya [11]. Ketersediaan laser dioda berukuran kecil dengan daya rendah secara komersial dengan harga sangat terjangkau (<Rp. 50.000), memungkinkan untuk membuat sebuah sistem yang lebih praktis dan ekonomis. Bejana air yang besar dapat diganti dengan bejana yang terbuat dari bahan akrilik yang berukuran kecil.

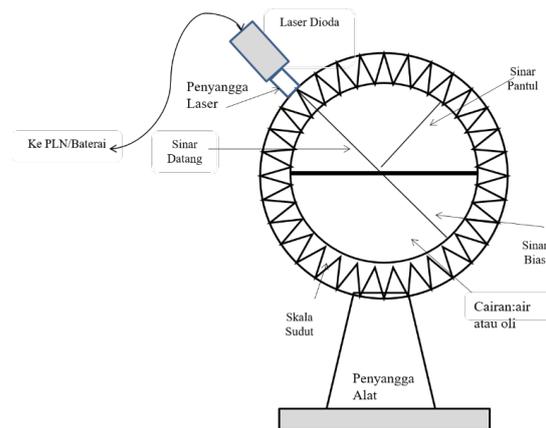
Pada penelitian ini, sebuah sistem optik (kit optik) dibuat dan dapat digunakan pada beberapa percobaan optik geometri untuk tingkat SMA. Kit terdiri dari tangki atau bejana pembiasan terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk bundar dan tipis dimana sisi-sisinya diberi skala sudut untuk memudahkan dalam penentuan sudut datang, sudut pantul, dan sudut bias. Kit tersebut juga dilengkapi dengan sumber cahaya berupa laser dioda merah, yang diletakkan pada penyangga sedemikian rupa sehingga bisa bergerak 180°. Kit dapat digunakan untuk percobaan indeks bias, hukum Snellius, sudut kritis, pemantulan sempurna. Sistem juga dapat dikembangkan untuk pengukuran indeks bias cairan seperti gula, madu, dan minyak.

Pada penelitian ini, modul percobaan digunakan pada guru fisika dan siswa MAN 1 Padang Lawas, Kecamatan Barumon Kabupaten Padang Lawas, Provinsi Sumatera Utara. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian dan pengembangan dengan desain ADDIE [12]. Uji yang dilakukan adalah uji validitas, uji

praktikalitas dan uji efektifitas penggunaan kit percobaan optik geometri ini. Analisa yang digunakan adalah regresi linier sederhana.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan membuat kit alat laboratorium untuk materi optik geometri yang sederhana dan ekonomis. Kit tersebut digunakan untuk percobaan optik geometri pada siswa SMA/MA Kelas X. Alat dan bahan yang digunakan terdiri dari sumber cahaya laser dengan panjang gelombang 650 nm (berwarna merah) dengan daya 5 mW beserta sumber tegangan (baterai atau catu daya), tangki akrilik, dan skala sudut berbentuk melingkar. Bahan yang digunakan adalah kerangka dari bahan akrilik, lem akrilik, serta sampel larutan sebagai medium optik seperti pada Gambar 1.

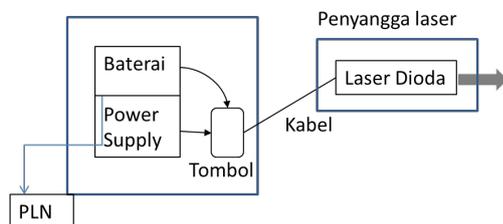


Gambar 1. Skema dari kit laboratorium optik geometri yang dirancang dan dibangun.

Gambar 1 menjelaskan tentang kit optik geometri yang dirancang dan dibuat. Kit ini dibuat berdasarkan pada beberapa produk *laser refraction tank* yang telah dibuat seperti oleh STEMfinity.com dan Arbor Scientific, dan yang dibuat sendiri dari bahan yang tersedia [13]. Namun sistem yang dibuat lebih sederhana dan ekonomis untuk percobaan pembiasan menggunakan hukum Snellius, dan penentuan indeks bias cairan.

Berdasarkan Gambar 1, kit ini terdiri dari sebuah bejana tipis bundar terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 3 mm, dimana bagian

atasnya diberi lobang agar cairan atau medium optik dapat memasuki bejana. Air atau larutan lainnya yang digunakan dapat diisi setinggi tengah bejana. Bejana kemudian dilapisi latar dengan karton tebal berwarna putih agar penjalaran berkas laser terlihat jelas, Karton yang berwarna putih diberi skala sudut melingkar agar memudahkan dalam menghitung sudut datang, sudut pantul, dan sudut bias dari sinar laser yang dapat diatur dari berbagai arah. Bersamaan dengan penyangga laser, piringan skala sudut di pasang pada sebuah kerangka akrilik dimana pemegang laser menggunakan rotor sehingga dapat berputar dengan mulus.



Gambar 2. Kotak tempat laser dan catu daya

Tahap persiapan alat dan bahan merupakan langkah awal penelitian, yaitu mempersiapkan alat-alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan kit praktikum optik geometri pada Gambar 1 dan 2. Kit terdiri dari dua bagian yaitu bejana air dengan skala sudut, kotak laser, dan sumber tegangan yang terdiri dari baterai dan catu daya, tombol *on off*. Kedua bagian diberi penyangga dan kotak dari bahan akrilik, dibelakang bejana dibuat penyangga untuk laser demikian hingga agar sinar laser dapat diatur berkas berbagai sudut datang yang dibutuhkan.

Tahap berikutnya adalah pembuatan modul praktikum optik geometri, diikuti pembuatan soal *pre-test* dan *post-test* berdasarkan Silabus dan RPS guru Fisika kelas X SMA/MA. Langkah selanjutnya adalah uji coba kit. Uji coba dilakukan dengan melakukan percobaan Hukum Snellius, penentuan indeks bias beberapa cairan, pemantulan sempurna dan sudut kritis, dalam hal ini, larutan gula dengan dua konsentrasi yaitu 30% dan 60 % digunakan. Hasil percobaan di bandingkan dengan perhitungan secara teori. Rumus yang

digunakan pada penelitian ini adalah Hukum Snellius antara dua medium dalam hal ini medium udara dan air aquades yang ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2), sudut kritis ditentukan dari Persamaan (3). Pada persamaan-persamaan ini, n_1 adalah indeks bias udara atau larutan, θ_1 adalah sudut datang dari medium 1 ke 2, n_2 adalah indeks bias medium kedua yaitu larutan, dan θ_2 adalah sudut bias pada medium kedua, sedangkan θ_c adalah sudut kritis. Persamaan (1) juga berlaku untuk keadaan dimana medium 1 adalah larutan atau medium lebih rapat ke medium 2 udara atau medium lebih renggang sehingga menghasilkan Persamaan (3) untuk sudut kritis, dimana sudut bias yang dihasilkan sebesar 90° . Jika sudut datang dari medium rapat (dalam hal ini sebagai n_1) lebih besar dari sudut kritis, sinar tidak lagi dibiaskan tetapi dipantulkan kembali ke medium datang tersebut. Fenomena ini disebut pemantulan sempurna yang digunakan pada kabel serat optik untuk mengantarkan informasi pada sistem komunikasi serat optik [14].

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (1)$$

$$n_2 = n_2 \sin \theta_2 / \sin \theta_1 \quad (2)$$

$$\sin \theta_c = n_2 / n_1 \quad (3)$$

Persamaan (1) digunakan untuk menentukan sudut bias, dengan mengetahui indeks bias udara, indeks bias air, dan sudut datang. Persamaan (2) digunakan untuk mengetahui indeks bias cairan dengan mengukur sudut datang, sudut bias, dan mengetahui indeks bias udara. Dalam eksperimen ini, indeks bias udara diasumsikan sama dengan 1.

Setelah kit digunakan untuk pengukuran awal, beberapa perbaikan pada kit dilakukan untuk kemudahan dalam melaksanakan praktikum. Selanjutnya uji validitas dilakukan oleh dua validator, uji praktikalitas alat dilakukan oleh 4 praktikan dengan indikator antara lain kepraktisan alat, kejelasan konsep dan keakuratan, kelancaran pengajaran, bahan yang digunakan, bentuk dan daya tahan alat [8].

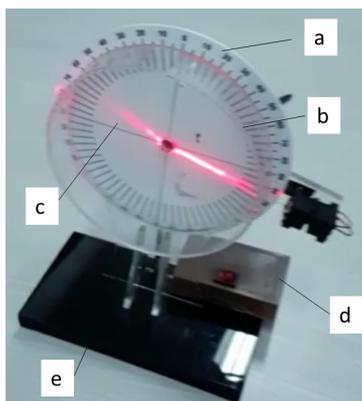
Kemudian, uji coba kit ini dilakukan pada kelas X MAN 1 Padang Lawas, kelas X IPA 1 berfungsi sebagai kelas kontrol, sementara

kelas X IPA 2 sebagai kelas sampel [8]. Kelas kontrol menggunakan metode tradisional yang berlaku di MA tersebut dalam memberikan materi optik geometri, sementara kelas sampel diikuti dengan percobaan optik geometri. Implementasi alat praktikum ini berdasarkan metode *One-Shot-Case-Study* dimana setiap kelompok diberi satu kali perlakuan dan pengukurannya dilakukan satu kali [.

Efektifitas penggunaan kit praktikum optik geometri terhadap pemahaman siswa tentang konsep optik geometri diukur menggunakan desain *pre-test – post-test* [12]. Sampel dalam penelitian ini adalah siswa kelas X IPA MAN 1 Padang Lawas yang berjumlah 30 orang. Kelas X IPA 1 ditetapkan sebagai kelas kontrol sedangkan kelas X IPA 2 sebagai kelas eksperimen dengan jumlah siswa sebanyak 30 orang. Efektifitas alat juga diukur dengan memberikan angket pada semua subjek penelitian yaitu siswa dan guru-guru IPA di MAN 1 Padang Lawas. Data-data yang diperoleh adalah berupa hasil *pre-test* dan *postest* siswa–siswa MAN 1 Padang Lawas untuk dua kelas. Hasil lainnya adalah hasil uji validasi dan praktikalitas oleh ahli.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Kit



Gambar 3. Hasil pembuatan kit optik geometri berbasis laser dioda.

Desain dan pembuatan kit yang dilakukan melalui penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Kit yang dihasilkan terdiri skala sudut dalam derajat (a), tangki atau bejana air dari bahan akrilik (b), sinar laser yang berasal dari laser dioda (c) yang dihubungkan ke kotak

catu daya (d), serta penyangga bejana air dan penyangga laser dioda yang terbuat dari akrilik (e). Penyangga laser dioda dibuat dengan rotor dibelakang bejana dan skala sudut agar sudut datang sinar dapat diatur sehingga dapat berasal dari medium yang rengang (udara) atau dari medium rapat (zat cair) untuk percobaan sudut kritis.

Sumber cahaya kit ini adalah modul laser dioda yang panjangnya 5 cm, mengeluarkan cahaya warna merah dengan daya yang rendah 5 mW, yang dapat diperoleh secara daring dengan harga relatif murah. Laser dioda tersebut mempunyai dua kabel yang dapat dihubungkan ke catu daya. Kotak catu daya dibuat dengan tombol on off. Sumber tegangan untuk laser dioda dapat berupa 2 buah baterai AA (3 V) atau charger dengan keluaran 5V dan daya kecil. Catu daya dari baterai lebih baik agar kit bisa dipindahkan dan dapat digunakan tanpa listrik dari PLN. Penggunaan cahaya laser sebagai pengganti cahaya LED atau lampu senter adalah karena berkasnya yang tidak menyebar. Namun percobaan sebaiknya dilakukan pada ruang yang sedikit redup agar pembacaan pada skala derajat lebih jelas [13].

Hasil Uji Kelayakan

Setelah pembuatan kit praktikum selesai, uji kelayakan pada alat tersebut kemudian dilakukan. Uji kelayakan atau validitas alat dilakukan oleh 2 validator ahli yaitu guru Fisika MAN 1 Padang Lawas. Aspek-aspek yang diuji adalah kepraktisan alat, kejelasan konsep dan keakuratan, kelancaran pengajaran, bahan yang digunakan, bentuk dan daya tahan alat [8]. Hasil uji kelayakan memperoleh skor 96,25 %. Ini menunjukkan bahwa kit praktikum yang dikembangkan masuk dalam kategori sangat layak dan dapat digunakan dalam pembelajaran optik di SMA atau MAN.

Hasil Uji Praktikalitas

Uji Praktikalitas dilakukan menggunakan aspek-aspek antara lain yaitu kemudahan penyiapan alat, kemudahan pengoperasian alat, kemudahan dalam mengamati gejala, kemudahan dalam melakukan pengukuran, dan

kemudahan dalam memahami materi pelajaran atau percobaan. Uji Praktikalitas dilakukan oleh 3 orang guru Fisika MAN 1 Padang Lawas dan 1 mahasiswa Fisika FMIPA dengan melakukan praktikum sesuai penuntun praktikum yang telah dibuat. Hasil uji praktikalitas memperoleh nilai 85 % yang menunjukkan bahwa alat ini cukup praktis sebagai kit praktikum dalam topik pembiasan cahaya dan penentuan indeks bias.

Hasil Penentuan Indeks Bias

Kit optik geometri yang telah dibuat selanjutnya digunakan untuk tiga percobaan menggunakan Persamaan (1), (2), dan (3) yaitu a. menentukan sudut bias untuk sinar datang dari udara ke air dengan mengetahui sudut datang dan indeks bias air. 2. menentukan indeks bias cairan (air, gula dengan konsentrasi 30%, 50%) dengan mengetahui sudut datang, sudut bias, indeks bias udara, 3. menentukan sudut kritis dan pemantulan sempurna.

a. Penentuan sudut bias

Pada percobaan ini, kita praktikum dipersiapkan, air dimasukkan ke dalam bejana pembiasan hingga setengah dari tangki yang berbentuk bundar tersebut. Cara memasukkan air agar tidak tumpah adalah dengan menggunakan selang air atau botol air yang dilengkapi selang seperti botol aquades atau botol semprot di Laboratorium. Batas permukaan air dan udara akan terlihat. Langkah selanjutnya adalah menghidupkan laser dioda dengan menekan tombol on, penyangga laser dapat diputar sehingga sinarnya datang dari atas (udara) ke permukaan air, atur sinar laser sehingga sudut datang yang diinginkan dapat dibaca pada busur. Selanjutnya, sudut bias dari cahaya yang melewati air dibaca pada busur bagian bawah. Jika sinar datang dari kiri tangki, sinar bias akan disebelah kanan bawah. Ulangi untuk sudut datang yang berbeda. Untuk membandingkan dengan hasil perhitungan, sudut bias dihitung dari persamaan (1) dengan menggunakan indeks bias air 1 dan indeks bias air 1,33. Percobaan juga bisa dilakukan untuk jenis larutan selain air jika ingin mengeksplorasi

ketergantungan pada jenis medium kedua. Tabel 1 memperlihatkan hasil percobaan penentuan sudut bias untuk cahaya laser yang datang dari udara ke air.

Tabel 1. Hasil percobaan hukum Snellius.

Sudut Datang θ_1 (°)	Sudut Bias Percobaan θ_{2p} (°)	Sudut Bias Teori θ_{2t} (°)	Error (%)
15	10	11,22	10,8
30	20	22,00	9,1
45	30	32,12	6,6
60	40	40,63	1,6
75	50	46,57	7,4

Tabel 1 memperlihatkan hasil percobaan penentuan sudut bias untuk cahaya laser yang berasal dari udara ke air. Persentase kesalahan kecil pada sudut 60°, ini dapat disebabkan karena cahaya laser merah menyebar pada sudut lebih kecil dan lebih besar dari sudut tersebut. Laser dioda mempunyai lensa dibagian ujungnya yang dapat diatur agar cahaya laser terkolimasi atau lurus. Hal lainnya ketika membaca sudut pada busur juga harus membaca sudut bias pada garis tengah berkas laser yang mengenai skala pada busur, ini disebabkan cahaya laser yang masih menyebar mengenai skala. Skala sudut juga sebaiknya mempunyai garis –garis dalam yang lebih kecil sehingga meningkatkan presisi pembacaan sudut satu desimal di belakang koma.

b. Penentuan indeks bias larutan

Pada percobaan ini, indeks bias cairan atau larutan ditentukan. Percobaan dilakukan menggunakan langkah-langkah seperti pada percobaan a, yaitu memasukkan cairan yang akan ditentukan indeks biasnya ke dalam tangki hingga setengah penuh. Sudut sinar datang divariasikan dengan memutar penyangga laser, sudut bias yang dihasilkan oleh sinar bias pada skala busur dicatat. Ulangi dengan sudut berbeda, hitung indeks bias menggunakan persamaan (2) untuk setiap variasi sudut, selanjutnya hasil indeks bias setiap variasi sudut dirata-ratakan. Percobaan diulangi untuk medium selanjutnya, dengan membersihkan

dulu tangki agar tidak bercampur dengan larutan yang tertinggal di dalam tangki. Tabel 2 adalah hasil percobaan menggunakan larutan air, air dicampur gula dengan konsentrasi 30 %, dan air dicampur gula dengan konsentrasi 50 %.

Indeks bias yang dihasilkan dibandingkan menggunakan indeks bias larutan air dan madu pada konsentrasi 30% dan 50 % sebagai indeks bias referensi [16].

Tabel 2. Hasil percobaan penentuan indeks bias larutan

Medium	θ_1 (°)	θ_2 (°)	Indeks bias percobaan rata-rata	Indeks bias referensi [13, 16]	Galat (%)
Air	15	10	1,4	1,33	5,26
	30	20			
	45	30			
	60	40			
	75	50			
Larutan gula 30%	15	14	1,18	1,373	14,27
	30	25			
	45	35			
	60	45			
	75	55			
Larutan gula 50%	15	20	1,12	1,397	20,17
	30	25			
	45	35			
	60	45			
	75	55			

Indek bias cairan hasil percobaan dihitung menggunakan persamaan (2) dengan menggunakan indeks bias udara 1, dan sudut datang dan sudut bias diperoleh dari hasil percobaan. Tabel 2 memperlihatkan kesalahan yang relatif besar untuk larutan gula dengan konsentrasi yang semakin besar. Ini disebabkan oleh pembacaan sudut bias yang belum akurat karena penyebaran cahaya laser semakin besar pada larutan yang lebih pekat, sehingga kesulitan dalam membaca sudut bias. Untuk pembacaan yang lebih baik, laser dioda dengan daya yang lebih besar serta cahaya berwarna hijau juga lebih baik digunakan [8]. Namun semakin besar daya laser semakin besar potensi bahaya sehingga kehati-hatian diperlukan.

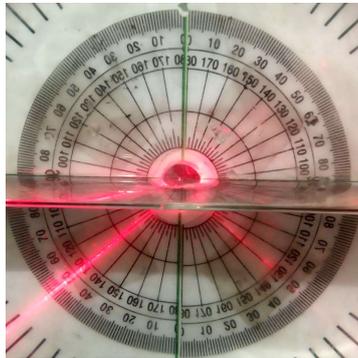
c. Penentuan sudut kritis pada medium rapat

Pada percobaan menentukan sudut kritis, larutan yang digunakan adalah air. Langkah-langkah percobaan dilakukan seperti percobaan

b, namun cahaya datang dari medium yang lebih rapat (cairan) ke medium yang lebih renggang (udara). Penyangga laser diatur agar cahaya laser datang dari kiri bawah tangki pembiasan. Sudut datang diatur dengan mengatur penyangga sehingga sudut bias sama dengan 90° atau cahaya laser yang dibiaskan sejajar dengan bidang batas udara dan cairan di bagian kanan atas tangki pembiasan. Pada keadaan ini sudut datang dicatat sebagai sudut kritis.

Gambar 4 memperlihatkan hasil percobaan sudut kritis ketika cahaya laser datang dari medium air ke udara. Sudut kritis hasil percobaan adalah sudut datang pada kit praktikum ketika sudut bias mencapai 90°. Sudut kritis berdasarkan teori adalah sudut kritis yang dihitung dari persamaan (3) menggunakan indeks bias referensi. Sudut kritis yang diperoleh yaitu 50° dimana cahaya dibiaskan sejajar bidang batas. Sementara itu

sudut kritis referensi mengunakan persamaan (3) dimana indek bias air adalah 1,33 yaitu $48,75^\circ$ sehingga diperoleh *error* sebesar 2.5%. Hal ini menunjukkan kesalahan pengukuran yang cukup kecil. Kesalahan ini dapat terjadi karena pulsa laser yang melebar.



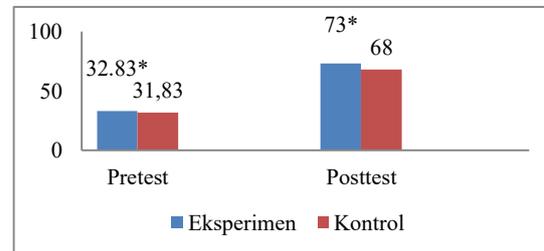
Gambar 4. Hasil percobaan sudut kritis

Gambar 4 juga menunjukkan bahwa sudut datang sama besarnya dengan sudut pantul. Hal ini sesuai dengan hukum Snellius tentang pemantulan dimana sudut datang sama dengan sudut pantul. Dari percobaan ini tidak ada cahaya yang dibiaskan ke medium udara sehingga dapat dikatakan telah terjadi pemantulan sempurna. Sehingga percobaan ini juga dapat membuktikan bahwa pemantulan sempurna terjadi ketika cahaya datang dari medium rapat ke renggang.

Efektifitas Penggunaan Kit Terhadap Hasil Belajar Siswa

Efektifitas penggunaan kit terhadap hasil belajar siswa MAN kelas X yang terdiri dari kelompok siswa dimana diberikan ekperimen dengan kit geometri dan kelompok siswa tanpa diberi ekperimen kit geometri dalam memahami hukum Snellius dan pemantulan sempurna dengan sudut kritis. Masing-masing kelompok terdiri dari 30 orang. Masing-masing kelompok diberi *pre-test* dan post test dengan mematuhi protocol kesehatan sehingga kegiatan ekperimen dibagi dalam beberapa sesi. Gambar 5 memperlihatkan hasil rata rata *pre-test* dan post test untuk masing-masing kelompok. Perbedaan hasil *pre-test* dan *post-test* pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

dapat terlihat pada kelas eksperimen rata-rata nilai minat siswa dari 32,83 pada saat *pre-test* menjadi 73 setelah *post-test*. Lalu dibandingkan dengan hasil *pre-test* kelas kontrol dari rata-rata 31,83 menjadi 68 setelah dilakukan *post-test*.



Gambar 5. Perbedaan hasil belajar siswa dikelas eksperimen dan kelas kontrol.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, beberapa hal dapat disimpulkan yaitu kit optik geometri menggunakan bahan akrilik dan laser diode telah berhasil dibuat dan digunakan. Sistem kit optik geometri telah digunakan pada Siswa SMA kelas X untuk membuktikan hukum Snellius dari medium renggang ke rapat, dari medium rapat ke renggang, dan menentukan indeks bias beberapa medium. Uji Validitas menghasilkan nilai 96,25 % yang berarti bahwa kit layak digunakan untuk praktikum optik geometri, sedangkan uji praktikalitas menghasilkan nilai 85 %. Ini menyatakan bahwa kit praktis digunakan untuk demo atau praktikum optik geometri. Uji efektifitas juga menunjukkan bahwa nilai *post-test* siswa meningkat setelah menggunakan kit ini.

REFERENSI

1. OECD. (2017). PISA for Development Brief. OECD(organization for economic Co-operation and development) Publishing, Paris. Diakses pada 15 Februari 2020 DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264255425-en 2017/2>.
2. Kurnia, F., Zulherman, & Fathurohman. (2014). Analisis Bahan Ajar Fisika SMA

- Kelas Xi Di Kecamatan Indralaya Utara Berdasarkan Kategori Literasi Sains. *Jurnal Inovasi dan Pembelajaran Fisika*, **1**(1), 42-47.
3. Arief , M. K., Handayani, L., & Dwijananti, P. (2012). Identifikasi Kesulitan Belajar Fisika pada siswa RSBI: Studi kasus di RSMABI Se Kota Semarang. *Unnes Physics Education Jurnal*, **1**(2), 5-10.
 4. Pujianto, Supardianningsih, Chasanah, R., & Abadi, R. (2013). Fisika untuk SMA/MA Kelas X Kurikulum 2013. Intan Pariwara, Klaten.
 5. Rahayu, A. S., Serevina, V., & Raihanati, R. (2016). Pengembangan Set Praktikum Pembiasan Cahaya Untuk Pembelajaran Fisika di SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, **5**, SNF2016-RND. DOI: <https://doi.org/10.21009/0305010201>.
 6. Pudak Scientific. (2017). Kit Optika Geometris. Buku Katalog Produk-POK 200. Diakses pada tanggal 23 Maret 2020, URL: <https://www.pudak-scientific.com/>.
 7. Sukamto, I., Rosidin, U., Suyatna, A., & Maharta, N. (2012). Pengembangan Media Pembelajaran Ala-Alat Optik Berbasis Teknologi Informasi dan Komunikasi. *Jurnal Pembelajaran Fisika*. **1**(1), 92-103.
 8. Fitriyah, F., Sumpono, I., & Subali, B. (2018). Desain Alat Praktikum Pembiasan Cahaya untuk Meningkatkan kemampuan pemecahan masalah mahasiswa. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, **4**(2), 169-180.
 9. Oktafiani, P. Subali, B. dan Sari, D. A.P. (2017). Pengembangan alat peraga kit optik serbaguna (AP-KOS) untuk meningkatkan keterampilan proses sains. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, **3**(2), 189-200.
 10. Hahn, W. V. T. (2016). A Low-Cost Apparatus for Laboratory Exercises and Classroom Demonstrations of Geometric Optics. University Honor Thesis, Paper 338. Portland State University.
 11. Ramos-Ortiz, G., Maldonado, J L., Villagr-Muniz, M., & Ramirez-Maldonado, Z. (2000). Forty simple experiments with an He-Ne laser for High School Students. *Proceedings of Sixth International Conference on Education and Training in Optics and Photonics*, SPIE, 3831. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.388739>.
 12. Latip, A. & Permanasari, A. (2015). Pengembangan Multimedia Pembelajaran Berbasis Literasi Sains Untuk Siswa SMP Pada Tema Teknologi. *Edusains*, **7**(5), 160-171.
 13. Wong, S. S. L., & Mak, S.-E.. (2008). Investigative studies of refractive indices of liquids and a demonstration of refraction by the use of a laser pointer and a lazy. *Physics Education*, **40**(2), 198-202.
 14. Halliday, D., R. Resnick, J. Walker. (2011). *Fundamentals of Physics 9 Ed.* John Wiley & Sons, Inc, USA.
 15. Nurwulandari, N. (2018). Pembelajaran Fisika Berbasis Literasi Sains terhadap Penguasaan Konsep Mahasiswa pada pokok bahasan Energi. *Jurnal Pendidikan: Riset dan Konseptual*, **2**(2), 205-213.
 16. Parmitasari, P, & Hidayanto, E. (2013). Analisis Korelasi Indeks Bias Dengan Konsentrasi Sukrosa Beberapa Jenis Madu Menggunakan Portable Brix Meter. *Youngster Physics Journal*, **1**(5), 191-198.



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

SURVEI SUMBER AIR PANAS DENGAN METODE GEOLISTRIK KONFIGURASI WENNER (STUDI KASUS: WISATA AIR PANAS PAWAN, PASIRPANGARAIAN)

Bayu Yolanda Riputra*, Usman Malik

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: bayu.yolanda06@gmail.com

ABSTRACT

One of the geothermal systems in Riau is in Pawan Village, Rokan Hulu District. This geothermal system is stored in rocks beneath the earth's surface, so it is necessary to survey hot springs. The purpose of this study is to analyze the subsurface resistivity value and identify the rock layers below the surface in the Pawan Hot Spring tourist attraction. The method used is the Wenner configuration geoelectric. The results obtained on line 1 have resistivities ranging from 9.15 – 10 Ohm-meters identified as hot water. This hot water is located at a depth 0.75 – 2.25 meters. The second layer has a resistivity value ranging from 10 – 98.2 Ohm-meters which is at a depth of 3.82 meters where clay is identified. The third layer has resistivity value ranging from 100 – 1,054 Ohm-meters at various depth, namely 5.5 – 7.46 meters where sandstone is identified. The conclusion can be drawn is that the Wenner geoelectric method has been successfully applied to identify rock layers in the geothermal prospect area.

Keywords: Hot Water, Geothermal, Resistivity, Geoelectric, Wenner.

ABSTRAK

Salah satu sistem panas bumi yang terdapat di Riau adalah di Desa Pawan, Kabupaten Rokan Hulu. Sistem panas bumi ini tersimpan dalam batuan dibawah permukaan bumi, sehingga perlu melakukan survei sumber air panas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa nilai resistivitas bawah permukaan dan mengidentifikasi lapisan batuan dibawah permukaan yang ada di objek wisata air Panas Pawan. Metode yang digunakan adalah geolistrik konfigurasi Wenner. Hasil yang diperoleh pada lintasan 1 memiliki nilai resistivitas berkisar antara 9,15 – 10 Ohm-meter diidentifikasi sebagai air panas. Air panas ini terletak pada kedalaman 0,75 – 2,25 meter. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas berkisar antara 10 – 98,2 Ohm-meter yang berada pada kedalaman 3,82 meter yang diidentifikasi adanya lempung. Lapisan ketiga memiliki nilai resistivitas berkisar antara 100 – 1.054 Ohm-meter yang berada pada kedalaman bervariasi, yaitu 5,5 – 7,46 meter yang diidentifikasi adanya batu pasir. Kesimpulan dapat diambil adalah bahwa metode geolistrik Wenner telah berhasil diterapkan untuk mengidentifikasi lapisan batuan didaerah prospek panas bumi.

Kata kunci: Air Panas, Panas Bumi, Resistivitas, Geolistrik, Wenner.

Diterima 28-10-2020 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Indonesia yang merupakan Negara agraris dan tengah menuju arah pembangunan nasional era industrilisasi yang sangat menentukan peranan sumber daya air, karena itu kelangsungan sumber daya air maupun air tanah harus mendapat proteksi dari manusia dengan sebaik baiknya. Kabupaten Rokan Hulu

merupakan salah satu Kabupaten di Provinsi Riau dengan Ibu Kotanya Pasirpangaraian yang luas wilayah sekitar 7.449,85 km² dan jumlah penduduk adalah 552.558 jiwa. Kabupaten Rokan Hulu memiliki banyak objek wisata, baik wisata alam maupun wisata religi dan salah satunya wisata alam di Rokan Hulu yaitu wisata air panas di Desa Pawan. Sumber air panas ini terletak di Desa Pawan, sekitar 9 km

dari Kota Pasirpangaraian. Air panas yang terdapat di Desa Pawan merupakan air panas dari bukit barisan yang terdapat di pinggang bukit barisan sebagai akibat pergerakan magma yang terjadi di bukit barisan.

Indonesia berusaha mengembangkan sumber energi panas bumi sebagai sumber energi alternatif dan fakta menunjukkan bahwa Indonesia merupakan daerah yang berpotensi akan sumber daya alam, termasuk sumber daya panas bumi (geotermal). Diperkirakan Indonesia memiliki 2 potensi sumber panas bumi yang besarnya sekitar 20.000 MW, namun sampai saat ini baru sekitar 3,04% dari sumber daya yang ada atau kurang dari 1.000 MW yang sudah dieksploitasi. Eksplorasi sumber daya alam menggunakan eksplorasi geofisika dengan metoda geolistrik hambatan jenis. Geolistrik hambatan jenis dengan memanfaatkan sifat resistivitas listrik batuan untuk mendeteksi dan memetakan formasi bawah permukaan. Metode ini dilakukan melalui pengukuran beda potensial yang ditimbulkan akibat injeksi arus listrik ke dalam bumi. Terdapat beberapa jenis metode geolistrik salah satunya adalah metode geolistrik resistivitas. Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah konfigurasi Wenner dengan jarak antar elektroda sama panjang. Konfigurasi Wenner jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah sama sehingga konfigurasi Wenner digunakan karena memiliki keunggulan pada ketelitian pembacaan potensial dan penyelidikan resistivitas pada posisi horizontal sehingga disebut juga metode resistivitas mapping.

TINJAUAN PUSTAKA

Panas Bumi

Energi panas bumi berasal dari bahasa Yunani yaitu *geo* yang berarti bumi dan *thermal* yang berarti panas. Panas bumi secara umum dapat diartikan sebagai jumlah kandungan panas yang tersimpan dalam bumi membentuk sistem panas bumi yang telah ada

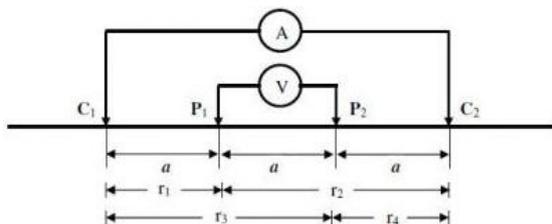
sejak terbentuknya bumi. Energi panas bumi yang cukup besar di Indonesia dipengaruhi oleh letak yang sangat strategis yang dipengaruhi oleh 3 lempeng aktif yaitu lempeng Indoaustralia, Lempeng Eurasia, dan lempeng Samudra Pasifik. Dapat dilihat ini disebabkan Indonesia memiliki gunung api yang tersebar diberbagai bagian Barat Pulau Sumatra dan bagian Selatan Pulau Jawa. Panas bumi yang ada di Indonesia sebagian besar bersifat hidrotermal sehingga akan terjadi perpindahan panas baik secara konduksi maupun secara konveksi.

Pembentukan panas bumi dipengaruhi oleh beberapa proses geologi yang telah berlangsung disepanjang jalur gunung api tersebut. Proses geologi yang dimaksud adalah kegiatan magmatis dan proses pengangkatan larva yang keluar dari letusan gunung api tersebut. Kegiatan magmatis berwujud dalam bentuk uap dan gas yang menerobos dalam pori-pori di gunung api, sedangkan proses pengangkatan mengakibatkan terbentuknya sesar di sepanjang jalur gunung api. Aspek-aspek ini akan menyebabkan pendangkalan sumber-sumber panas bumi, dimana proses pengangkatan tersebut akan menyebabkan daerah yang bersangkutan terangkat lebih tinggi dari daerah sekitar yang selanjutnya akan membentuk sistem pegunungan yang berfungsi sebagai daerah penangkap air hujan. Air yang telah terpanasi dan terkumpul di dalam batuan sarang karena terpit oleh lapisan-lapisan kedap air (uap) menyebabkan air dan uap dalam batuan sarang berada dalam kondisi tekanan hidrostatik tinggi.

Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner

Geolistrik merupakan metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran beda potensial, arus, dan medan elektromagnet. Salah satu metode geolistrik untuk menentukan nilai resistivitas bawah permukaan yaitu Konfigurasi Wenner, yaitu dimana dengan menginjeksikan arus listrik ke

dalam bumi melalui elektroda arus, kemudian kuat arus maupun beda potensial yang terjadi di permukaan bumi diukur. Konfigurasi Wenner memiliki detail lateral yang baik untuk profiling, sehingga metode ini bisa memberikan informasi yang cukup untuk kedalaman dan variasi lateral yang baik. Pada Konfigurasi wenner elektroda arus dan elektroda potensial mempunyai jarak yang sama yaitu $C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = a$, jadi jarak antar elektroda arus adalah tiga kali jarak antar elektroda potensial. Oleh karena itu konfigurasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Konfigurasi Wenner dengan susunan elektroda seperti Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian elektroda konfigurasi Wenner.

Nilai resistivitas yang diperoleh merupakan nilai resistivitas semu (p_a) yaitu resistivitas yang diperoleh dari bumi yang dianggap memiliki lapisan homogen. Nilai (p_a) dinyatakan sebagai berikut:

$$p_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

dengan faktor geometri Konfigurasi Wenner:

$$k = 2\pi a \quad (2)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode geolistrik Konfigurasi Wenner dengan sistem eksperimen lapangan untuk mendapatkan data primer seperti nilai kuat arus dan beda potensial menggunakan resistivitymeter dan menentukan titik koordinat lokasi menggunakan GPS merupakan data sekunder. Data yang diambil berupa 2 lintasan dengan titik yang berbeda di sekitar objek wisata Air Panas Pawan, Kabupaten Rokan Hulu. Adapun langkah-

langkah pengambilan data geolistrik sebagai berikut:

1. Survei lapangan
2. Persiapan alat dan bahan
3. Penentuan lintasan dan jarak spasi elektroda
4. Menhubungkan kabel-kabel pada elektroda arus dan potensial dan menghubungkannya pada alat resistivity meter.
5. Menginjeksikan elektroda arus dan elektroda potensial ditanah.
6. Mengatur jarak elektroda arus dan elektroda potensial masing masing 3 meter.
7. Menghubungkan alat resistivitymeter ke aki, kemudian catat hasil awalnya. Pindahkan masing masing elektroda arus dan elektroda potensial dengan titik spasi yang ditentukan.
8. Hasil dari penelitian akan dicatat dalam tabel pengamatan.

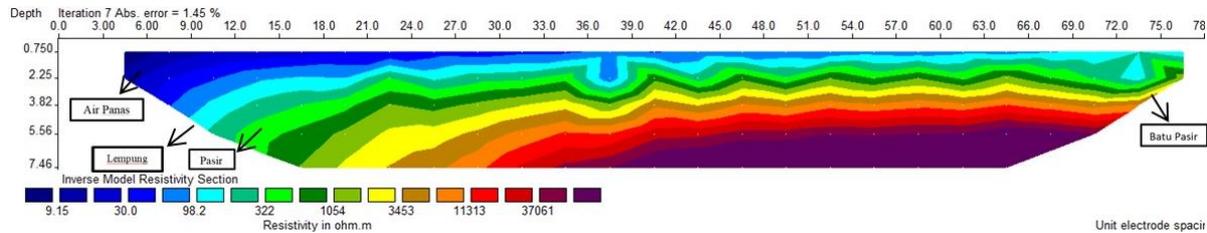
Hasil pengukuran yang didapatkan berupa jarak elektroda arus, jarak elektroda potensial, nilai beda potensial, dan kuat arus diolah menggunakan program *Excel* untuk menghitung nilai resistivitas semu dengan persamaan (1) dan faktor geometri dengan persamaan (2). Data yang telah diolah menggunakan *Excel*, diperlukan pengolahan data lebih lanjut. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software Res2Dinv*. Data yang telah diolah di *Excel* untuk menentukan resistivitas semu (p_a), maka data datum point (dp), spasi elektroda (a) dan faktor pemisah elektroda (n) diinput ke program *Notepad* dalam bentuk file *text* atau dengan format *.dat*. Setelah data lapangan berada dalam bentuk file *text* dan mengikuti format *Res2Dinv*, selanjutnya dilakukan inversi untuk menampilkan penampang bawah permukaan daerah penelitian. Dari data tersebut, dapatlah ditentukan litologi bawah permukaannya dan struktur bawah permukaannya dengan membandingkan nilai resistivitas yang didapat dengan nilai resistivitas literatur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran data geolistrik yang dilakukan di lintasan I dan lintasan II

menggunakan Konfigurasi Wenner dengan panjang lintasan 78 meter dan 84 meter. Pengukuran tersebut menghasilkan beda potensial (ΔV) dan besar arus listrik (I) sehingga dapat dihitung nilai resistivitas semua

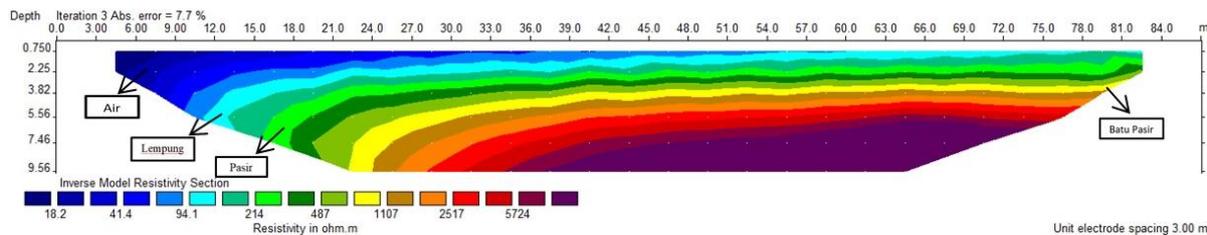
(ρ_a) dan diinput ke *software Res2Divn* unruk memperoleh resistivitas sebenarnya. Hasil yang didapat pada software ini menunjukkan litologi lapisan bawah permukaan dan jenis batuan yang terdapat pada lapisan tersebut.



Gambar 2. Penampang resistivitas lintasan I.

Pada Gambar 2 lapisan pertama memiliki nilai resistivitas berkisar antara 9,15 – 10 Ohm-meter yang diidentifikasi adanya akumulasi air panas. Air panas ini terletak pada kedalaman 0,75 – 2,25 meter. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas antara 10 – 98,2 Ohm-meter yang diidentifikasi merupakan lapisan lempung yang berselingan antara bagian air panas, pasir pada kedalaman 3,82 meter. Lapisan ketiga memiliki nilai resistivitas antara 100 – 1.054 Ohm-meter diidentifikasi merupakan pasir yang berada

pada kedalaman 5,5 – 7,46 meter. Lapisan keempat memiliki nilai resistivitas antara 1.054 – 37.061 Ohm-meter diidentifikasi merupakan batu pasir yang berada pada mulai kedalaman 3,82 – 7,46 meter. Berdasarkan hasil interpretasi data lintasan I terlihat bahwa air panas terdapat pada kedalaman 0,75 – 2,25 meter dibawah permukaan dan terletak pada 9 – 21 meter di atas permukaan tanah, dikarenakan awal lintasan sangat dekat dengan sumber air panas.



Gambar 3. Penampang resistivitas lintasan II.

Pada Gambar 3 lapisan pertama memiliki nilai resistivitas berkisar antara 18,2 – 41,4 Ohm-meter diidentifikasi merupakan genangan air yang pada kedalaman 0,75 – 2,25 meter. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas antara 94,1 – 214 Ohm-meter yang diidentifikasi merupakan lapisan lempung pada kedalaman 3,82 meter. Lapisan ketiga memiliki nilai resistivitas antara 214 – 487 Ohm-meter yang diidentifikasi merupakan pasir yang berada pada kedalaman 3,82 – 7,46 meter. Lapisan keempat memiliki nilai resistivitas antara 1.107 – 5.724 Ohm-meter yang diidentifikasi merupakan batu pasir yang berda mulai dari kedalaman 3,82 – 9,56 meter. Berdasarkan

hasil inteprestasi lintasan II, tidak terdapat air panas dikarenakan lintasan II ini dekat dengan rumah warga dan sedikit jauh dari mata air panas, dan sifat dari batuan lempung yaitu impermeabel, sehingga tidak terdapat aliran air panasnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bawah air panas terdapat pada lintasan I dengan nilai resistivitas 9,15 Ohm-meter pada kedalaman 0,75 – 2,25 meter, sedangkan pada lintasan II tidak terdapat air panas dikarenakan lintasan dekat dengan rumah

warga dan agak jauh dari sumber air panas dan sifat dari batuan lempung yaitu impermeabel sehingga tidak terdapat aliran air panas.

REFERENSI

1. Alzwar, S. & Tarigan, J. I. (1988). *Pengantar Dasar Ilmu Gunung Api*. Nova: Bandung.
2. Saptadji, M, N. (2001). *Teknik Panas Bumi*. ITB: Bandung.
3. Santoso, D. (2004). *Eksplorasi Energi Geotermal*. ITB: Bandung.
4. Abdillah, F. & Malik, U. (2021). Pemetaan sebaran mata air panas di daerah objek wisata Desa Pawan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 35–41.
5. Silvia, R. & Malik, U. (2021). Sebaran air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 18–21.
6. Putri, C. S. & Malik, U. (2020). Analisa kedalaman air panas menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di objek wisata Air Panas Pawan. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(2), 87–91.
7. Sapitri, T. E. & Malik, U. (2020). Identifikasi air tanah di Perumahan Graha Mustamindo Permai 3 menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 150–154.
8. Rangkuti, M. Z. I., Salomo, S., & Malik, U. (2020). Perbandingan nilai suseptibilitas magnetic air laut menggunakan Quincke di Pantai Sumatera Bagian Tengah. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 41–45.
9. Afriani, A., Malik, U., & Husin, A. (2020). Analisa efek gerhana matahari total 9 Maret 2016 terhadap kandungan total electron ionosfer. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 50–54.
10. 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.
11. 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.



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

APLIKASI SISTEM SENSOR FIBER BRAGG GRATING UNTUK PENDETEKSIAN SIMULASI DENYUT JANTUNG

Febi Dwi Fadilla*, Saktioto

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: febidwi2012@gmail.com

ABSTRACT

Heart rate detection still widely develops one to human behavior, so that efforts are required to investigate other ways to more easily detect it. Currently, heart detection can be done without medical check up, such as using cellphones, watches, and others. Fiber Bragg Grating (FBG) can be used to detect the heart rate, in the form of pressure which causes a change in strain. FBG also has high sensitivity to strain. Heart rate detection can be measured in several ways such as using a telescope, but FBG has a high level of accuracy. This study aims to design and measure changes in the output power of the FBG and analyze the effect of strain changes on the FBG by loudspeaker vibration. Bragg wavelengths used are 1310 nm and 1550 nm with a power of 1 mW as a diode laser source and the output is measured by an optical power meter. The highest output power change at 1310 nm Bragg wavelength is 0.736 μ W, while at 1550 nm wavelength it is 0.009 μ W. The highest Bragg wavelength shift is at the Bragg 1310 nm wavelength of 0.598 nm, while at the Bragg 1550 nm wavelength it is 0.552 nm. The highest strain change at the Bragg 1310 nm wavelength is 576,186 $\mu\epsilon$, while at the Bragg 1550 nm wavelength it is 432,113 $\mu\epsilon$. This shows that the response at the Bragg 1310 nm wavelength is more sensitive than the Bragg 1550 nm wavelength.

Keywords: FBG, Heart Rate, Optical Power, Strain.

ABSTRAK

Pendeteksian jantung masih terus berkembang karena persoalannya serius terhadap perilaku hidup manusia sehingga perlu upaya untuk mencari jalan lain untuk lebih mudah mendeteksi jantung. Saat ini pendeteksian jantung dapat dilakukan tanpa harus pergi ke rumah sakit seperti dengan menggunakan ponsel, jam tangan, dan lain-lain. Fiber Bragg Grating (FBG) banyak juga digunakan untuk mendeteksi jantung, karena bisa diterima dalam bentuk tekanan yang mengakibatkan terjadinya perubahan regangan. FBG dipilih karena memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap regangan. Pendeteksian denyut jantung dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti menggunakan teleskop, namun dengan menggunakan FBG memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan sensitif terhadap regangan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengukur perubahan daya keluaran pada FBG serta menganalisa pengaruh perubahan regangan pada FBG oleh getaran loudspeaker. Panjang gelombang Bragg yang digunakan adalah 1310 nm dan 1550 nm dengan daya 1 mW sebagai sumber laser dioda serta keluaran diukur dengan optical power meter. Perubahan daya keluaran tertinggi pada panjang gelombang Bragg 1310 nm senilai dengan 0,736 μ W, sedangkan pada panjang gelombang 1550 nm senilai dengan 0,009 μ W. Pergeseran panjang gelombang Bragg tertinggi pada panjang gelombang Bragg 1310 nm senilai 0,598 nm, sedangkan pada panjang gelombang Bragg 1550 nm senilai 0,552 nm. Perubahan regangan tertinggi pada panjang gelombang Bragg 1310 nm senilai 576,186 $\mu\epsilon$, sedangkan pada panjang gelombang Bragg 1550 nm senilai 432,113 $\mu\epsilon$. Ini menunjukkan bahwa respon pada panjang gelombang Bragg 1310 nm lebih sensitif daripada panjang gelombang Bragg 1550 nm.

Kata kunci: FBG, Denyut Jantung, Daya Optik, Regangan.

Diterima 29-06-2020 | Disetujui 10-07-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Pengukuran denyut jantung merupakan faktor penting yang dapat memberikan informasi tentang perubahan sirkulasi darah dan aktivitas jantung sehingga sering diukur dalam lingkungan medis. Saat ini, pengukuran dilakukan seperti sinyal listrik elektrokardiogram (EKG), sinyal akustik, perubahan tekanan darah dalam sistem peredaran darah, perubahan volume jaringan sebagai akibat dari perubahan volume dalam sistem peredaran darah, perubahan impedansi jaringan yang terkait dengan perubahan volume darah di bagian jaringan tertentu atau perubahan kecepatan aliran darah [1]. Pendekatan yang paling umum untuk menilai sinyal jantung dan pernapasan secara bersamaan adalah polisomnogram (PSG). Biasanya, termasuk sistem PSG, tetapi tidak terbatas pada EKG, elektroensefalogram, elektrookulogram, elektromiogram, juga dalam upaya pernapasan, aliran udara, dan saturasi oksigen (SpO₂) [2].

Praktisi dan dokter yang mempelajari pemantauan jantung sangat bergantung pada EKG. Pemantauan jantung biasanya dilakukan untuk mendapatkan data dari aktivitas otot jantung dalam rentang waktu yang lebih lama. Ini dapat memberikan data yang cukup untuk mengetahui masalah yang dihadapi dan membantu diagnosis. Kelainan yang terdeteksi dapat menjadi faktor penentu baik untuk keputusan penderita atau dokter spesialis. Bisa memiliki beberapa ciri yang unik, namun penyebabnya harus diketahui secara pasti, apakah disebabkan oleh faktor gen atau memang disebabkan oleh penyakit yang mempengaruhi jantung atau gangguan jantung lainnya. EKG merekam aktivitas kelistrikan otot jantung dan kemudian menampilkan datanya dalam bentuk grafik linier di layar atau di atas kertas. Hasil EKG yang normal dapat diperoleh dari subjek dengan gangguan jantung jika gejala yang timbul tidak mempengaruhi aktivitas listrik otot jantung [3].

Walaupun pengukuran dan diagnosa jantung melalui pendekatan kelistrikan seperti diatas

telah berhasil, namun pendekatan mekanik juga terus berkembang seperti menggunakan serat optik seperti *fiber Bragg grating* (FBG) yang relatif sederhana, akurat, sensitif dan aman. FBG banyak juga digunakan untuk pendeteksian dalam sistem medis termasuk pada organ jantung, karena detak jantung manusia bekerja dalam bentuk tekanan yang mengakibatkan adanya energi dengan perubahan posisi, osilasi dan regangan [4], dan ini bukan hanya terhadap regangan saja, tetapi juga memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap temperatur [5]. Seperti, pemanfaatan FBG pada *magnetic resonance imaging* (MRI) yang semakin meluas antara lain untuk memantau pernapasan dan aktivitas jantung pasien selama proses pemindaian, yang tidak menimbulkan adanya gangguan efek samping pada tubuh pasien baik saat atau setelah menjalani pemindaian menggunakan MRI [6].

FBG adalah serat optik yang memiliki kisi pada segmennya. Kisi ini memantulkan cahaya yang melewatinya dengan panjang gelombang tertentu dan melewatkan sisanya. FBG banyak digunakan sebagai sensor karena tahan terhadap interferensi elektromagnetik, akurasi yang tinggi, aman dan cepat karena informasinya bergerak dengan kecepatan cahaya. FBG sebagai sensor telah banyak berkembang dan digunakan dalam pemantauan kesehatan struktur, baru-baru ini telah diusulkan untuk pemantauan tanda-tanda vital pada medis. Penggunaan sensor FBG untuk pengukuran laju pernapasan dan denyut jantung secara simultan [6,7]. Walaupun perkembangannya cukup signifikan, teknologi berbasis cahaya dengan parameter deteksi panjang gelombang masih relatif kompleks, tidak cukup ekonomis untuk fabrikasi dan instrumentasi sensor, namun dalam faktor fungsi dan kegunaan sensor ini tetap menjadi pilihan alternatif untuk mendiagnosa dalam dunia medis.

Dalam hal kepentingan riset, sistem sensor FBG dapat dibangun, dimodifikasi dan digunakan dengan menggabungkan beberapa komponen dan interogasi sensor [8], memungkinkan pengoperasian sensor yang

bernilai ekonomi untuk dapat dikembangkan pada sensor napas dan detak jantung. Sensor serat optik berbiaya rendah ini umumnya didasarkan pada prinsip variasi intensitas, dimana redaman daya optik dengan sumber infrared ditransmisikan ke dalam serat optik secara langsung dan berinteraksi dengan gerakan tubuh selama osilasi jantung dan respirasi [9,10].

Untuk itu penelitian ini bertujuan merancang sebuah aplikasi sistem sensor FBG. FBG dirancang pada kisi untuk panjang gelombang tertentu dengan daya pada skala milliwatt. Denyut jantung dideteksi dengan cara mensimulasikan jantung menggunakan sebuah *Hand Phone* (HP) untuk menyelidiki getaran yang dihasilkan oleh sebuah video denyut jantung. Osilasi tekanan yang dihasilkan diperkuat dengan amplifier, yang selanjutnya regangan kisi FBG dievaluasi terhadap daya keluaran sumber.

TINJAUAN PUSTAKA

Menentukan denyut jantung dengan menggunakan sinyal akustik (fonokardiografi) biasanya menggunakan mikrofon sensitif yang terletak di area dada dan sekitarnya. Algoritme tersebut kemudian diterapkan pada sinyal yang dihasilkan [11]. Tekanan darah bervariasi selama aktivitas jantung dan berfluktuasi di antara dua nilai yaitu batas atas tekanan sistolik dan tekanan arteri maksimum selama sistol, sedangkan batas bawah tekanan diastolik dan tekanan arteri terendah selama diastol.

Prinsip pengukuran detak jantung menggunakan probe FOI didasarkan pada fonokardiografi. Aktivitas mekanis dan akustik jantung dan fungsinya menyebabkan perubahan indeks bias inti dan perubahan panjang serat optik yang ditempatkan pada tubuh dan perubahan mikroskopis pada jalur optik ini muncul pada fase penundaan ϕ dalam Persamaan (1) dan perbedaannya $\Delta\phi$ pada Persamaan (2), dimana λ adalah panjang gelombang sumber radiasi, n indeks bias inti serat optik, L panjang fisik serat. Perubahan ini

kemudian dievaluasi dengan sistem pengukuran interferometri [12]:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} nL \quad (1)$$

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta L + \frac{2\pi}{\lambda} L \Delta n = 2\pi L \frac{n}{\lambda^2} \Delta\lambda \quad (2)$$

Aktivitas jantung terkait dengan penciptaan sejumlah besar suara karakteristiknya. Suara ini terjadi karena perubahan kecepatan (atau karakter) aliran darah dan penutupan atau pembukaan katup masing-masing. Oleh karena itu, ini metode diagnostik yang didasarkan pada penginderaan sinyal akustik (suara jantung) yang dijelaskan di atas menyertai getaran mekanis yang bermula di jantung dan pembuluh darah. EKG konvensional menggambarkan aktivitas listrik jantung, sedangkan fonokardiogram menggambarkan aktivitas mekanis (akustiknya).

FBG dengan struktur kisi dimanfaatkan pada perubahan periodik atau kuasi-periodik indeks bias di inti serat optik yang berkorelasi dengan perubahan jarak dan dikonversikan pada regangan dan temperatur akibat respon dari tegangan mekanik, regangan, getaran, tekanan atau suhu dalam pemantulan cahaya. Hal ini terlihat dari pergeseran panjang gelombang asal sebelum dan sesudah dilewati wilayah sensor. Panjang gelombang pusat dari cahaya yang dipantulkan disebut panjang gelombang Bragg. Panjang gelombang Bragg ditentukan oleh perubahan periodik indeks bias Λ dan indeks bias efektif sebagai berikut.

$$\lambda_B = 2 n_{eff} \Lambda \quad (3)$$

Sensor FBG dapat dengan mudah digunakan pada jenis teknik *multiplexing* yaitu *wavelength-division multiplex* dan *time division multiplex* [13,14].

Deformasi dan ketergantungan regangan diberikan panjang gelombang FBG pusat dan nilai parameternya. Untuk menentukan kepekaan terhadap objek, koefisien deformasi dan suhu yang dinormalisasi digunakan.

Koefisien deformasi yang dinormalisasi diberikan oleh hubungan berikut:

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta\varepsilon} = 0.78 \times 10^{-6} \mu\varepsilon^{-1} \quad (4)$$

dan koefisien suhu yang dinormalisasi diberikan oleh hubungan berikut.

$$\frac{1}{\lambda_B} \frac{\Delta\lambda_B}{\Delta T} = 6.778 \times 10^{-6} \text{C}^{-1} \quad (5)$$

dimana λ_B adalah panjang gelombang Bragg, $\Delta\lambda_B$ adalah pergeseran panjang gelombang Bragg, $\Delta\varepsilon$ adalah perubahan deformasi dan ΔT adalah perubahan suhu [15].

Pergeseran panjang gelombang ini dapat diketahui dengan menghitung selisih antara daya keluaran yang ditampilkan pada optical powermeter (OPM) ketika diberi perlakuan perubahan temperatur dan ketika tidak diberi perlakuan dinyatakan dalam Persamaan (6) berikut [16].

$$\Delta P = 18.7 \exp[-0.111(\Delta\lambda_{B,0})^2] - 18.7 \exp[-0.111(\Delta\lambda_{B,1})^2] \quad (6)$$

dimana $\Delta\lambda_{B,0}$ merupakan pergeseran panjang gelombang Bragg ketika tidak diberi perlakuan dan $\Delta\lambda_{B,1}$ merupakan pergeseran panjang gelombang Bragg ketika diberi perlakuan. Besarnya nilai $\Delta\lambda_{B,0}$ dapat diketahui dengan menghitung dari data temperatur pada keadaan referensi dalam penelitian.

Daya keluaran pada saluran FBG dapat diketahui dengan persamaan matematis antara daya yang terbaca pada OPM dalam satuan

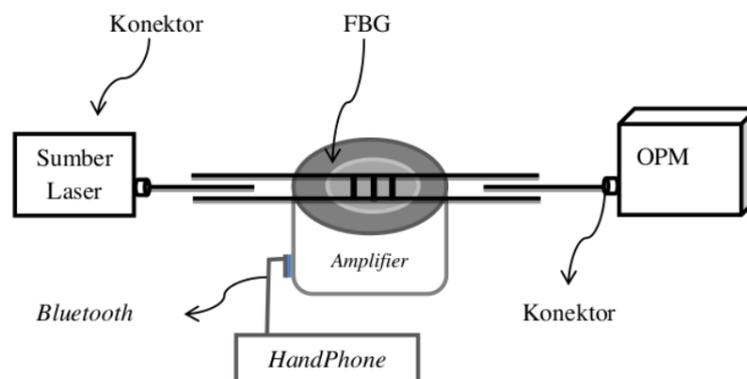
Watt (P_o) dan daya referensi sebesar 1 miliWatt (P_{ref}) dinyatakan dalam Persamaan berikut.

$$P(dBm) = 10 \log \frac{P_o}{P_{ref}} \quad (7)$$

METODE PENELITIAN

Metode eksperimen ini dilakukan dengan mengirim cahaya infrared, 1mW dari sumber dan melalui FBG yang tekonduksi dengan objek simulasi getaran jantung yang dihasilkan. Selanjutnya sinyal infrared sebagian dipantulkan dan sebagiannya lagi ditransmisikan ke detektor OPM. Daya keluaran dari osilasi reganganFBG terhadap sampel diukur. Objek sampel disimulasikan dari detak jantung dari sebuah HP. Getaransimulasi jantung yang dihasilkan dievaluasi pada perubahan regangan FBG.

Penelitian ini menggunakan FBG dengan panjang gelombang 1310nm dan 1550nm dan video denyut jantung dari aplikasi *Heart Sounds*. Sumber laser yang digunakan sebagai daya masukan adalah laser dioda dengan variasi panjang gelombang 1310nm dan 1550nm sedangkan untuk daya keluaran menggunakan OPM dengan variasi panjang gelombang 850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 1550 nm, dan 1650 nm. Suara denyut jantung diidentifikasi melalui video. Suara denyut jantung yang digunakan dalam keadaan kondisi normal, terdapat 2 jenis suara yaitu *lub* dan *dub*. Faktor yang mempengaruhi suara denyut jantung adalah volume suara yang diambil dari *Heart Sounds* berdurasi 1 menit 13 detik.



Gambar 1. Set up aplikasi sistem sensor FBG.

Setelah melakukan set-up, FBG dengan panjang variasi panjang gelombang diukur sebagai hasil daya keluaran referensi. Sedangkan untuk daya keluaran objek denyut jantung ditampilkan pada Gambar 1. Pengamatan dilakukan terhadap hasil pengukuran besaran daya keluaran terhadap panjang gelombang OPM.

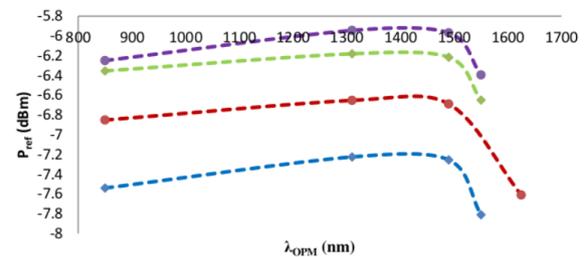
Data yang dikumpulkan dihitung pada besaran regangan dengan menghitung lebar Gaussian FBG (α_B), lebar Gaussian LD (α_L), perubahan daya keluaran (ΔP_o), panjang gelombang Bragg pada temperatur 20°C ($\lambda_{B,0}$), pergeseran panjang gelombang Bragg akibat perlakuan temperatur ($\Delta\lambda_{B,1}$), dan regangan (ϵ). Hasil pengukuran dan perhitungan ditampilkan dalam bentuk grafik memperlihatkan hubungan antar data perubahan daya keluaran, pergeseran panjang gelombang Bragg dan perubahan regangan terhadap panjang gelombang OPM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan bahwa hasil pengukuran daya keluaran referensi terhadap panjang gelombang OPM dengan nilai tertinggi -5,945 dBm dan terendah -7,81 dBm. Grafik warna biru dan merah untuk sumber laser dioda pada panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dengan komponen FBG panjang gelombang 1310 nm sedangkan grafik warna hijau dan ungu untuk laser dioda panjang gelombang 1310 nm dan 1550 nm dengan komponen FBG panjang gelombang 1550 nm.

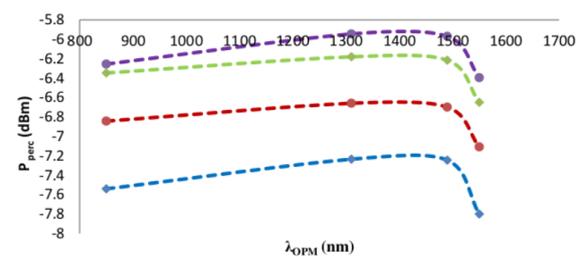
Hampir semua sumber yang diberikan memiliki kecenderungan perubahan panjang gelombang yang seragam, yang membedakan hanya intensitas respon daya FBG. FBG yang memiliki panjang gelombang 1550 nm memiliki daya yang lebih besar daripada 1310 nm. Ini terjadi panjang gelombang 1550 nm relatif memiliki energi lebih besar dibanding 1310 nm, namun untuk keempat data setelah 1550 nm seluruh grafik mengalami penurunan yang tajam. Hal ini disebabkan hilangnya daya

karena FBG tidak bekerja pada rentang 1550 nm.



Gambar 2. Daya keluaran referensi FBG.

Gambar 3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran daya keluaran setelah ada perlakuan simulasi getaran jantung terhadap panjang gelombang OPM dengan nilai tertinggi dan terendah adalah -5,945 dBm dan -7,8 dBm. Hal yang sama memiliki kemiripan data dengan Gambar 2, dan selisih daya dari kedua gambar adalah efek dari simulasi denyut jantung.

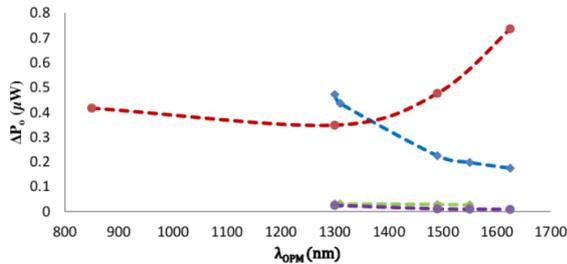


Gambar 3. Daya keluaran FBG.

Nilai daya keluaran referensi dan sample sama-sama mengalami kenaikan dan penurunan. Jika panjang gelombang OPM yang diatur nilainya besar maka daya keluaran yang dihasilkan semakin kecil, begitu juga sebaliknya jika panjang gelombang OPM yang diatur nilainya kecil maka daya keluaran yang dihasilkan semakin besar. Apabila panjang gelombang OPM yang disetting sama dengan atau mendekati panjang gelombang LD maka nilai daya keluaran akan semakin besar. Hal ini dapat terjadi karena tidak adanya perbedaan frekuensi dan fase sehingga interferensi gelombang dapat diabaikan.

Pada Gambar 2 dan 3 menunjukkan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan dengan variasi panjang gelombang Bragg 1310 nm dan 1550 nm memiliki kesamaan hasil daya keluaran FBG dari yang tertinggi ke yang

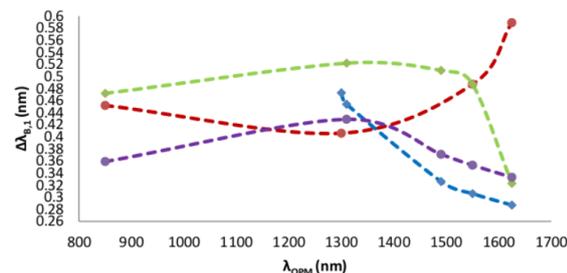
terendah berturut-turut dengan panjang gelombang OPM 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 850 nm, 1550 nm dan 1650 nm, namun ada beberapa data tidak ditampilkankarena tampilan perubahan daya tidak dapat dideteksi dimana daya keluaran yang terbatas dan dipengaruhi oleh panjang gelombang OPM.



Gambar 4. Perubahan daya keluaran FBG.

Perubahan daya keluaran FBG merupakan selisih dari daya keluaran sampel (setelah ada getaran) dengan daya keluaran referensi (sebelum ada getaran). Gambar 4 menunjukkan hasil pengukuran perubahan daya keluaran FBG terhadap panjang gelombang OPM dengan nilai tertinggi dan terendah berturut-turut adalah 0,736 μ W dan 0,009 μ W.

Panjang gelombang Bragg 1310nm lebih sensitif dibandingkan 1550 nm karena panjang gelombang 1310 nm memiliki attenuasi lebih besar dibanding panjang gelombang 1550 nm. Panjang gelombang yang digunakan mempengaruhi moda-moda dari perambatan gelombang sebagai fungsi indeks bias dari FBG.

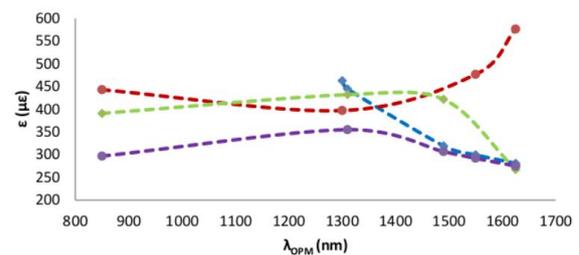


Gambar 5. Pergeseran panjang gelombang Bragg.

Pergeseran panjang gelombang Bragg mengalami perubahan ketika diberikan perlakuan getaran pada FBG dan berbeda-beda untuk tiap panjang gelombang Bragg. Gambar 5 menunjukkan pergeseran panjang gelombang

Bragg dengan nilai tertinggi dan terendah masing-masing adalah 0,589 nm dan 0,287 nm. Ketika ada perubahan regangan (termasuk efek gangguan luar) mengakibatkan nilai indeks bias dapat berubah, sehingga spektrum refleksi juga akan bergeser [17].

Pergeseran panjang gelombang Bragg sangat dipengaruhi oleh getaran. Apabila getaran yang dihasilkan besar maka perubahan panjang gelombang semakin besar, demikian juga sebaliknya, dimanarepon pergeseran panjang gelombang Bragg dipengaruhi oleh getaran yang dihasilkan oleh denyut jantung.



Gambar 6. Perubahan regangan.

Daya referensi dalam pengukuran ini adalah saat FBG terhubung di sisi *amplifier* dan tidak mengalami regangan (tidak ada getaran yang diberikan). Gambar 6 menunjukkan nilai regangan tertinggi dan terendah adalah 576,186 μ ϵ dan 267,294 μ ϵ . Ketika terjadi peregangannya dinamis oleh getaran, maka spektrum refleksi FBG bergeser secara periodik dalam domain panjang gelombang.

KESIMPULAN

Perancangan dan pengukuran daya keluaran FBG terhadap panjang gelombang OPM pada getaran jantung telah dideteksi. Pengukuran daya keluaran memiliki kesamaan dengan nilai tertinggi ke terendah yaitu pada panjang gelombang OPM 1300 nm, 1310 nm, 1490 nm, 850 nm, 1550 nm dan 1650 nm. Perubahan daya keluaran FBG berbanding terbalik terhadap panjang gelombang OPM yang diberikan. Pergeseran panjang gelombang Bragg dan perubahan regangan sama-sama mengalami fluktuasi pada pengaruh getaran yang diberikan oleh *amplifier*. Pengukuran ini menunjukkan bahwa panjang gelombang Bragg

1310 nm lebih sensitif dibanding 1550 nm terhadap regangan. Regangan yang didapat tidak cukup untuk menjelaskan getaran video denyut jantung karena pengukuran hanya dilakukan terhadap *amplifier*. Getaran dan regangan dapat dipahami lebih rinci lagi dengan mengukur regangan yang dialami material lain pada video denyut jantung. Akurasi pengukuran dibatasi oleh resolusi OPM yang digunakan serta *loss* yang dialami sistem.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Riau yang telah mendukung penyelesaian penelitian ini di Laboratorium Plasma dan Fotonik Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau, Pekanbaru atas bantuan finansial dan fasilitas yang diberikan.

REFERENSI

1. Webster, J. G. (2012). Biomedical instrumentation. In *Handbook of Research on Biomedical Engineering Education and Advanced Bioengineering Learning: Interdisciplinary Concepts*. IGI Publishing: Hershey, PA, USA, 339–355.
2. Matheson, J., Singh, R., & Packard, A. (2007). Polysomnography and sleep disorders, in *The Clinical Neurophysiology Primer*, A. Blum and S. Rutkove, Eds. Humana Press, 393–445.
3. Turnip, A., Andrian, Turnip, M., Dharma, A., Paninsari, D., Nababan, T., & Ginting, C. N. (2020). An Application of Modified Filter Algorithm Fetal Electrocardiogram Signals with Various Subjects. *International Journal of Artificial Intelligence*, **18**(1), 207–217.
4. Hongyao, W. (2011). Coal Mine Disaster Rescue Life Sign Monitoring Technology Based on FBG and Acceleration Sensor. *Procedia Engineering*, **26**, 2294–2300.
5. Mishraa, V., Lohar, M., & Amphawan, A. (2016). Improvement in Temperature Sensitivity of FBG by Coating of Different Materials. *Optik*, **127**, 825–828.
6. Dziudaet, L. (2013). Fiber Bragg grating based sensor for monitoring respiration and heart activity during magnetic resonance imaging examinations. *J. Biomed. Opt.*, **18**(5), 057006.
7. Dziudaet, L. (2012). Monitoring respiration and cardiac activity using fiber Bragg grating-based sensor. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, **59**(7), 1934–1942.
8. Marques, C. A. F., Webb, D. J., Andre, P. (2017). Polymer optical fiber sensors in human lifesafety. *Opt. Fiber Technol.*, **36**, 144–154.
9. Nishyama, M., Miyamoto, & M., Watanabe, K. (2011). Respiration and body movement analysis during sleep in bed using hetero-core fiber optic pressure sensors without constraint to human activity. *J. Biomed. Opt.*, **16**(1), 17002.
10. Sartiano, D. & Sales, S. (2017). Low cost plastic optical fiber pressure sensor embedded in mattress for vital signal monitoring. *Sensors*, **17**(12).
11. Hen, G., Imtiaz, S. A., Aguilar-Pelaez, E., & Rodriguez-Villegas, E. (2015). Algorithm for heart rate extraction in a novel wearable acoustic sensor. *Healthc. Technol. Lett.*, **2**, 28–33.
12. Nedoma, J., Kepak, S., Fajkus, M., Cubik, J., Siska, P., Martinek, R., & Krupa, P. (2018). Magnetic Resonance Imaging Compatible Non-Invasive Fibre-Optic Sensors Based on the Bragg Gratings and Interferometers in the Application of Monitoring Heart and Respiration Rate of the Human Body: A Comparative Study. *International Journal of Sensors*, **18**, 3713.
13. Fajkus, M., Navruz, I., Kepak, S., Davidson, A., Siska, P., Cubik, J., & Vasinek, V. (2015). Capacity of wavelength and time division multiplexing for quasi-distributed measurement using fiber bragg gratings. *Advances in*

- Electrical and Electronic Engineering*, **13**(5).
14. Fajkus, M., Nedoma, J., Kepak, S., Rapant, L., Martinek, R., Bednarek, L., Novak, M., & Vasinek, V. (2016). Mathematical model of optimized design of multi-point sensoric measurement with Bragg gratings using wavelength division multiplex. *Proc SPIE9889*.
 15. Kersay, A. D., Davis, M. A., Patrick, H. J., LeBlanc, M., Koo, K. P., Askins, C. G., Putnam, M. A., Friebele, E. J. (2010). Tunable Erbium-Doped Fiber Lasers Using Various Inline Fiber Filters. *Engineering*, **2**, 1442–1463.
 16. Tan, M. (2015). Analisa Frekuensi Alamiah dan Regangan Jembatan oleh Kendaraan Bermotor Menggunakan Fiber Bragg Grating. *Journal of Repository FMIPA UR*.
 17. Venghaus, H. (2006). Wavelength Filters in Fiber Optics. Springer-verlag Berlin Heidelberg ISSN 0342-4111.



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

APLIKASI METODE GEOLISTRIK DIPOLE-DIPOLE DAN GEOKIMIA DALAM PENENTUAN REMBESAN LINDI PADA LAPISAN TANAH DI SEKITAR TPA MUARA FAJAR PEKANBARU

Aldianti Rizki Musdalifah Hutagalung*, Usman Malik

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Riau

*E-mail korespondensi: aldianti.htg@gmail.com

ABSTRACT

Leachate is the result of degradation of filter, especially in location where the final management (TPA) can seep into the soil to contaminate groundwater sources. This research has been conducted geoelectric resistivity measurement to identify the presence of leachate seepage and spread around the landfill. Research conducted around TPA Muara Fajar Pekanbaru using Dipole-Dipole configuration on two tracks with a track length of 133 meters and 100 meters. The measurement data is then inverted using Res2Dinv software to produce a 2D resistivity profile. The analysis results show on line 1 there is leachate distribution at a depth of 8.86 meters, whereas on line 2 there is no leachate distribution. In addition, the leachate sample test results using the geochemical method showed that the leachate at TPA Muara Fajar Pekanbaru did not meet the leachate quality standard. The results of the sample test for the quality of well water from residents around the TPA are still in accordance with the quality of clean water, because leachate seepage has not reached the residential area.

Keywords: Geoelectric, Leachate, Dipole-Dipole, TPA.

ABSTRAK

Lindi merupakan hasil degradasi sampah pada lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat meresap ke dalam tanah hingga mencemari sumber air tanah. Telah dilakukan penelitian pengukuran geolistrik resistivitas yang bertujuan untuk mengidentifikasi adanya rembesan serta penyebaran lindi di sekitar TPA. Penelitian dilaksanakan di sekitar TPA Muara Fajar Pekanbaru dengan menggunakan konfigurasi Dipole-Dipole pada dua lintasan dengan panjang lintasan 133 meter dan 100 meter. Data pengukuran selanjutnya diinversi menggunakan software Res2Dinv hingga menghasilkan profil resistivitas 2D. Hasil analisis menunjukkan pada lintasan 1 terdapat sebaran lindi di kedalaman 8,86 meter, sedangkan pada lintasan 2 tidak terdapat sebaran lindi. Selain itu, hasil uji sampel lindi menggunakan metode geokimia menunjukkan bahwa lindi di TPA Muara Fajar Pekanbaru tidak memenuhi standar baku mutu lindi. Hasil uji sampel kualitas air sumur warga di sekitar TPA masih sesuai dengan kualitas air bersih, dikarenakan rembesan lindi belum sampai ke pemukiman warga.

Kata kunci: Geolistrik, Lindi, Dipole-Dipole, TPA.

Diterima 26-04-2021 | Disetujui 26-05-2021 | Dipublikasi 31-07-2021

PENDAHULUAN

Pencemaran air merupakan persoalan yang khas terjadi. Sumber pencemaran air terutama disebabkan aktivitas manusia dan dipicu secara kuadratik oleh pertumbuhan penduduk [1]. Contohnya sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan contoh sampah yang mengalami degradasi dan proses pembusukan

akan menghasilkan limbah cair beracun yang disebut lindi (*leachate*) dan meresap ke dalam tanah. Proses perasapan atau rembesan limbah ini sulit diamati atau dideteksi karena prosesnya terjadi dibawah permukaan bumi dan jika limbah tersebut mencapai daerah aquifer maka akan mencemari air tanah yang kemungkinan di konsumsi oleh masyarakat yang berada di sekitar lokasi TPA [2].

TPA sampah di Muara Fajar menerapkan metode *open dumping* dalam pengelolaan sampah. Operasi TPA dengan menerapkan metode *open dumping* memiliki kecenderungan mencemari lingkungan, dimana pembentukan lindi yang tidak terkontrol dapat mencemari air bawah tanah dan air permukaan [3]. Pada Gambar 1 menunjukkan lokasi TPA yang dijadikan sebagai objek penelitian. Cara mengetahui pertambahan persebaran limbah

cair (lindi) pada lapisan tanah disekitaran TPA menggunakan metode geolistrik Dipole-Dipole. Konfigurasi Dipole-Dipole secara umum memiliki daya penyelidikan kedalaman yang dangkal. Keunggulan dari konfigurasi ini adalah sangat baik untuk penetrasi kedalaman dengan kesensitifan tinggi untuk arah horizontal, sehingga konfigurasi ini sangat baik untuk survei *mapping horizontal*.



Gambar 1. Peta lokasi TPA Muara Fajar Pekanbaru.

Lindi dapat didefinisikan sebagai cairan yang timbul dari hasil dekomposisi biologis sampah yang telah membusuk dan mengalami pelarutan akibat masuknya air eksternal kedalam timbunan sampah. Lindi bersifat toksik karena adanya zat pengotor dalam timbunan yang mungkin berasal dari buangan limbah industri, debu, lumpur hasil pengolahan limbah, limbah rumah tangga yang berbahaya, atau dari dekomposisi yang normal terjadi pada sampah [4]. Dengan demikian nilai resistivitas polutan air lindi lebih rendah daripada air tanah. Resistivitas air bersih adalah antara 10 – 100 Ωm sehingga resistivitas air lindi lebih kecil dari 10 Ωm [5].

Penurunan kualitas air tanah di lokasi TPA rentan terjadi karena pembuangan limbah yang belum sesuai prosedur. Air tanah yang sudah tercemar oleh lindi tidak layak dikonsumsi

karena sudah mengandung polutan [6]. Geolistrik merupakan metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mendeteksinya di permukaan bumi. Pendeteksian ini meliputi pengukuran beda potensial, arus, dan medan elektromagnet yang terjadi secara alamiah maupun akibat penginjeksian arus ke dalam bumi [7]. Berbagai jenis konfigurasi dari metode geolistrik menentukan faktor geometri (k) dan konfigurasi inilah yang menentukan hasil untuk interpretasi penentuan nilai resistivitas bawah permukaan.

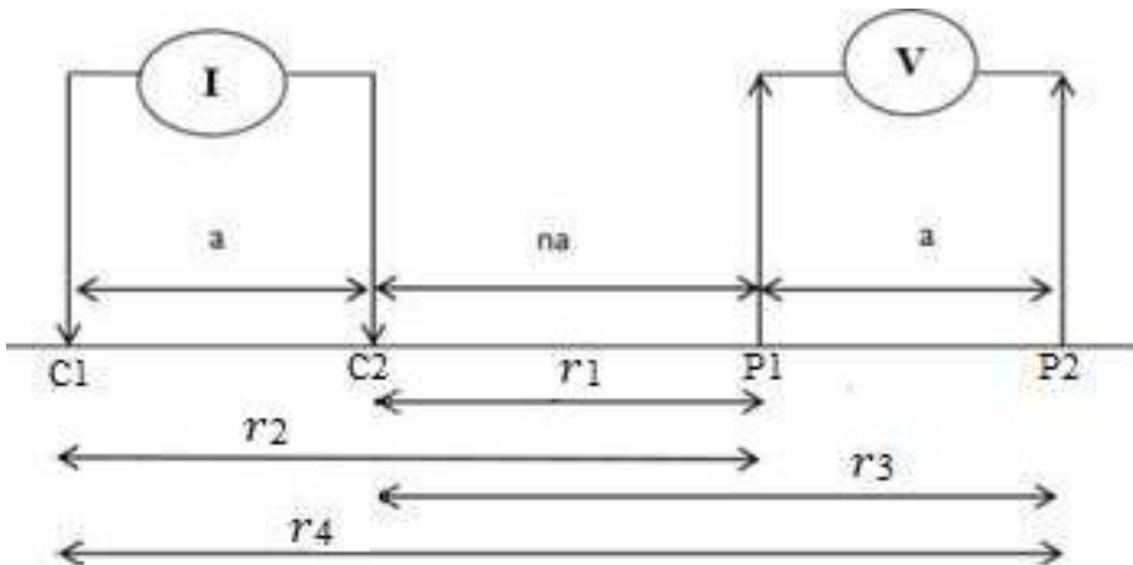
Pada Gambar 2 menunjukkan konfigurasi Dipole-Dipole yang secara umum memiliki daya penyelidikan kedalaman yang dangkal dibanding konfigurasi Wenner. Konfigurasi ini mempunyai keunggulan yang sangat baik dalam penyelidikan data secara horizontal dibanding konfigurasi Wenner. Konfigurasi

Dipole-Dipole yaitu konfigurasi dimana sepasang elektroda antara arus dan potensial terpisah, jarak spasi antar elektroda C_1-C_2 dan P_1-P_2 adalah a , sedangkan untuk jarak C_1 dan P_1 adalah na , atau lebih singkat dinyatakan jarak antar Dipole-Dipole harus lebih besar. Dengan ΔV adalah beda potensial yang terjadi diantara jarak dua elektroda sehingga diperoleh persamaan tahanan jenis semunya (ρ) [9-12].

$$\rho_a = \frac{\Delta V}{I} k \quad (1)$$

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

dimana, tahanan jenis semu batuan ρ_a (Ωm), beda potensial elektroda ΔV (V), kuat arus I (A), faktor geometri elektroda k .



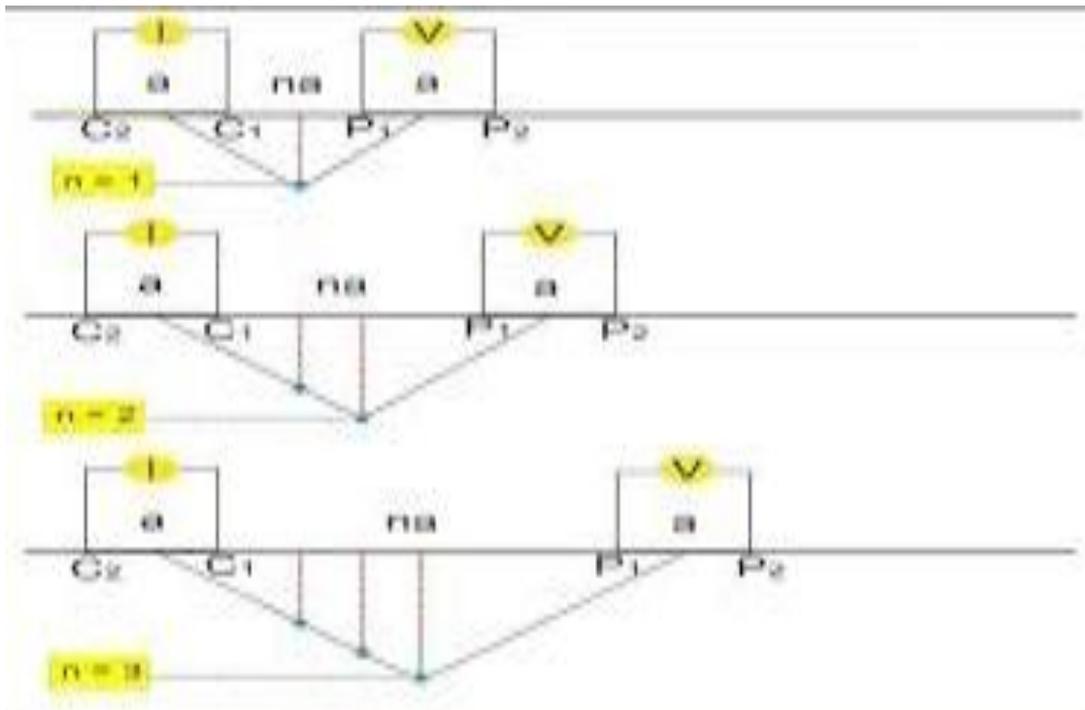
Gambar 2. Rangkaian elektroda konfigurasi Dipole-Dipole [8].

METODE PENELITIAN

Pengukuran Data Geolistrik

Proses pengambilan data di lapangan dimulai dengan menentukan titik pengukuran. Penentuan arah bentangan elektroda didasarkan pada setiap titik yang telah ditentukan untuk mengetahui rembesan lindi tersebut. Digunakan 2 titik lintasan dengan panjang lintasan sekitar 133 meter dan 100 meter. Cara kerja dari konfigurasi ini dapat dilihat dari susunan

elektroda pada Gambar 3. Spasi antara dua elektroda arus dan elektroda potensial sama yaitu a . Pengukuran ini dilakukan dengan memindahkan elektroda potensial pada suatu penampang dengan elektroda arus tetap, kemudian memindahkan elektroda arus pada spasi n berikutnya diikuti oleh pemindahan elektroda potensial sepanjang penampang seterusnya hingga pengukuran elektroda arus pada titik terakhir di penampang tersebut.



Gambar 3. Konfigurasi Dipole-Dipole.

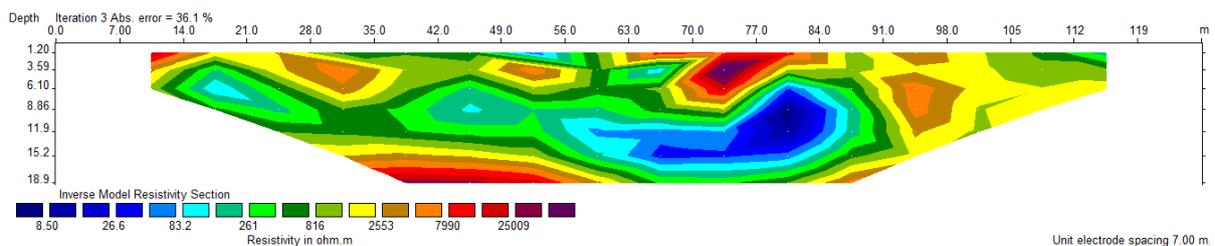
Pengolahan Data Geolistrik

Data yang diperoleh pada proses pengukuran dengan metode geolistrik adalah variable beda potensial (ΔV) dan kuat arus (I). Penelitian ini menggunakan spasi 7 meter pada lintasan 1 dan spasi 5 meter pada lintasan 2. Nilai-nilai pada data yang telah diperoleh dapat digunakan untuk menentukan nilai resistansi (R) dan faktor geometri (k), dan resistivitas semu (ρ_a). Nilai tersebut akan diolah menggunakan *Excel*. Kemudian data tersebut disusun sesuai dengan aturan *Res2Dinv*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Analisa Pengolahan Data Geolistrik

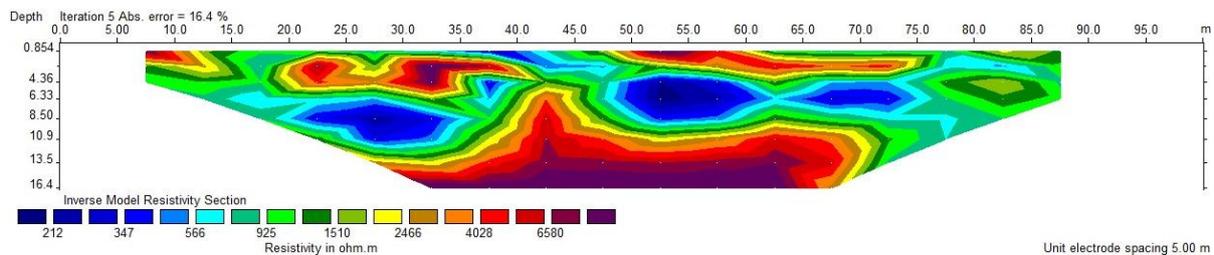
Lintasan 1 memiliki panjang lintasan 133 meter dengan kedalaman mencapai 18,9 meter. Jarak spasi antar elektroda pada lintasan 1 sebesar 7 meter. Lokasi lintasan 1 ini berada di dekat TPA dengan jarak 50 meter dari lokasi TPA. Lintasan 1 membentang dari arah Utara ke Selatan.



Gambar 4. Penampang resistivitas model 2D lintasan 1.

Gambar 4 menunjukkan model 2D resistivitas pada lapisan 1. Lapisan bawah permukaan daerah penelitian terdiri dari beberapa lapisan dengan nilai resistivitas yang berbeda. Lapisan berwarna biru tua yang terletak di kedalaman 8,86 meter memiliki nilai tahanan jenis kurang dari 10 Ωm yang diestimasi sebagai zona terkontaminasi lindi memiliki nilai resistivitas 8,5 Ωm . Terlihat air

lindi yang merembes masuk ke dalam tanah pada posisi panjang lintasan 80,5 meter dan diselimuti oleh zona saturasi air bawah permukaan dengan nilai resistivitas 26,6 Ωm di kedalaman 6 hingga 15 meter. Selanjutnya daerah yang memiliki harga resistivitas tinggi diasumsikan sebagai batuan dari daerah penelitian.



Gambar 5. Penampang Resistivitas Model 2D Lintasan 2.

Gambar 5 menunjukkan keberagaman jenis lapisan bawah permukaan yang tidak homogen pada lintasan 2. Lintasan 2 memiliki panjang lintasan 100 meter dengan kedalaman mencapai 16 meter. Jarak spasi antar elektroda pada lintasan 2 adalah 5 meter. Lokasi lintasan 2 ini berada di daerah pemukiman yang berjarak 700 meter dari lokasi TPA. Lintasan 2 membentang dari arah Timur Laut ke arah Barat Daya. Pada lapisan pertama didominasi oleh daerah berwarna biru dengan nilai resistivitas 212 Ωm merupakan lapisan yang menyimpan air bawah permukaan hingga kedalaman 8,5 meter. Seperti yang diketahui air tanah memiliki nilai resistivitas 10 – 300 Ωm . Dapat diartikan bahwa pada lintasan 2 ini tersebar sebaran air bawah permukaan yang membuktikan bahwa warga yang tinggal di daerah pemukiman lintasan 2 ini masih mendapatkan sumber air bersih yang belum tercemar lindi. Diketahui lindi memiliki nilai resistivitas kurang dari 10

Ωm dan terlihat pada model penampang 2D tidak terdapat nilai resistivitas lindi tersebut. Hal ini dikarenakan jarak dari lokasi pemukiman ke TPA yang cukup jauh, dan juga umur TPA yang masih beroperasi lebih kurang 1 tahun, menandakan belum terlalu lama aktivitas pengolahan sampah dan lindi yang berlangsung [13].

Hasil dan Analisa Sampel Lindi dan Air Sumur Metode Geokimia

Air Lindi

Uji sifat kimia perlu dilakukan agar mengetahui kandungan dari air lindi apakah sesuai dengan standar baku mutu atau tidak. Pengambilan sampel air lindi dilakukan di TPA Muara Fajar Pekanbaru. Berikut ini adalah hasil uji sampel air lindi TPA yang dilakukan dengan parameter BOD dan COD.

Tabel 1. Nilai konsentrasi air lindi TPA Muara Fajar Pekanbaru.

Parameter	Hasil Analisis	Baku Mutu	Keterangan
BOD	331 mg/L	150	Melebihi baku mutu
COD	2.069 mg/L	300	Melebihi baku mutu

Tabel 1 menunjukkan kadar BOD pada air lindi di TPA Muara Fajar adalah 331 mg/L yang melewati kadar maksimum baku mutu lindi. Kadar maksimum baku mutu lindi untuk parameter BOD adalah 150 mg/L. Limbah dengan kadar BOD tinggi tidak dapat mendukung kehidupan organisme yang membutuhkan oksigen. Apabila limbah yang memiliki kadar BOD yang tinggi mencemari lingkungan maka organisme atau makhluk hidup di sekitar lingkungan yang membutuhkan oksigen tidak dapat bertahan hidup dan akan mati. Hasil uji kadar COD pada air lindi adalah 2.069 mg/L, dimana kadar tersebut sudah melebihi standar baku mutu lindi untuk

parameter COD senilai 300 mg/L. Konsentrasi COD yang tinggi menunjukkan bahwa adanya bahan pencemar organik dalam jumlah tinggi yang dapat menimbulkan berbagai macam penyakit untuk manusia. Sedangkan dampaknya untuk lingkungan sekitar adalah dapat menyebabkan kandungan oksigen terlarut di dalam badan air menjadi rendah, bahkan habis. Faktor ini dapat mengakibatkan oksigen sebagai sumber kehidupan bagi makhluk hidup yang berada di dalam air seperti hewan dan tumbuhan air tidak dapat terpenuhi, sehingga makhluk air tersebut akan mati dan tidak dapat berkembang biak dengan baik [14-15].

Tabel 1. Nilai konsentrasi air sumur warga di sekitar TPA Muara Fajar Pekanbaru.

Parameter	Hasil Analisis	Baku Mutu	Keterangan
BOD	1,9 mg/L	6	Memenuhi baku mutu
COD	3,49 mg/L	12	Memenuhi baku mutu

Air Sumur Warga

Untuk mengetahui kualitas air pada titik lokasi pengambilan sampel apakah sudah tercemar lindi atau tidak, dapat diuji dengan beberapa parameter, yaitu parameter BOD dan COD. Dari Tabel 2 didapatkan hasil uji air sumur warga untuk parameter BOD senilai 1,9 mg/L. Jika dibandingkan dengan standar baku mutu air bersih Permenkes RI No. 82 Tahun 2001 yaitu 16 mg/L maka air sumur warga masih tergolong kedalam air bersih yang dapat dikonsumsi. Nilai COD merupakan jumlah oksigen (mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 liter air. Berdasarkan hasil penelitian sampel air sumur warga yang diteliti pada pemeriksaan COD

adalah lebih kecil dari 3,49 mg/L dimana kadar tersebut memenuhi standar baku mutu air bersih untuk parameter COD 12 mg/L. Dari hasil pengujian kadar COD ini, menunjukkan bahwa air sumur warga masih layak dikonsumsi.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Dipole-Dipole di TPA Muara Fajar Pekanbaru, dapat disimpulkan bahwa sebaran air lindi hanya didapatkan di lintasan 1 yang berada dekat dengan TPA, sedangkan pada lintasan 2 tidak ditemukan sebaran air lindi. Hal ini menunjukkan bahwa sebaran air lindi belum

sampai ke wilayah pemukiman warga. Kualitas air lindi di TPA Muara Fajar untuk parameter BOD dan COD tidak sesuai dengan standar baku mutu lindi. Dan untuk kualitas air sumur warga yang berada di sekitaran TPA belum tercemar oleh lindi dan masih layak di konsumsi karena sesuai dengan standar baku mutu air bersih.

REFERENSI

1. Wijayantari, Meitri, I. A. (2019). Pemodelan Skala Laboratorium Pencemaran Air Tanah oleh Limbah Menggunakan Metode Geolistrik. *Jurnal Spektran*, *7*(2), 172–177.
2. Tamuntuan, G. H., As'ari, & Datunsolang, F. (2015). Investigasi Rembesan Limbah Cair Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Studi Kasus TPA Sumompo, Manado. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF 2015*, *4*, ISSN 2339-0654.
3. Effendi, H. (2003). *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Jakarta: Kanisius.
4. Anaperta, Y., Octavia, A., & Yulhendra, D. (2018). Aplikasi Metode Geolistrik dalam Penentuan Rembesan Studi Kasus TPA Sampah Pasaman Barat. *Jurnal Bina Tambang*, *3*(4).
5. Loke, M. H. (1999). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys*. Malaysia: Penang.
6. Darmono. (2001). *Lingkungan Hidup dan Pencemaran*. Jakarta: Institut Pertanian Bogor.
7. Kanata, B., Zubaidah, T., Utama, W., Warnana, D. D., & Arumdati, N. (2008). *Sifat Kelistrikan Batuan*. Surakarta: Jurusan Fisika Universitas sebelas Maret.
8. Darsono, Nurlaksito, B., & Legowo, B. (2012). Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Bencana Tanah Longsor Dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi Di Desa Pablengan Kecamatan Matesih Kabupaten Karanganyar. *Indonesian Journal of Applied Physics*, *2*(1).
9. Lowrie, W. (2007). *Fundamental of Geophysics*. New York: Cambridge University.
10. Silvia, R. & Malik, U. (2021). Sebaran air tanah menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *18*(1), 18–21.
11. Abdillah, F. & Malik, U. (2021). Pemetaan sebaran mata ir panas di daerah objek wisata Desa Pawan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *18*(1), 35–41.
12. Putri, C. S. & Malik, U. (2020). Analisa kedalaman air panas menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger di objek wisata air panas Pawan. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *17*(2), 87–91.
13. Sapitri, T. E. & Malik, U. (2020). Identifikasi air tanah di Perumahan Graha Mustamindo Permai 3 menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger. *Komunikasi Fisika Indonesia*, *17*(3), 150–154.
14. Rangkuti, M. Z. I., Salomo, S., & Malik, U. (2020). Perbandingan nilai

suseptibilitas magnetik air laut menggunakan metode quincke di pantai Sumatera Bagian Tengah. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 41–45.

15. Ariani, A., Malik, U., & Husin, A. (2020). Analisis efek gerhana matahari total 9 Maret 2016 terhadap kandungan total elektron ionosfer. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(1), 50–54.



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