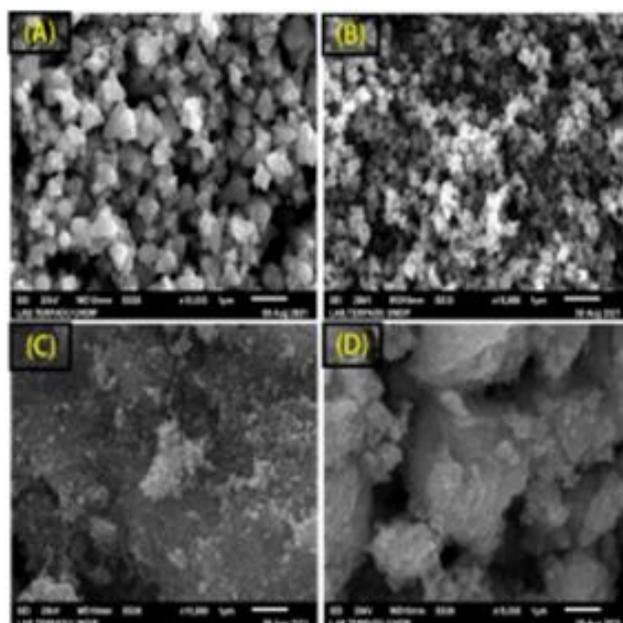
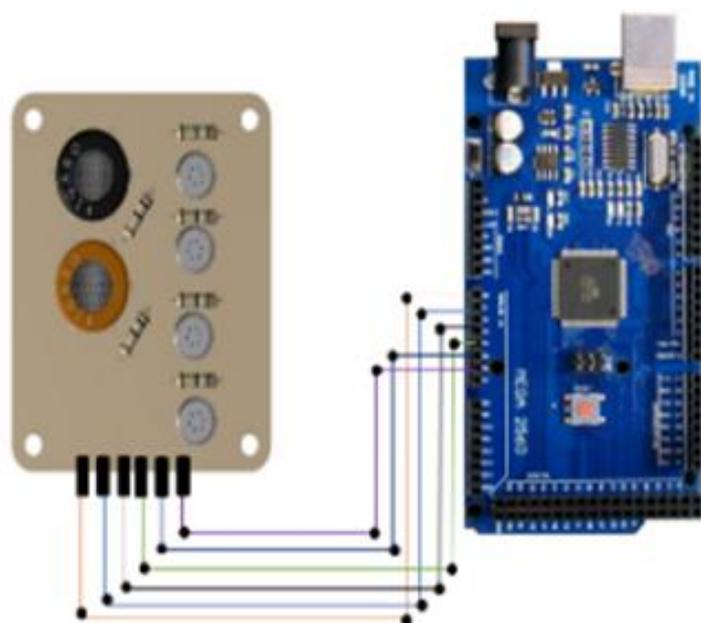


# Komunikasi Fisika Indonesia





**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](mailto:kfi@ejournal.unri.ac.id)

## DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	i
DAFTAR ISI	ii
ANALISA SENSITIVITAS SENSOR TGS PADA HIDUNG ELEKTRONIK UNTUK IDENTIFIKASI <i>GANODERMA</i> DI BAGIAN AKAR KELAPA SAWIT <i>Mhd Feri Desfri, Minarni Shiddiq, Dewi Laila Sari, Dewi Anjarwati Mahmudah, Ihsan Okta Harmailil, Irfan Cahyadi</i>	1-6
ANALISA SIFAT FISIS NANOPARTIKEL $ZnO$ DI- <i>DOPING</i> Ag YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE BIOSINTESIS <i>Rita Meldayani, Iwantono Iwantono, Ari Sulistyono Rini, Yolanda Rati</i>	7-10
PENGGUNAAN PEMODELAN SUMBER PLASMA HELIUM PADA KEADAAN SETIMBANG UNTUK APLIKASI PLAK GIGI <i>Nandita Devira, Toto Saktioto</i>	11-18
SIKLIS VOLTAMETRI SEL SUPERKAPASITOR DARI BIOMASSA PELEPAH SALAK <i>Rakhmawati Farma, Amalia Apriliani Putri, Irma Apriyani</i>	19-24
BATAS MEDAN LEMAH PADA GRAVITASI $f(T)$ <i>Tika Restianingsih</i>	25-30
KARAKTERISASI SIFAT ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON AKTIF BERBASIS LIMBAH SABUT KELAPA MUDA MENGGUNAKAN SEPARATOR MEMBRAN KULIT TELUR AYAM <i>Angela Carolina Simanjuntak, Awitdrus</i>	31-34
PENGGUNAAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI SCHLUMBERGER UNTUK MENGETAHUI LAPISAN STRUKTUR LITOLOGI BAWAH TANAH DI TAMAN ILMU UNIVERSITAS RIAU <i>Aprianturi Rega, Usman Malik</i>	35-38
ANALISA DISTRIBUSI DOSIS PADA FANTOM HOMOGEN DAN INHOMOGEN DENGAN SIMULASI MONTE CARLO <i>Sitti Yani</i>	39-44
PEMBUATAN ELEKTRODA KARBON DARI BIOMASSA SABUT KELAPA MUDA DENGAN AKTIVATOR KOH SEBAGAI APLIKASI SEL SUPERKAPASITOR <i>Zurya Hanifa, Awitdrus</i>	45-50
IDENTIFIKASI HEWAN BERDASARKAN POLA AKUSTIK DENGAN PRINSIP EKSTRAKSI <i>WAVELET</i> DAN KLASIFIKASI <i>MULTI-LABEL</i> JARINGAN SYARAF TIRUAN <i>Defrianto, Titrawani, Lazuardi Umar, Vepy Asyana</i>	51-56

## ANALISA SENSITIVITAS SENSOR TGS PADA HIDUNG ELEKTRONIK UNTUK IDENTIFIKASI *GANODERMA* DI BAGIAN AKAR KELAPA SAWIT

Mhd Feri Desfri<sup>1</sup>, Minarni<sup>1\*</sup>, Dewi Laila Sari<sup>1</sup>, Dewi Anjarwati Mahmudah<sup>1</sup>, Ihsan Okta Harmailil<sup>1</sup>, Irfan Cahyadi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin FT Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [minarni.shiddiq@lecturer.unri.ac.id](mailto:minarni.shiddiq@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*Palm oil is one of the main commodities for Indonesia. It is important to identify the disease-causing the decline in productivity. Root rot disease that causes total damage to oil palm plants due to fungal infection *G. boninense* sp has volatile organic compounds that can be detected using an electronic nose. The electronic nose system is designed with 6 sensor arrays, namely TGS 2612, TGS 822, TGS 2611, TGS 2610, TGS 813, and TGS 2620 which are sensitive to certain VOC compounds. The sample used was infected and uninfected oil palm seedlings aged 4 months. The detection process is carried out on plant roots. Python program is used as a data acquisition system in voltage retrieval. The obtained voltage is processed and further analyzed using a trapezoidal area to determine the sensor response in the identification of *Ganoderma*. The results of processing using a trapezoidal plane show that TGS 2611 has a very good response. The TGS 2611 sensor has a higher trapezoidal area in identifying oil palm plants that are attacked by *Ganoderma* with 4 classifications, namely healthy, moderate, sick, and severe.*

**Keywords:** Electronic Nose, TGS, Python, Trapezoidal Area, Palm Oil, Basal Stem Root.

### ABSTRAK

*Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu komoditi utama bagi Indonesia. Penentuan penyakit penyebab penurunan produktivitas penting untuk diidentifikasi. Penyakit busuk pangkal batang yang mengakibatkan kerusakan utuh pada tanaman kelapa sawit akibat infeksi jamur *G. boninense* sp memiliki senyawa volatil organik yang dapat dideteksi dengan menggunakan hidung elektronik. Sistem Hidung elektronik dirancang dengan 6 larik sensor yaitu TGS 2612, TGS 822, TGS 2611, TGS 2610, TGS 813, dan TGS 2620 yang peka terhadap senyawa VOC tertentu. Sampel yang digunakan yaitu bibit tanaman kelapa sawit yang berusia 4 bulan yang terinfeksi dan tidak terinfeksi. Proses deteksi dilakukan pada bagian akar tanaman. Program python digunakan sebagai sistem akuisisi data dalam pengambilan tegangan. Tegangan yang diperoleh diolah dan dianalisa lebih lanjut menggunakan luasan trapezoid untuk menentukan respon sensor dalam mengidentifikasi *Ganoderma*. Hasil Pengolahan menggunakan luasan trapezoid didapatkan TGS 2611 memiliki respon yang sangat baik, dibanding sensor lainnya. Sensor TGS 2611 memiliki luas trapezoid yang lebih tinggi dalam mengidentifikasi tanaman kelapa sawit terserang *Ganoderma* dengan 4 klasifikasi sehat, sedang, sakit, dan sakit parah.*

**Kata kunci:** Hidung Elektronik, TGS, Python, Luasan Trapezoid, Kelapa Sawit, Busuk Pangkal Batang.

Diterima 12-11-2021 | Disetujui 09-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Hidung elektronik telah berkembang sebagai perangkat cerdas yang meniru sistem sensorik manusia dan telah diteliti beberapa tahun ini.

Hidung elektronik merupakan instrumen yang terdiri atas sensor-sensor kimiawi dengan berbagai sistem pengenalan pola yang sesuai dan kekhususan parsial, yang mampu untuk mengenali pola bau sederhana atau senyawa

yang kompleks. Instrumen ini dapat digunakan untuk mendeteksi, mengenali dan mengklasifikasi bau [1]. Hidung elektronik saat terdiri dari beberapa jenis sensor *metal oxide semiconductor* seperti seri Figaro TGS dan MQ yang tersedia secara komersial dengan harga yang relatif murah sehingga dimungkinkan untuk dibangun. Sensor ini telah tersedia dalam bentuk modul sehingga sistem hidung elektronik dibangun menjadi sederhana [2].

Sensor gas semikonduktor merupakan suatu komponen perangkat yang berperan penting untuk perancangan sistem hidung elektronik. Sensor ini berfungsi untuk merubah gas atau bau menjadi sinyal listrik [3]. Sensor aroma gas berjenis semikonduktor dapat dibagi menjadi beberapa bagian, seperti sensor gas TGS dan MQ. Sensor memiliki sensitivitas yang berbeda-beda dari setiap tipe sensor, sehingga, sensor cukup sensitif saat mendeteksi adanya bau pada reseptor, biasanya terdapat pada konsentrasi yang sangat rendah. Sensor aroma juga harus kuat terhadap suhu atau kelembaban yang terhubung saat penggunaan di luar ruangan [4].

Tanaman kelapa sawit tergolong sebagai komoditas pertanian utama dan unggulan di Indonesia dalam menghasilkan sumber minyak nabati. Kelapa sawit dan perkebunannya di Indonesia memiliki potensi yang sangat besar sejak dimulai pada tahun 1980an sampai sekarang. Tanaman kelapa sawit berperan penting dalam penerimaan devisa dan penghasilan negara, sekaligus meningkatkan lokomotif pembangunan ekonomi rakyat di desa maupun kota [5]. Tanaman kelapa sawit saat fase pertumbuhan sering kali mengalami kendala dikarenakan pengelolaannya dinilai kurang cukup optimal dan kurang efisien hal ini sangat berdampak pada produktivitas tanaman kelapa sawit [6]. Terdapat berbagai macam kendala terhadap tingkat produktivitas pada tanaman kelapa sawit salah satu kendalanya serangan penyakit pada tanaman penyakit busuk pangkal batang [7].

Penyakit busuk pangkal batang mengakibatkan penurunan tingkat produktivitas pada tanaman kelapa sawit dan rendemennya berkurang [8]. Usaha Pengendalian serangan

*Ganoderma* penyebab penyakit busuk pangkal batang kelapa sawit ini telah sering dilakukan oleh pekebun sawit. Pengendalian ini menggunakan metode tradisional dan metode ilmiah. Metode ilmiah tersebut seperti pemetaan *remote sensing*, *dot immune binding assay*, dan *enzyme-link immuno sorbent assay* [9]. Fakta menunjukkan bahwa pada dasarnya upaya pengendalian penyakit BPB dengan menggunakan beberapa metode di atas bukan merupakan alternatif yang terbaik dan kurang memuaskan. Pengendalian terhadap penyakit busuk pangkal batang ini pada tanaman kelapa sawit masih menghadapi bermacam-macam kendala akibat gejala dini serangan patogen *Ganoderma boninse* sangat sulit dideteksi. Pada kasus umumnya ketika gejala serangan dini mulai terlihat, tanaman kelapa sawit akan sulit terselematkan [10].

Hidung elektronik merupakan perangkat yang sangat penting untuk menggantikan peran metode tradisional untuk mendeteksi senyawa *volatil organic compound* (VOC) yang terdapat dalam *G.boninenses*, Teknologi Hidung Elektronik telah digunakan untuk mendeteksi infeksi jamur pada infeksi *blueberries*, tomat dan gandum, dan teknik identifikasi telah diperoleh untuk infeksi *Penicillium*, *Aspergillus*, dan *Fusarium* [11].

Pada penelitian ini, sistem hidung elektronik untuk mengidentifikasi dini *Ganoderma Boninse sp* pada tanaman kelapa sawit menggunakan sistem *indirect*. Sistem hidung elektronik dengan sensor gas semikonduktor berbasis mikrokontroler arduino. Senyawa volatil yang terkandung dalam tanaman kelapa sawit yang terserang *Ganoderma Boninse sp* akan dihisap oleh kipas, kemudian berinteraksi dengan enam sensor TGS dengan series yang berbeda yang dihubungkan pada mikrokontroler arduino. Data berupa tegangan yang diperoleh, tersimpan pada arduino, diekstraksi menggunakan *python* dan akan didapatkan hasil berupa pola tegangan yang dianalisa dan hasil dari analisa menunjukkan fraksi tanaman terinfeksi penyakit dalam klasifikasi sehat, sedang, sakit dan sakit parah.

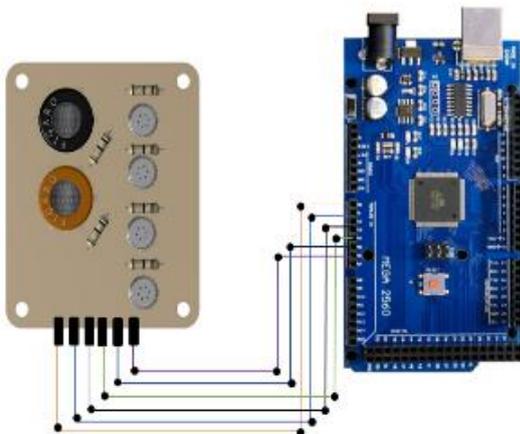
## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen untuk melihat respon tegangan terhadap sensitivitas sensor pada sampel. Penelitian ini terdiri dari tahap persiapan sampel, perancangan sistem hidung elektronik, akuisisi data, penentuan tingkat serangan, dan analisa data.

### Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanaman kelapa sawit berusia 4 bulan yang telah diinjeksikan *Ganoderma* dengan 4 tingkat serangan. Bagian yang digunakan pada penelitian ini yaitu pada bagian akar untuk 4 tingkat serangan.

### Perancangan Sistem Hidung Elektronik



**Gambar 1.** Rangkaian penampang array sensor.

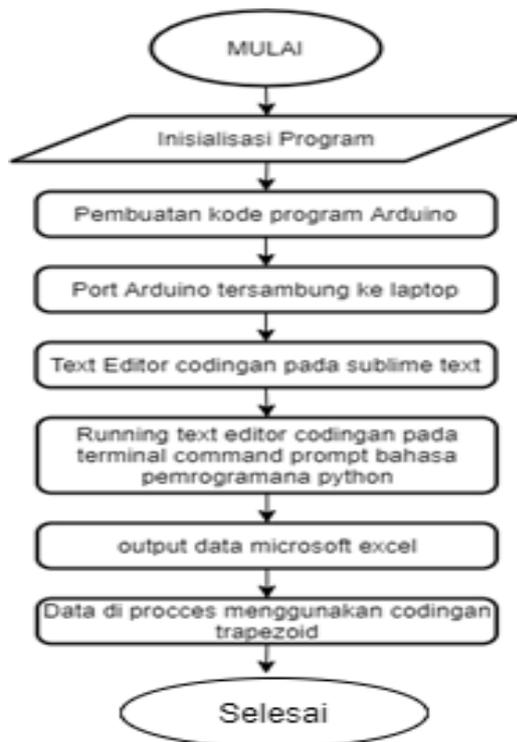
Sensor yang digunakan pada hidung elektronik tersusun atas 6 larik sensor TGS yang mempunyai karakteristik berbeda-beda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sensor TGS terdiri dari 4 buah 4 pin dan 2 buah 6 pin. Pin pada setiap TGS dirancang pada sebuah papan PCB yang sudah dicetak. Rangkaian susun pada PCB ini bertujuan agar sensor gas dapat diganti tergantung sensitivitasnya dan bersifat portable. Sensor yang disusun diatas PCB disusun dalam dua baris, dimana baris pertama terdiri dari 4 sensor dengan 4 pin dan baris kedua terdiri dari 2 sensor dengan 6 pin tujuan dibuatkan posisi ini agar setiap sensor merespon dengan baik terhadap aroma sampel.

*Chamber* alat dan bahan dibuat menggunakan akrilik, dimana akrilik dibuat berbentuk seperti kotak dengan terdiri dari beberapa sekat dan ruang (Gambar 2). Kotak akrilik yang digunakan berukuran  $16 \times 8 \times 8$  cm. Kotak akrilik terbagi menjadi ruang rangkain modul sensor serta sensor DHT22 dengan kipas di atas dan *micro servo* di bagian belakang, sedangkan ruang samping nya sebagai tempat mikrokontroler arduino, ruangan di bawah arduino merupakan tempat menyimpan *power bank*, di bagian depan terdiri dari ruangan *vacuum pump*, dan bagian luar kotak tempat layar LCD. Ruang *chamber* Sampel dibuat dalam kotak kecil dimana didalam nya nanti akan disambungkan selang yang bertujuan menyalurkan bau sampel dari ruang *chamber* alat sensor.



**Gambar 2.** Perangkat keras hidung elektronik.

## Akuisisi Data



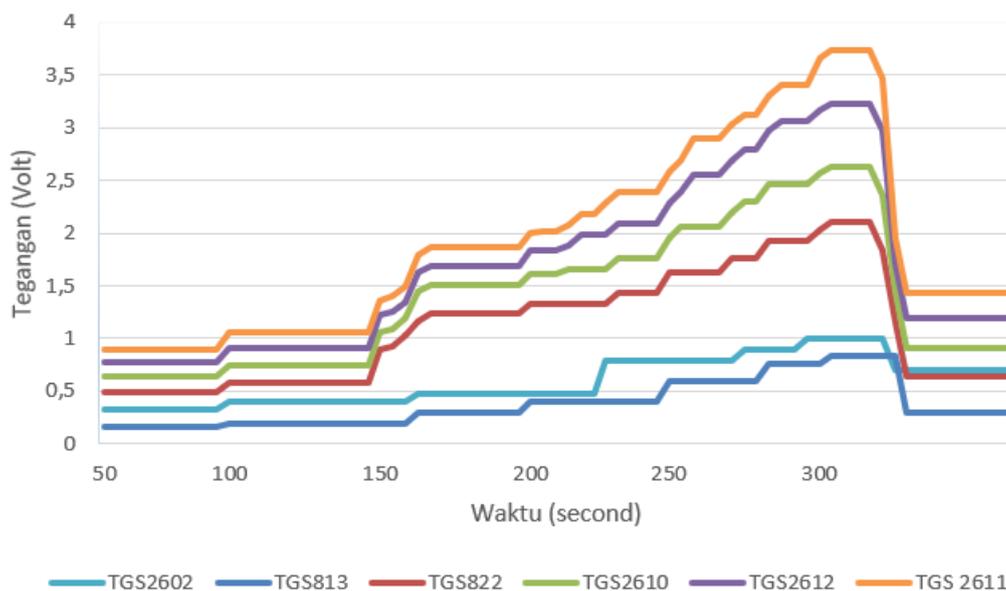
**Gambar 3.** Flowchart sistem akuisisi data.

Gambar 3 Menjelaskan tahapan pengambilan data sampel menggunakan bahasa program *python* dimana langkah awal dimulai dari inisialisasi program hingga pada tahap akhir Analisa menggunakan metode luasan *trapezoid* untuk menentukan respon sensor dalam mengidentifikasi sampel.

## Penentuan Tingkat Serangan dan Analisa Data

Penentuan tingkat serangan *Ganoderma* pada tanaman kelapa sawit menggunakan dua metode, yaitu pengukuran tegangan setiap sensor terhadap waktu menggunakan sistem hidung elektronik yang nantinya masing masing sampel akar di masukkan ke dalam *chamber* sampel, dimana hasil dari pengukuran ini nantinya akan dianalisa lebih lanjut dengan menggunakan metode *trapezoid* agar mendapatkan luas dari grafik dari sinyal sensor dan diidentifikasi tingkat serangannya.

Data yang diperoleh dari arduino melalui program *python* berupa tegangan. Data tegangan tersebut tersimpan dalam bentuk format *file csv*. Data tegangan diolah kembali menggunakan program *python* yang telah dibuat *logic looping*-nya untuk menentukan nilai luasan *trapezoid* dari masing masing respon tegangan agar lebih mudah dipahami. Data tegangan yang awalnya dalam format *file csv* kemudian diubah dalam bentuk data nilai luasan *trapezoid* dalam format *file excel*. Data tegangan Luasan *trapezoid* yang didapat masing-masing sampel kemudian dianalisa lebih lanjut dan di looping kembali serangan *Ganoderma*. Hasil data terbagi menjadi 4 identifikasi serangan *Ganoderma* pada bagian akar, yaitu sehat, sedang, sakit, dan sakit parah.



**Gambar 4.** Grafik respon tegangan sensor vs waktu pada sampel.

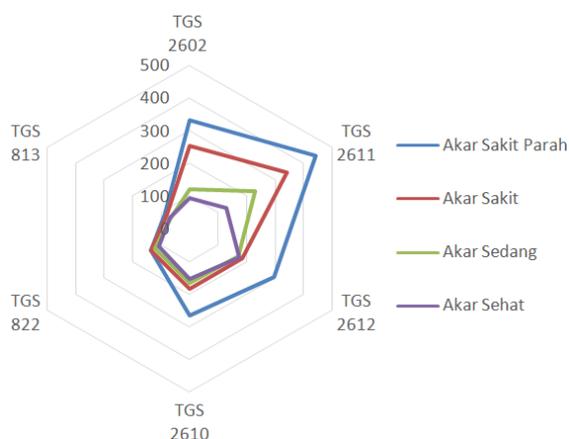
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Respon Tegangan Sensor Terhadap Sampel

Sensor TGS memiliki respon berbeda terhadap aroma sampel yang digunakan dalam mendeteksi aroma VOC pada akar tanaman kelapa sawit. Pada Gambar 4 dapat dilihat respon sensor terhadap empat kategori sampel yaitu sehat, sedang, sakit, dan sakit parah. Pada gambar dapat disimpulkan sensor yang memiliki sensitivitas tinggi dalam merespon *Ganoderma* pada bagian akar tanaman kelapa sawit yaitu TGS 2611, kemudian diikuti TGS 2612, TGS 2610. Sedangkan TGS 822, TGS 813, dan TGS 2602 memiliki respon yang kurang baik terhadap aroma sampel. Perbedaan ini diakibatkan oleh selektivitas masing masing sensor dalam mengenali senyawa VOC yang keluar pada sampel.

### Hubungan Luasan Trapezoid Terhadap Respon Sensor

Luasan daerah *trapezoid* yang dianalisa pada penelitian ini menggunakan metode integrasi numerik aturan *trapezoid*. Luasan daerah *trapezoid* dicari menggunakan pemrograman *python* dengan menginput *library scipy integrate* dimana  $x$  sebagai jumlah data dan  $f(x) = y$  sebagai tegangan. Interpretasi dari luasan daerah ini dinyatakan dalam grafik pola radar dibawah ini.



**Gambar 5.** Pola grafik radar respon sensor dari luasan *trapezoid*.

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada setiap tingkat serangan sensor-sensor gas memiliki respon yang berbeda pada tiap tingkat serangan. Pada sampel akar yang terserang sakit parah, urutan nilai tegangan dari tertinggi hingga terendah yaitu TGS2611, TGS2602, TGS2612, TGS2610, TGS822, dan TGS813. Pada sampel tingkat infeksi sakit yaitu TGS2611, TGS2602, TGS2612, TGS2610, TGS822, dan TGS813. Pada sampel tingkat infeksi sedang yaitu TGS2611, TGS2612, TGS2602, TGS2610, TGS822, dan TGS813. Sedangkan pada sampel sehat yaitu TGS2611, TGS2612, TGS2602, TGS2610, TGS822, dan TGS813. Secara umum, nilai tegangan dan sensitivitas sensor yang diperoleh dari akar tanaman kelapa sawit berdasarkan luasan *trapezoid* pada pola radar sangat baik dalam membedakan dengan baik tingkat infeksi serangan pada setiap sampel tanaman kelapa sawit. Perbedaan respon ini diakibatkan oleh selektivitas dan sensitivitas sensor dalam merespon senyawa VOC yang dikeluarkan oleh bagian akar kelapa sawit.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian hidung elektronik dengan 6 larik sensor memiliki respon yang baik dalam mengidentifikasi serangan *Ganoderma* pada tanaman kelapa sawit, dimana sensor yang memiliki sensitivitas yang tinggi yaitu TGS 2611. Sensor-sensor tersebut cukup baik dalam mengidentifikasi senyawa VOC pada tanaman kelapa sawit yang terserang *Ganoderma* sehingga dapat membedakan tanaman kelapa sawit sakit parah, sakit, sedang dan sehat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pekerjaan ini didukung oleh Proyek AKSI ADB UNRI telah memberikan dana penelitian melalui Mhd Feri Desfri.

## REFERENSI

1. Zakaria, A., Shakaff, A. Y. M., Masnan, M. J., Saad, F. S. A., Adom, A. H.,

- Ahmad, M. N., Jaafar M. N., Abdullah A. H., & Kamarudin, L. M. (2012). Improved maturity and ripeness classifications of magnifera indica cv. harumanis mangoes through sensor fusion of an electronic nose and acoustic sensor. *Sensors*, **12**(5), 6023–6048.
2. Shiddiq, M., Sitohang, L. B., Husein, I. R., Ningsih, S. A., Hermonica, S., & Fadlilah, A. (2021). Hidung elektronik berbasis sensor gas MOS untuk karakterisasi kematangan buah kelapa sawit electronic nose based on mos gas sensor to characterize ripeness of oil palm fresh fruits. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, **10**(2), 170–182.
  3. Sagita, P. P. (2015). *Rancang bangun chamber sensor electronic nose*. Skripsi Ilmu Komputer dan Elektronika, Universitas Gadjah Mada.
  4. Simamora, J. (2017). *Rancang bangun sistem pendeteksi kesegaran daging berdasarkan sensor bau dan warna*. Skripsi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh November.
  5. LIPI. (2017). *Kajian soal penting bagi pengembangan potensi kelapa sawit di Indonesia*. Diakses pada 14 Juni 2020, URL: <http://lipi.go.id/berita/single/Kajian-Sosial-Penting-bagi-Pengembangan-Potensi-Kelapa-Sawit-di-Indonesia/17528>.
  6. Djaenudin, D. (1993). Lahan marginal, tantangan, dan pemanfaatannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, **12**(4), 79–86.
  7. Semangun, H. (2008). *Penyakit-penyakit tanaman perkebunan di Indonesia*. Yogyakarta: UGM Press.
  8. Susanto, A., Ginting, P. A., & Suriyanto, P. A. (2008). Pola penyebaran Ganoderma boninense Pat. pada perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di lahan gambut: studi kasus di PT. Anak Tasik Labuhan Batu Sumatera Utara. *Jurnal Penelitian kelapa sawit*, **16**(3), 135–145.
  9. Tian, J., Reinartz, P., d'Angelo, P., & Ehlers, M. (2013). Region-based automatic building and forest change detection on Cartosat-1 stereo imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **79**, 226–239.
  10. Izzati, M. Z. N. A. & Abdullah, F. (2008). Disease suppression in Ganoderma-infected oil palm seedlings treated with *Trichoderma harzianum*. *Plant Protection Science*, **44**(3), 101–107.
  11. Balasubramanian, S., Panigrahi, S., Logue, C. M., Doetkott, C., Marchello, M., & Sherwood, J. S. (2008). Independent component analysis-processed electronic nose data for predicting *Salmonella typhimurium* populations in contaminated beef. *Food Control*, **19**(3), 236–246.



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

## ANALISA SIFAT FISIS NANOPARTIKEL ZnO DI-DOPING Ag YANG DISINTESIS MENGGUNAKAN METODE BIOSINTESIS

Rita Meldayani\*, Iwantono, Ari Sulisty Rini, Yolanda Rati

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [rita.meldayani3361@student.unri.ac.id](mailto:rita.meldayani3361@student.unri.ac.id)

### ABSTRACT

Nanotechnology is developing rapidly with a variety of synthetic materials, apart from the perceived work efficiency, which is also prioritized in terms of safety and non-toxicity. The synthesis that has the potential to be carried out based on these criteria is the type of Ag-doped ZnO nanoparticles. ZnO nanoparticles were prepared by a biosynthetic method using pineapple peel extract as a reducing agent. This study aims to look at the effect of adding Ag to ZnO nanoparticles. The percentage variation of Ag to ZnO is 1%, 3%, and 5%. The pineapple peel extract was mixed with 0.05 M  $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and 0.05 M  $\text{AgNO}_3$  precursor solutions. The solution was heated at 80 °C for 2 hours. The results of the biosynthesis were characterized using Spectroscopy UV-Vis, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy (SEM). The UV-Vis spectrum informs that strong absorption occurs at wavelengths below 400 nm. The maximum absorption is shown by sample ZnO:Ag 3% and the minimum absorption is shown by the pure ZnO sample. XRD characterization showed that the formation of seven diffraction peaks occurs at a diffraction angle ( $2\theta$ ) of: 31.729°; 34,397°; 36,214°; 47,467°; 56,541°; 62.831°; and 67.922°. The SEM results showed surface morphology of ZnO and ZnO:Ag 1% samples are floral and spherical, while ZnO:Ag 3% and ZnO:Ag 5% samples are coral rocks.

**Keywords:** Biosynthesis, ZnO Nanoparticles, Ag Doped.

### ABSTRAK

Nanoteknologi berkembang pesat dengan berbagai bahan sintesis, selain dari efisiensi kerja yang dirasakan juga diprioritaskan dari segi keamanan dan non-toksitas. Sintesis yang berpotensi untuk dilakukan berdasarkan kriteria tersebut adalah jenis nanopartikel ZnO yang didoping Ag. Nanopartikel ZnO dibuat dengan metode biosintesis menggunakan ekstrak kulit buah nanas sebagai agen reduktor. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan Ag pada nanopartikel ZnO. Variasi persentase Ag terhadap ZnO yaitu 1%, 3%, dan 5%. Ekstrak kulit buah nanas dicampur dengan larutan prekursor 0,05 M  $(\text{Zn}(\text{NO}_3)_2) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan 0,05 M  $\text{AgNO}_3$ . Larutan dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam. Hasil biosintesis dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi UV-Vis, difraksi sinar-X (XRD), dan scanning electron microscopy (SEM). Spektrum UV-Vis menginformasikan penyerapan kuat terjadi pada panjang gelombang di bawah 400 nm. Tingkat absorbansi maksimum diperlihatkan oleh sampel ZnO:Ag 3% dan tingkat absorbansi minimum ditunjukkan oleh sampel ZnO murni. Karakterisasi XRD menunjukkan terbentuknya tujuh puncak difraksi yang berada pada sudut  $2\theta$  yaitu: 31,729°; 34,397°; 36,214°; 47,467°; 56,541°; 62,831°; dan 67,922°. Hasil SEM menunjukkan morfologi permukaan sampel ZnO dan ZnO:Ag 1% berbentuk bunga dan bulat, sementara sampel ZnO:Ag 3% dan ZnO:Ag 5% berbentuk batuan karang.

**Kata kunci:** Biosintesis, Nanopartikel ZnO, Doping Ag.

Diterima 26-11-2021 | Disetujui 05-12-2021 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Nanopartikel merupakan salah satu produk dari nanoteknologi yang bermanfaat di bidang elektronik, lingkungan dan kesehatan. Salah

satu material yang dapat disintesis dalam bentuk nanopartikel adalah ZnO. Nanopartikel ZnO merupakan material bersifat kristalin yang banyak digunakan sebagai katalis. ZnO termasuk bahan semikonduktor yang memiliki

celah pita energi 3,37 eV. Beberapa jenis oksida logam anorganik telah banyak disintesis dan diteliti dalam beberapa tahun terakhir seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ , dan  $\text{ZnO}$ . Nanopartikel  $\text{ZnO}$  paling diminati karena lebih aman dan tidak beracun dibandingkan dengan oksida logam lainnya [1].

Penambahan atom lain ke dalam bahan semikonduktor disebut sebagai *doping*. *Doping*-an material semikonduktor dengan logam transisi merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan konduktivitas material tersebut. Logam perak (Ag) merupakan bahan *pen-doping* yang cocok untuk  $\text{ZnO}$  dalam meningkatkan aktivitas fotokatalitik [2]. Umumnya, sintesis nanopartikel dilakukan secara kimia dan fisika seperti metode kimia mikro-emulsi, *pulsed laser deposition*, *moleculer bean epitaxy*, dan penguapan termal yang memberikan efek racun karena penggunaan bahan kimia yang berbahaya dan membutuhkan biaya yang cukup mahal dan menggunakan teknik yang sulit [3].

Saat ini sintesis nanopartikel secara biologis yang menggunakan ekstrak tanaman telah menjadi perhatian para peneliti dan ilmuwan karena tekniknya yang sederhana, ramah lingkungan, serta tidak beracun dan menggunakan biaya yang rendah. Penggunaan ekstrak tanaman dapat berperan sebagai reduktor, stabilisator, serta *capping agent* dalam pembuatan nanopartikel [4]. Kulit *Ananas Comosus* juga mengandung senyawa metabolit sekunder yaitu flavonoid, alkaloid, kalsium, posfor serta vitamin (A dan C). Senyawa metabolit yang terkandung dalam *Ananas Comosus* mampu mereduksi ion logam maupun logam oksida, serta mengontrol kestabilan nanopartikel selama pertumbuhan [5]. Berdasarkan beberapa hal yang telah dikemukakan, maka pada penelitian ini akan disintesis  $\text{ZnO}$  dan  $\text{ZnO:Ag}$  menggunakan ekstrak kulit buah nanas dengan memvariasikan persentase penambahan Ag.

## METODE PENELITIAN

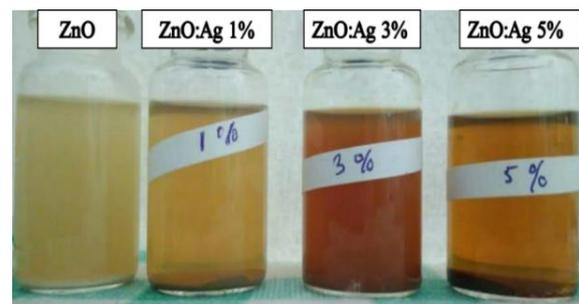
Penelitian ini diawali dengan persiapan alat dan bahan yang digunakan. Pembuatan ekstrak

kulit buah nanas (*Ananas Comosus*) dimulai dengan mengeringkan kulit buah nanas dan dihaluskan kemudian ditimbang menggunakan neraca digital sebanyak 5 gram. Kulit buah nanas dimasukkan kedalam gelas piala yang berisi 500 mL aqua DM dan dipanaskan hingga suhu mencapai 80 °C stabil di *stirrer*. Larutan ekstrak kulit buah nanas disaring menggunakan kertas *whatman*.

Proses biosintesis nanopartikel  $\text{ZnO}$  murni dan  $\text{ZnO:Ag}$  dilakukan dengan pencampuran 100 mL ekstrak kulit buah nanas dengan larutan prekursor 0,05 M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  dan 0,05 M  $\text{AgNO}_3$  dengan pencampuran langsung. Variasi persentase dari  $\text{AgNO}_3$  terhadap  $\text{ZnO}$  yang akan dilakukan adalah 1%, 3%, dan 5%. Setelah semua larutan tercampur, sampel dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam. Selanjutnya proses pencucian menggunakan sentrifuge sebanyak tiga kali dan dikeringkan. Karakterisasi sampel dilakukan menggunakan Spektroskopi UV-Vis, *X-ray diffraction* (XRD), dan *scanning electron microscopy* (SEM).

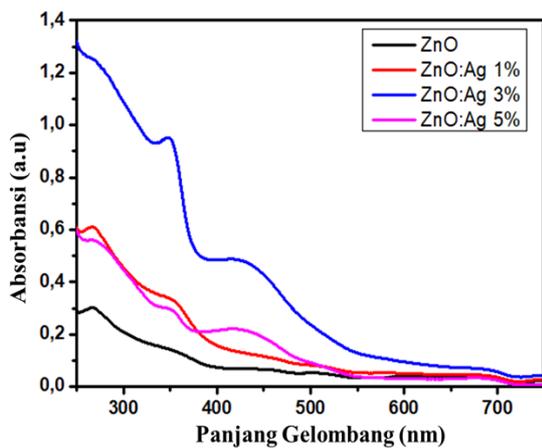
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Warna larutan yang dihasilkan setelah proses biosintesis semakin pekat dengan bertambahnya persentase *doping* Ag yang diberikan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Perubahan warna larutan yang terjadi diakibatkan larutnya Ag selama proses biosintesis. Semakin tinggi persentase *doping* Ag yang diberikan, maka warna larutan berubah menjadi warna coklat muda dan coklat tua.

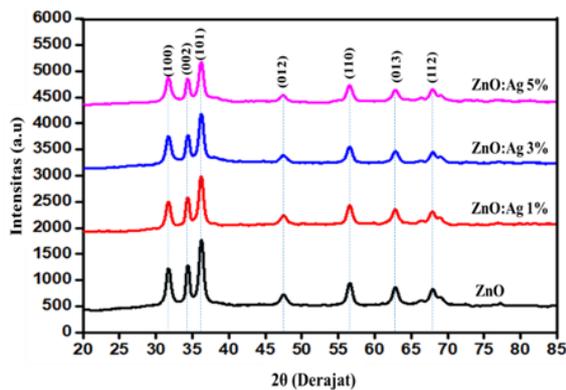


**Gambar 1.** Hasil biosintesis nanopartikel  $\text{ZnO}$  dan  $\text{ZnO:Ag}$ .

Pada Gambar 2, spektrum UV-Vis menunjukkan bahwa setiap sampel nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag terdapat puncak penyerapan optik pada panjang gelombang 267 nm dan 347 nm dan puncak penyerapan optik bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih tinggi seiring bertambahnya *doping* Ag yang diberikan. Sampel yang di-*doping* Ag masih terbentuk puncak penyerapan optik pada panjang gelombang diatas 400 nm.



**Gambar 2.** Spektrum penyerapan UV-Vis nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag.



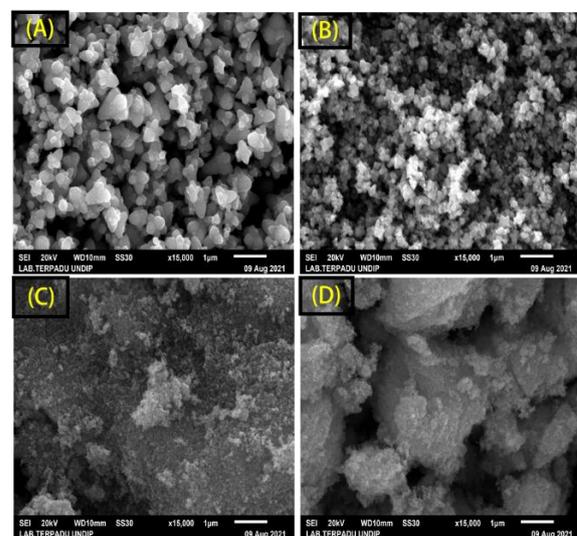
**Gambar 3.** Pola XRD nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag.

Pola XRD nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag ditunjukkan pada Gambar 3. Semua sampel memiliki tujuh puncak difraksi pada sudut  $2\theta$  yaitu:  $31,729^\circ$ ;  $34,397^\circ$ ;  $36,214^\circ$ ;  $47,467^\circ$ ;  $56,541^\circ$ ;  $62,831^\circ$ , dan  $67,922^\circ$ . Hasil analisa sesuai dengan *inorganic crystal structure database* yang memiliki arah orientasi bidang kristal yaitu (100), (002), (101), (012), (110),

(013), dan (112) yang memiliki struktur kristal heksagonal *wurtzite* [6].

Berdasarkan Gambar 3, puncak (101) memiliki intensitas tertinggi (*highest*) daripada puncak lainnya. Pola XRD menunjukkan intensitas masing-masing puncak (101) semakin kecil dengan bertambahnya konsentrasi doping Ag yang diberikan. Ion perak secara sistematis menggantikan ion Zn tanpa mengubah struktur kristalnya [7].

Pemindaian SEM memperlihatkan morfologi sampel mengalami perubahan setelah penambahan doping Ag dimana partikel tersusun oleh gugus-gugus kecil berstruktur heksagonal *wurtzite*. Sampel nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag 1% menyerupai bentuk bunga dan bulan sperikal. Sementara sampel ZnO:Ag 3% dan ZnO:Ag 5% menggambarkan morfologi berbentuk seperti batuan karang, hasil serupa terjadi pada penelitian Saravanadevi *et al.* (2019) [8]. Citra SEM pada sampel tersebut mengalami aglomerasi yang menyebabkan partikel-partikel saling mengelompok membentuk ukuran yang semakin besar. Agregasi kristal kecil berwarna putih keabuan yang menempel diatas sampel, diperkirakan kristal kecil yang merupakan ion logam yang tersebar tidak merata pada permukaan nanopartikel ZnO [9, 10].



**Gambar 5.** (a) Nanopartikel ZnO murni, (b) ZnO:Ag 1%, (c) Nanopartikel ZnO:Ag 3%, dan (d) ZnO:Ag 5%.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, biosintesis nanopartikel ZnO dan ZnO:Ag 1%, 3% dan 5% memperoleh warna larutan yang berbeda setiap sampel. Penambahan *doping* Ag mempengaruhi puncak penyerapan yang bergeser ke arah panjang gelombang lebih tinggi. Pola difraksi sinar-X memperlihatkan bahwa doping Ag mempengaruhi ukuran kristalin dimana ukuran kristal terendah terjadi pada sampel ZnO murni dan ukuran kristal tertinggi diperoleh sampel ZnO:Ag 3%. Karakterisasi SEM menunjukkan doping Ag berpengaruh terhadap morfologi nanopartikel ZnO.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada *Asian Development Bank* (ADB) melalui projek *Advanced Knowledge and Skills for Sustainable Growth in Indonesia* (AKSI) UNRI yang menyediakan dana Program Riset Penelitian Mahasiswa Tahun Anggaran 2021 untuk Rita Meldayani Hasibuan.

## REFERENSI

1. Kumar, S., Singh, V., & Tanwar, A. (2016). Structural, morphological, optical and photocatalytic properties of Ag-doped ZnO nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **27**(2), 2166–2173.
2. Kim, J. S., Kuk, E., Yu, K. N., Kim, J. H., Park, S. J., Lee, H. J., Kim S. H., Park Y. K., Park Y. H., Hwang C. Y., Kim Y. K., & Cho, M. H. (2007). Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, biology and medicine*, **3**(1), 95–101.
3. Agarwal, H., Kumar, S. V., & Rajeshkumar, S. (2017). A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles—An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, **3**(4), 406–413.
4. Rini, A. S., Adzani, H., Husain, T. L., Deraf, M. P., Rati, Y., & Hamzah, Y. (2021, March). Structural and morphological studies of silver nanoparticles prepared using *Citrullus lanatus* rind extract. *AIP Conference Proceedings*, **2320**(1), 030010.
5. Sari, M., Rati, Y., Linda, T. M., Hamzah, Y., & Rini, A. S. (2021). Biosynthesis of ZnO Micro-Nanoflower with Ananas comosus Peel Extract. *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(4), 84–87.
6. Chauhan, R., Kumar, A., Chaudhary, R. P., & Education, T. (2010). Synthesis and characterization of silver doped ZnO nanoparticles. *Archives of Applied Science Research*, **2**(5), 378–385.
7. Chitradevi, T., Lenus, A. J., & Jaya, N. V. (2019). Structure, morphology and luminescence properties of sol-gel method synthesized pure and Ag-doped ZnO nanoparticles. *Materials Research Express*, **7**(1), 015011.
8. Saravanadevi, K., Kavitha, M., Karpagavinayagam, P., Saminathan, K., & Vedhi, C. (2020). Biosynthesis of ZnO and Ag doped ZnO nanoparticles from *Vitis vinifera* leaf for antibacterial, photocatalytic application. *Materials Today: Proceedings*.
9. Sumarti, S., Iwantono, I., & Awitdrus, A. Pengaruh penambahan logam transisi nikel terhadap sifat fisis nanorod ZnO. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 155–159.
10. Della, R. O., & Iwantono, I. Pengaruh penambahan perak pada molekul dye terhadap efisiensi dye sensitized solar cell. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 64–68.



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

## PENGGUNAAN PEMODELAN SUMBER PLASMA HELIUM PADA KEADAAN SETIMBANG UNTUK APLIKASI PLAK GIGI

**Nandita Devira\*, Saktioto**

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [deviranandita06@gmail.com](mailto:deviranandita06@gmail.com)

### ABSTRACT

*Helium plasma source modelling was performed in order to obtain species density at balanced conditions under pressure of 1 atm. The software used in this modelling is matrix laboratory software (MATLAB). The equation used is a continuity equation that depends on the position and parameters of Arrhenius. Plasma temperatures used were 0.1 eV, 0.2 eV, 0.3 eV, and 0.5 eV. Species involved in a plasma consist of electrons, He, He<sup>+</sup>, He<sub>2</sub><sup>+</sup>, He<sup>\*</sup>, and He<sub>2</sub><sup>\*</sup>. The modelling results showed that the density value of He species increases as temperature increases. It is noted that the obtained density of He ( $n_{He}$ ) when reaching a balanced condition at the temperature of  $T = 0.1, 0.2, 0.3,$  and  $0.5$  are  $3.0137 \times 10^{25}, 7.9506 \times 10^{26}, n_{He} = 1.6489 \times 10^{28},$  and  $7.1384 \times 10^{29}$ , respectively. This is because He is a noble gas that is monatomic and chemically inert. Thus resulting in stable plasma production and gaining an increase in density value. Plasma-charged species are the main media that cause the disinfection of microorganisms because they can break the hydrogen bond of the organic molecules that make up the dental plaque. So the influence of charged species when applied to dental plaque has more effective than that of neutral reactive species.*

**Keywords:** Helium Plasma, Modelling, Density, Plasma Temperature, Dental Plaque.

### ABSTRAK

*Pemodelan sumber plasma Helium dilakukan untuk memperoleh densitas spesies pada kondisi setimbang dalam tekanan 1 atm. Software yang digunakan dalam pemodelan ini yakni perangkat lunak Matriks Laboratory (MATLAB). Persamaan yang digunakan adalah persamaan kontinuitas yang bergantung posisi dan parameter Arrhenius. Temperatur plasma yang digunakan adalah 0.1 eV, 0.2 eV, 0.3 eV, dan 0.5 eV. Spesies yang terlibat dalam plasma terdiri dari elektron, He, He<sup>+</sup>, He<sub>2</sub><sup>+</sup>, He<sup>\*</sup>, dan He<sub>2</sub><sup>\*</sup>. Hasil pemodelan menampilkan bahwa nilai densitas spesies He semakin besar seiring dengan kenaikan temperatur. Tercatat bahwa peroleh nilai densitas He saat mencapai kondisi setimbang pada temperatur  $T = 0.1$  eV;  $n_{He} = 3.0137 \times 10^{25}$ ,  $T = 0.2$  eV;  $n_{He} = 7.9506 \times 10^{26}$ ,  $T = 0.3$  eV;  $n_{He} = 1.6489 \times 10^{28}$ ,  $T = 0.5$  eV;  $n_{He} = 7.1384 \times 10^{29}$ . Hal ini disebabkan karena He merupakan gas mulia yang bersifat monatomik dan inert secara kimiawi. Sehingga menghasilkan produksi plasma yang stabil dan memperoleh kenaikan nilai densitas. Spesies bermuatan dalam plasma adalah media utama yang menyebabkan terjadinya desinfeksi pada mikroorganisme. Karena mereka dapat memutuskan ikatan hidrogen dari molekul organik penyusun plak gigi. Sehingga pengaruh spesies bermuatan ketika diaplikasikan untuk plak gigi memiliki peran yang lebih banyak dibandingkan spesies reaktif netral.*

**Kata kunci:** Plasma Helium, Pemodelan, Densitas, Temperatur Plasma, Plak Gigi.

Diterima 12-11-2021 | Disetujui 19-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Istilah plasma pertama kali diperkenalkan oleh Irving Langmuir (1881-1957) untuk menggambarkan bagian muatan-netral dari pelepasan gas. Plasma mengacu pada gas terionisasi penuh atau sebagian yang terdiri dari

elektron dan ion [1]. Plasma disebut sebagai materi keempat dari bentuk materi lainnya yaitu cair, gas, dan padat. Plasma dapat ditemukan keberadaannya di alam dan plasma buatan yang dapat dihasilkan secara eksperimen. Plasma dihasilkan menggunakan metode

diantaranya *dielectric barrier discharge*, *atmospheric pressure plasma jet*, jarum plasma, dan *pencil plasma*. Gas yang digunakan untuk menghasilkan plasma seperti Helium, Hidrogen, Argon, Nitrogen, Heliox (campuran antara gas Helium dengan Oksigen), dan udara.

Aplikasi plasma tekanan atmosfer pada bidang material, yakni polimerisasi plasma menggunakan metode *plasma enhanced-chemical vapor deposition* dan modifikasi permukaan material [2]. Aplikasi Plasma dalam bidang lingkungan yaitu dalam produksi ozon, Pembersihan gas polutan seperti gas nitrogen, belerang dioksida, pemurnian air dan pengolahan limbah industri [3]. Selain itu plasma dapat diaplikasikan dalam bidang kedokteran gigi untuk sterilisasi gigi dan pembersihan plak gigi [4].

Plak gigi merupakan kumpulan dari mikroorganisme yang berkembang biak membentuk suatu lapisan lunak dan melekat pada permukaan gigi, yang dapat menyebabkan gigi berlubang dan peradangan pada gusi atau gingivitis [5]. Pada tahun 2010, Lee melakukan penelitian pembersihan permukaan gigi dan dentin menggunakan plasma jet tekanan atmosfer dengan gas pembentuk plasma yakni Helium [6]. Penggunaan gas Helium dalam pembentukan plasma karena Helium merupakan gas mulia yang bersifat monatomik dan inert secara kimiawi. Sehingga menghasilkan produksi plasma yang stabil. Keunggulan Penggunaan Helium dibandingkan dengan gas lainnya yakni Helium dapat menginduksi ionisasi pada tegangan yang lebih rendah [7].

Penelitian ini memaparkan pemodelan sumber plasma Helium pada keadaan setimbang untuk aplikasi plak gigi. Keadaan setimbang plasma Helium akan ditinjau dari perolehan nilai densitas spesies terhadap posisi pada tekanan atmosfer. Nilai densitas spesies dapat dihitung menggunakan model kinetik kimia dengan persamaan dasar persamaan kontinuitas. Metode Runge-Kutta digunakan sebagai solusi penyelesaian persamaan kontinuitas bergantung posisi. Hal ini

dikarenakan metode yang diterapkan memiliki penyelesaian persamaan differensial dengan *truncation error* yang lebih kecil. *Software* yang digunakan dalam pemodelan sumber plasma Helium untuk mencapai kondisi setimbang yakni perangkat lunak *matriks laboratory* (MATLAB). Pada penelitian ini penulis menganalisis plasma Helium untuk aplikasi plak gigi yang ditinjau dari hubungan interaksi yang terjadi antara spesies plasma Helium dengan bakteri penyusun plak gigi. Spesies yang terlibat dalam plasma Helium berjumlah 6 spesies diantaranya elektron, ion Helium, ion Helium diatomik, Helium metastabil dan excimers Helium yang masing-masing spesies tersebar dalam 17 reaksi.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Plasma

Sebuah plasma yang dihasilkan dari pelepasan listrik bertegangan tinggi dalam gas, mengandung elektron, ion bebas, spesies reaktif, atom molekul tereksitasi dan foton UV energik [8]. Klasifikasi plasma dikelompokkan berdasarkan derajat ionisasi, keadaan setimbang dan temperatur plasma.

### Model Kinetik Plasma

Persamaan yang terdapat dalam model kinetik plasma terdiri dari persamaan kontinuitas spesies, persamaan Arrhenius, persamaan laju reaksi reaksi dan persamaan laju produksi reaksi per satuan volume untuk setiap spesies.

#### *Persamaan Kontinuitas Spesies*

Nilai densitas spesies diperoleh dengan menyelesaikan persamaan kontinuitas ditinjau terhadap posisi menggunakan metode pendekatan Runge-Kutta:

$$\frac{dn}{dx} = S \quad (1)$$

dimana perubahan densitas terhadap posisi pada kondisi setimbang bergantung pada laju produksi spesies per satuan volume (S).

**Tabel 1.** Data reaksi plasma helium.

Reaksi	Laju Reaksi	Energi (eV)	Referensi
$e + He \rightarrow He^+ + e + e$	$1.5 \times 10^{-9} T_e^{0.6} e^{-24.6/T_e}$	0	[9]
$He^+ + e + e \rightarrow He + e$	$7.0 \times 10^{-27} T_e^{-4.5}$	24.6	[10]
$e + He^* \rightarrow 2e + He^+$	$4.661 \times 10^{-16} T_e^{0.6} e^{-4.78/T_e}$	4.78	[11]
$e + e + He^+ \rightarrow He^* + e$	$6.0 \times 10^{-20} T_e^{-4.0}$	0	[9]
$e + He_2^* \rightarrow 2e + He_2^+$	$9.75 \times 10^{-10} T_e^{0.71} e^{-3.94/T_e}$	3.4	[12]
$e + e + He_2^+ \rightarrow He_2^* + e$	$3.0 \times 10^{-32} T_e^{-4.0}$	0	[9]
$e + He_2^+ \rightarrow He_2^*$	$1.5 \times 10^{-16}$	0	[9]
$2He^* \rightarrow He_2^+ + e$	$2.03 \times 10^{-9} (T_g/300)^{0.5}$	0	[13]
$e + He \rightarrow He^* + e$	$2.308 \times 10^{-10} T_e^{0.31} e^{-2.297 \times 10^5 / T_e}$	19.8	[14]
$e + He^* \rightarrow He + e$	$1.099 \times 10^{-11} T_e^{0.31}$	0.0	[14]
$e + He \rightarrow He^+ + 2e$	$2.584 \times 10^{-12} T_e^{0.68} e^{-2.854092 \times 10^5 / T_e}$	24.6	[14]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$e + He^* \rightarrow He^+ + 2e$	$4.661 \times 10^{-10} T_e^{0.6} e^{-5.546 \times 10^4 / T_e}$	4.78	[14]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$He^+ + He + e \rightarrow He^* + He$	$2.5 \times 10^{-29} T_e^{-1.5}$	19.8	[10]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$He^* + He^* \rightarrow He^+ + He + e$	$2.7 \times 10^{-10}$	15	[14]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$He_2^+ + e + e \rightarrow He^* + He + e$	$3.0 \times 10^{-27} T_e^{-4.5}$	19.8	[10]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$2e + He_2^+ \rightarrow e + He^*$	$6.186 \times 10^{-39} T_e^{-4.4}$	0	[12]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-
$e + He^+ \rightarrow He^*$	$6.76 \times 10^{-7} T_e^{-0.5}$	0	[9]
Data reaksi balik tidak tersedia	-	-	-

*Persamaan Arrhenius*

Persamaan Arrhenius digunakan untuk menggambarkan konstanta laju ( $k_j$ ) sebagai fungsi temperatur yang dapat ditulis seperti persamaan berikut.

$$\langle k_j \rangle = \alpha_j \left( \frac{T_{(reaksi)}}{300} \right)^{\beta_j} \exp \left( \frac{-\gamma_j}{T_{(reaksi)}} \right) \quad (2)$$

$T_{(reaksi)} = T_e$  di mana  $T_e$  adalah suhu elektron, sebaliknya jika  $T_{(reaksi)} = T_i$  di mana  $T_i$  adalah suhu tertinggi reaktan. Beta ( $\beta$ ) merupakan eksponen suhu dalam faktor pra-eksponensial. Gamma ( $\gamma$ ) adalah energi aktivasi untuk reaksi dalam K. Alfa ( $\alpha$ ) memiliki dimensi yang sama dengan k (koefisien laju reaksi). Konstanta laju reaksi pada suhu tertentu memungkinkan laju reaksi dihitung jika diketahui densitas spesies.

### Persamaan Laju Reaksi

Untuk menentukan nilai laju reaksi maju dan laju reaksi balik digunakan persamaan:

$$R_f = k_f (n_A)^a (n_B)^b \quad (3)$$

$$R_r = k_r (n_C)^c (n_D)^d \quad (4)$$

dimana A, B, C dan D merupakan spesies yang terdapat dalam reaksi dan n adalah densitas spesies. Jumlah molekul dari masing-masing pereaksi dan hasil reaksi disimbolkan dengan a, b, c, dan d.

### Persamaan Laju Produksi Spesies

Laju produksi spesies per satuan volume untuk setiap reaksi dapat dihitung pada Persamaan:

$$S = (M_r - N_f)(R_f - R_r) \quad (5)$$

Dimana  $M_r$  dan  $N_f$  merupakan jumlah molekul spesies hasil reaksi dan pereaksi.

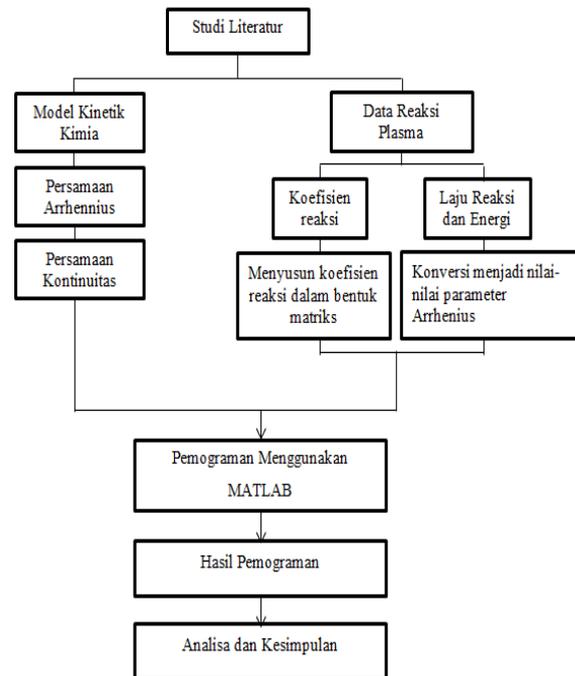
### Kimia Plasma

Reaksi kimia yang terdapat dalam plasma Helium dan laju reaksi nya ditunjukkan pada Tabel 1.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara komputasi menggunakan *software* MATLAB R2016. Data reaksi plasma Helium diperoleh dari berbagai referensi yang tertera pada Tabel 1. Terdapat 17 data reaksi plasma Helium yang berisikan nilai laju reaksi dan energi yang dihasilkan dari reaksi. Spesies yang terlibat dalam plasma Helium yakni, elektron, Helium (He), ion Helium ( $\text{He}^+$ ), ion Helium diatomik ( $\text{He}_2^+$ ), atom Helium metastabil ( $\text{He}^*$ ) dan excimers Helium ( $\text{He}_2^*$ ). Data reaksi ini digunakan untuk menentukan nilai densitas

plasma Helium pada kondisi setimbang yang ditinjau terhadap posisi. Pemodelan ini dibuat dalam program format M-file yang terdiri dari 4 program diantaranya program data utama dan program data masukan. Program data utama diberi nama thequilb.m dan dlndt.m untuk program data masukan diberi nama phycon.m dan thdata.m.



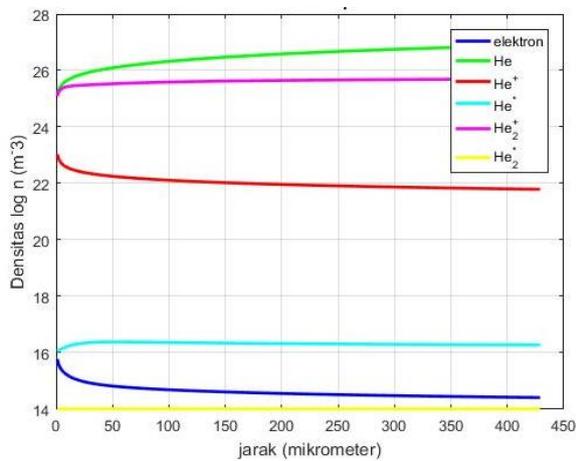
**Gambar 1.** Diagram alir penelitian.

Pada M-File phycon.m berisikan parameter fisika yang digunakan. Program M-File thdata.m berisikan koefisien reaksi, parameter Arrhenius ( $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ ) dan nilai-nilai input yang tertera pada Tabel 2. Nilai parameter Arrhenius diperoleh dari nilai laju reaksi dari referensi yang dikonversikan menjadi nilai-nilai dari  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$ . M-File dlndt.m adalah program data utama yang digunakan untuk penyelesaian matematika dari Persamaan 5. Program M-File thequilb.m digunakan untuk mencari nilai densitas dari masing-masing spesies plasma Helium pada keadaan setimbang. Program ini akan melakukan iterasi sampai berada dalam kondisi setimbang dan memplot grafik perubahan densitas spesies Helium, grafik proses iterasi dan grafik masing-masing spesies plasma Helium.

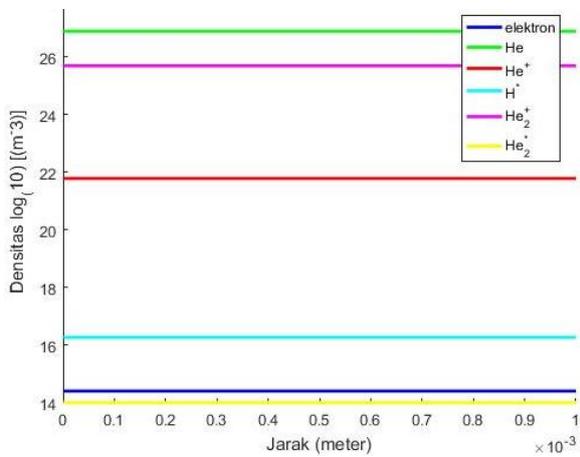
**Tabel 2.** Daftar nilai input.

Parameter	Spesies					
	Elektron	He	He <sup>+</sup>	He <sup>*</sup>	He <sub>2</sub> <sup>+</sup>	He <sub>2</sub> <sup>*</sup>
Nilai awal densitas (m <sup>-3</sup> )	1 × 10 <sup>17</sup>	1 × 10 <sup>24</sup>	1 × 10 <sup>24</sup>	1 × 10 <sup>16</sup>	1 × 10 <sup>24</sup>	1 × 10 <sup>14</sup>
Nomor massa (amu)	0	4,0026	4,00026	4,00026	8,00052	8,00052
Muatan (e)	-1	0	1	0	1	0
Temperatur (eV)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Tekanan (N/m <sup>2</sup> )	1 × 10 <sup>5</sup>					
Interval jarak (m)	1 × 10 <sup>-6</sup> – 1 × 10 <sup>-3</sup>					

**HASIL DAN PEMBAHASAN**



(a)



(b)

**Gambar 2.** Hasil pemodelan plasma perubahan densitas plasma Helium pada: (a) temperatur 2 eV dan (b) kesetimbangan 1 atm.

Hasil pemodelan plasma Helium untuk menentukan nilai densitas masing-masing

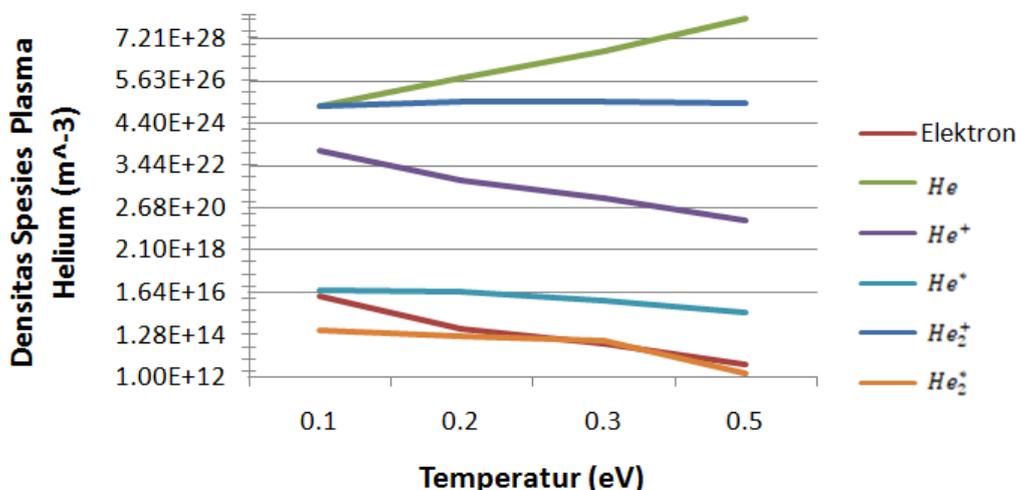
spesies ditunjukkan pada Gambar 2 (a) dan (b). Pada pemodelan ini, temperatur spesies dalam plasma Helium yang digunakan yakni 0.1 eV, 0.2 eV, 0.3 eV, dan 0.5 eV. Gambar a menunjukkan grafik perubahan densitas spesies plasma Helium pada temperatur 0.2 eV. Pada Gambar 2 (a) terlihat bahwa spesies Helium tereksitasi tidak mengalami perubahan nilai densitas selama proses iterasi berlangsung. Hal yang mempengaruhi terjadinya perubahan densitas spesies plasma Helium yaitu nilai masukan parameter Arrhenius, alfa, beta, dan gamma. Gambar 2 (b) menunjukkan grafik densitas spesies helium pada kesetimbangan termodinamik 1 atm. Spesies plasma Helium mencapai kondisi setimbang pada iterasi ke 429 dengan selisih densitas spesies sebesar 0.001. Sehingga diperoleh titik posisi kesetimbangan plasma Helium berada pada jarak  $4.29 \times 10^{-4}$  m sampai  $10^{-3}$  m.

Hasil pemodelan densitas plasma helium pada kondisi setimbang dengan variasi temperatur ditunjukkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa spesies Helium mengalami kenaikan nilai densitas seiring dengan bertambah temperatur. Hal ini disebabkan karena Helium merupakan gas mulia yang bersifat monatomik dan inert secara kimiawi. Sehingga menghasilkan produksi plasma yang stabil dan memperoleh kenaikan nilai densitas seiring dengan pertambahan temperatur. Spesies plasma Helium yang mengalami penurunan nilai densitas jika temperatur

plasma dinaikkan yakni, elektron, ion Helium ( $\text{He}^+$ ), ion Helium diatomik ( $\text{He}_2^+$ ), atom Helium metastabil ( $\text{He}^*$ ) dan excimers Helium ( $\text{He}_2^*$ ). Nilai parameter Arrhenius menjadi salah satu faktor yang menyebabkan besar atau kecilnya nilai densitas spesies jika temperatur divariasikan. Densitas spesies plasma akan bernilai besar jika,  $\alpha >$ ,  $\beta >$ , dan  $\gamma <$ . Sebaliknya densitas spesies plasma akan bernilai kecil jika,  $\alpha <$ ,  $\beta <$ , dan  $\gamma >$ .

Pemodelan menentukan nilai densitas plasma pada keadaan setimbang dengan temperatur yang divariasikan mengalami perbedaan dalam mendapatkan posisi kesetimbangan. Pada temperatur 0.1 eV atau 1160 K kondisi setimbang spesies plasma

berada pada iterasi ke-230. Pada temperatur 0.2 eV atau 2320 K kondisi setimbang spesies plasma berada pada iterasi ke-429. Pada temperatur 0.3 eV atau 3480 K kondisi setimbang spesies plasma berada pada iterasi ke-473. Pada temperatur 0.5 eV atau 5800 K kondisi setimbang spesies plasma berada pada iterasi ke-476. Perbedaan temperatur akan mempengaruhi laju reaksi spesies plasma, sehingga perolehan nilai reaksi maju dan reaksi balik akan berbeda. Semakin besar temperatur akan membuat tumbukan antar spesies semakin cepat. Hal ini yang mempengaruhi nilai densitas spesies plasma Helium dan perbedaan posisi kesetimbangan plasma Helium.



Gambar 3. Perubahan nilai densitas plasma Helium dengan variasi temperatur.

### Analisis Hubungan Spesies Plasma Helium terhadap Aplikasi Plak Gigi

Plak gigi merupakan kumpulan dari mikroorganisme yang berkembang biak membentuk suatu lapisan lunak dan melekat pada permukaan gigi. Plak gigi tersusun atas kumpulan mikroba dan matriks polimer yang berasal dari bakteri S. Mutan. Plak gigi terdiri dari kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) dan fosfat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Plasma Helium digunakan untuk desinfeksi plak gigi. Pada plasma Helium terdapat spesies bermuatan diantaranya elektron, ion helium dan ion Helium diatomik serta spesies reaktif Helium dan spesies Helium yang tereksitasi. Elektron

dan ion dalam plasma merupakan media utama yang menyebabkan terjadinya desinfeksi pada mikroorganisme. Karena mereka dapat memutuskan ikatan hidrogen dari molekul organik penyusun plak gigi. Elektron memiliki fluks dan kedalaman penetrasi yang tinggi. Hal ini membuat elektron aktif dibawah lapisan air atau dalam cairan biologis lainnya yang menutupi permukaan jaringan hidup.

### KESIMPULAN

Nilai parameter Arrhenius menjadi salah satu faktor yang menyebabkan besar atau kecilnya nilai densitas spesies jika temperatur

divariasikan. Densitas spesies plasma akan bernilai besar jika  $\alpha >$ ,  $\beta >$ , dan  $\gamma <$ . Sebaliknya densitas spesies plasma akan bernilai kecil jika  $\alpha <$ ,  $\beta <$ , dan  $\gamma >$ . Spesies yang paling dominan dalam proses interaksi berlangsung yakni ion Helium, ion Helium diatomik dan elektron. Hal ini dikarenakan dalam proses interaksi yang terjadi spesies bermuatan dalam plasma memiliki peran lebih banyak daripada spesies netral dan spesies tereksitasi, disamping dengan menggunakan jenis gas yang dipakai untuk menghasilkan plasma.

### 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. Piel, A. (2017). *Plasma physics: an introduction to laboratory, space, and fusion plasmas*. Berlin: Springer.
2. Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., & Van der Mullen, J. (2002). Gas discharge plasmas and their applications. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, **57**(4), 609–658.
3. Weltmann, K. D., Kolb, J. F., Holub, M., Uhrlandt, D., Šimek, M., Ostrikov, K., Hamaguchi, S., Cvelbar, U., Černák, M., Locke, B., Fridman, A., & Becker, K. (2019). The future for plasma science and technology. *Plasma Processes and Polymers*, **16**(1), 1800118.
4. Singh, S., Chandra, R., Tripathi, S., Rahman, H., Tripathi, P., Jain, A., & Gupta, P. (2014). The bright future of dentistry with cold plasma—review. *J Dent Med Sci*, **13**, 6–13.
5. Wiradona, I., Widjanarko, B., & Syamsulhuda, B. M. (2013). Pengaruh perilaku menggosok gigi terhadap plak gigi pada siswa kelas IV dan V di SDN Wilayah Kecamatan Gajahmungkur Semarang. *Jurnal Promosi Kesehatan Indonesia*, **8**(1), 59–68.
6. Lee, H. W., Nam, S. H., Mohamed, A. A. H., Kim, G. C., & Lee, J. K. (2010). Atmospheric pressure plasma jet composed of three electrodes: application to tooth bleaching. *Plasma Processes and Polymers*, **7**(3-4), 274–280.
7. Jawaid, P., Rehman, M. U., Zhao, Q. L., Takeda, K., Ishikawa, K., Hori, M., Shimizu, T., & Kondo, T. (2016). Helium-based cold atmospheric plasma-induced reactive oxygen species-mediated apoptotic pathway attenuated by platinum nanoparticles. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, **20**(9), 1737–1748.
8. Sladek, R. E., Stoffels, E., Walraven, R., Tielbeek, P. J., & Koolhoven, R. A. (2004). Plasma treatment of dental cavities: a feasibility study. *IEEE Transactions on plasma science*, **32**(4), 1540–1543.
9. Murakami, T., Niemi, K., Gans, T., O'Connell, D., & Graham, W. G. (2012). Chemical kinetics and reactive species in atmospheric pressure helium–oxygen plasmas with humid-air impurities. *Plasma Sources Science and Technology*, **22**(1), 015003.
10. Petrova, T. B., Petrov, G. M., Boris, D. R., & Walton, S. G. (2017). Non-equilibrium steady-state kinetics of He-air atmospheric pressure plasmas. *Physics of Plasmas*, **24**(1), 013501.

11. Liu, Y., Tan, Z., Chen, X., Li, X., Wang, X., Zhang, H., & Pan, J. (2018). An investigation of the control of electron energy in the atmospheric-pressure helium plasma jet. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **46**(8), 2865-2880.
12. Wang, L., Zheng, Y., & Jia, S. (2016). Numerical study of the interaction of a helium atmospheric pressure plasma jet with a dielectric material. *Physics of Plasmas*, **23**(10), 103504.
13. Liu, D. X., Bruggeman, P., Iza, F., Rong, M. Z., & Kong, M. G. (2010). Global model of low-temperature atmospheric-pressure He+ H<sub>2</sub>O plasmas. *Plasma Sources Science and Technology*, **19**(2), 025018.
14. Yuan, X., & Raja, L. L. (2003). Computational study of capacitively coupled high-pressure glow discharges in helium. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **31**(4), 495-503.



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

## SIKLIS VOLTAMETRI SEL SUPERKAPASITOR DARI BIOMASSA PELEPAH SALAK

**Rakhmawati Farma\*, Amalia Apriliani Putri, Irma Apriyani**

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [rakhmawati.farma@lecturer.unri.ac.id](mailto:rakhmawati.farma@lecturer.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*Snake fruit midrib (SFM) biomass has the potential to be used as a precursor material for making carbon electrodes because it has a high lignocellulosic content for supercapacitor applications. Carbon electrodes were made from snake fruit midrib biomass using a pre-carbonization process at 200 °C, chemical activation with 0.1 M KOH as an activating agent, a carbonization process with temperature variations of 500 °C, 600 °C, and 700 °C using N<sub>2</sub> gas, and a physical activation process at 800 °C with CO<sub>2</sub> gas. Thermogravimetric analysis shows the thermal resistance temperature of carbon powder is 317.1 °C. Analysis of the electrochemical properties of supercapacitor cells from snake fruit midrib obtained specific capacitance values of 123.23 F/g, 169.05 F/g, and 213.27 F/g for samples SFM-500, SFM-600, and SFM-700, respectively. The results showed that 700 °C was the best carbonization temperature for carbon electrodes from snake fruit midrib.*

**Keywords:** Carbon Electrode, Snake Fruit Midrib, Carbonization Temperature, Cell Supercapacitor.

### ABSTRAK

*Biomassa pelepah salak (SFM) berpotensi dijadikan bahan dasar pembuatan elektroda karbon, karena memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi untuk aplikasi superkapasitor. Pembuatan elektroda karbon dari biomassa pelepah salak melalui proses pra-karbonisasi pada suhu 200 °C, aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif KOH 0,1 M, proses karbonisasi dengan variasi suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C menggunakan aliran gas N<sub>2</sub>, dan proses aktivasi fisika dengan suhu 800 °C menggunakan aliran gas CO<sub>2</sub>. Analisis termogravimetri menunjukkan suhu tahanan termal serbuk karbon adalah 317,1 °C. Analisis sifat elektrokimia sel superkapasitor dari pelepah salak memperoleh nilai kapasitansi spesifik sebesar 123,23 F/g, 169,05 F/g, and 213,27 F/g untuk masing-masing sampel SFM-500, SFM-600, dan SFM-700. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu 700 °C merupakan suhu karbonisasi terbaik untuk elektroda karbon dari biomassa pelepah salak.*

**Kata kunci:** Elektroda Karbon, Pelepah Salak, Suhu Karbonisasi, Superkapasitor.

Diterima 30-11-2021 | Disetujui 12-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Permintaan konsumsi energi secara global mengalami peningkatan dalam beberapa dekade mendatang [1]. Eksploitasi besar-besaran dalam beberapa dekade terakhir menyebabkan cadangan bahan bakar fosil global mengalami penipisan [2]. Alternatif yang paling menarik yang sedang dikembangkan untuk menyelesaikan krisis energi adalah perangkat penyimpan energi dan sumber energi terbarukan

[3]. Piranti penyimpan energi elektrokimia seperti sel bahan bakar, superkapasitor dan baterai lithium generasi kedua telah menunjukkan harapan besar dalam memungkinkan pemanfaatan energi yang dihasilkan dari sumber-sumber baru seperti matahari dan angin [4]. Superkapasitor memiliki banyak keunggulan, diantaranya pengisian daya yang lebih cepat, masa pakai yang tidak terbatas, dan tidak beracun [5].

Superkapasitor terdiri dari empat komponen utama yaitu pengumpul arus, pemisah (separator), elektrolit, dan elektroda. Superkapasitor dapat diisi atau dikosongkan hanya dalam beberapa detik, menghasilkan serapan atau pengiriman kepadatan daya yang sangat tinggi (10 kW/kg). Superkapasitor didasarkan pada teknologi karbon yang digunakan untuk menghasilkan area permukaan yang besar dengan jarak pemisah yang kecil [6].

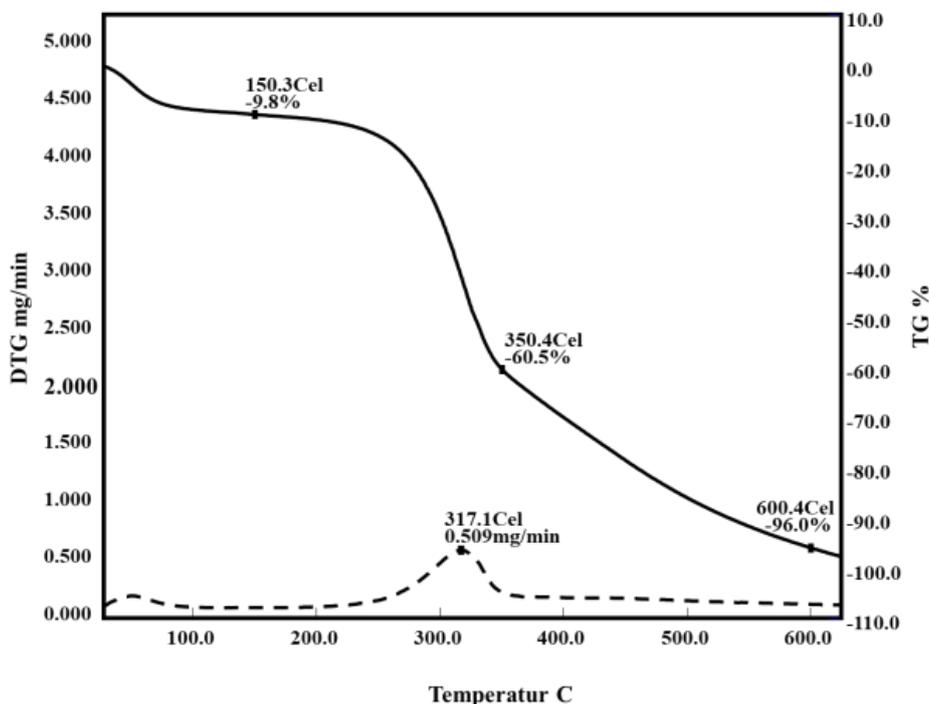
Salah satu cara untuk meningkatkan kerapatan daya superkapasitor dibutuhkan pengembangan bahan elektroda berkinerja tinggi [7]. Bahan berbasis karbon aktif lebih diminati karena memiliki luas permukaan yang besar, struktur berpori yang dapat disesuaikan, dan konduktivitas listrik yang tinggi [8]. Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai biomassa diantaranya adalah pelepah aren [9], cangkang udang [10], dan pelepah kelapa sawit [11].

Pada penelitian ini pembuatan karbon aktif berbahan asal dari pelepah salak. Pelepah salak mengandung lignin, selulosa dan hemiselulosa [12], sehingga dapat dijadikan bahan asal pembuatan elektroda karbon sel superkapasitor. Pembuatan elektroda karbon melalui proses yaitu pra-karbonisasi, aktivasi

kimia, karbonisasi, dan aktivasi fisika. Aktivator kimia yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH), karbonisasi menggunakan gas N<sub>2</sub>, dan aktivasi fisika menggunakan gas CO<sub>2</sub>.

## METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian menjelaskan tentang proses pembuatan elektroda karbon dari biomassa pelepah salak. Biomassa pelepah salak dikeringkan di bawah sinar matahari hingga massa konstan. Pelepah salak kemudian dipra-karbonisasi menggunakan oven dengan suhu 200 °C selama 1 jam. Sampel selanjutnya dihaluskan menggunakan mortar dan *ball milling*. Proses selanjutnya yaitu aktivasi kimia menggunakan KOH 0,1 M. Sampel kemudian dikeringkan dengan suhu 110 °C. Sampel yang telah kering dicetak menggunakan hydraulic jack dengan tekanan sebesar 7 ton, kemudian dikarbonisasi dengan variasi suhu 500 °C, 600 °C, dan 700 °C dengan aliran gas N<sub>2</sub>. Sampel selanjutnya diaktivasi secara fisika pada suhu 800 °C menggunakan gas CO<sub>2</sub>. Selanjutnya sifat elektrokimia dari elektroda karbon diuji menggunakan siklus voltametri.



Gambar 1. Kurva TGA.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Thermogravimetric Analysis (TGA)

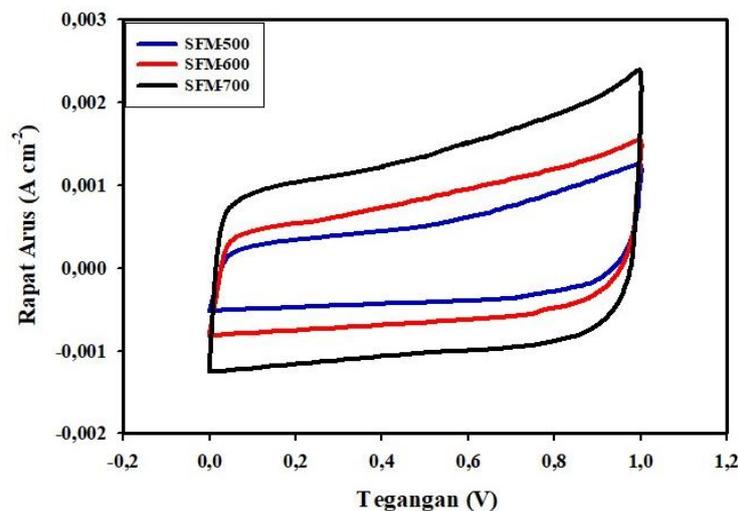
TGA adalah metode analisis termal yang digunakan untuk suhu tahan sampel yang berfungsi untuk mendapatkan hasil yang optimal pada proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Gambar 1 menunjukkan kurva hasil pengukuran menggunakan TGA. Serbuk karbon mengalami penyusutan massa tahap awal sebesar 9,8% pada suhu 150,3 °C yang disebabkan oleh penguapan senyawa H<sub>2</sub>O yang terdapat pada sampel. Penyusutan massa tahap kedua terjadi pada suhu 150,3 °C - 350,4 °C sebanyak 60,5%, hal ini disebabkan oleh mulai terurainya senyawa kompleks seperti lignin, selulosa dan hemiselulosa menjadi karbon. Tahap terakhir sampel mengalami penyusutan terbesar pada suhu 350,4 °C - 600,4 °C yaitu sebanyak 96,0%.

*Differential thermogravimetry* menunjukkan penyusutan massa maksimum. Penyusutan massa maksimum terjadi pada suhu 317,1 °C dengan laju penurunan sebesar 0,0509 mg/min. Penyusutan ini disebabkan oleh dekomposisi senyawa selulosa, hemiselulosa dan lignin secara bersamaan.

Hemiselulosa mengalami dekomposisi pada suhu 220 °C - 315 °C, selulosa mengalami dekomposisi pada suhu 315 °C - 400 °C dan lignin mengalami dekomposisi pada suhu 150 °C - 900 °C [13].

### Analisa Cyclic Voltammetry (CV)

Karakterisasi sifat elektrokimia menggunakan CV dilakukan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor dari biomassa pelepah salak. Gambar 2 menunjukkan kurva Siklis voltagram dari sampel SFM-500, SFM-600, dan SFM-700.



Gambar 2. Kurva CV dengan laju pemindaian 1 mV/s.

Pada Gambar 2 terlihat bahwa sampel SFM-700 menghasilkan kurva yang lebih besar, diikuti sampel SFM-600 dan SFM-500. Luas kurva yang terbentuk oleh arus pengisian ( $I_c$ ) dan arus pengosongan ( $I_d$ ) mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik, semakin besar luas kurva yang dibentuk maka semakin besar nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan [14]. Arus pengisian ( $I_c$ ) merupakan arus yang terukur pada saat superkapasitor mengalami proses pengisian muatan yang ditandai dengan kurva

bagian ke atas dan arus pengosongan ( $I_d$ ) merupakan arus yang terukur pada saat superkapasitor mengalami proses pengosongan muatan yang ditandai dengan kurva bagian bawah [11].

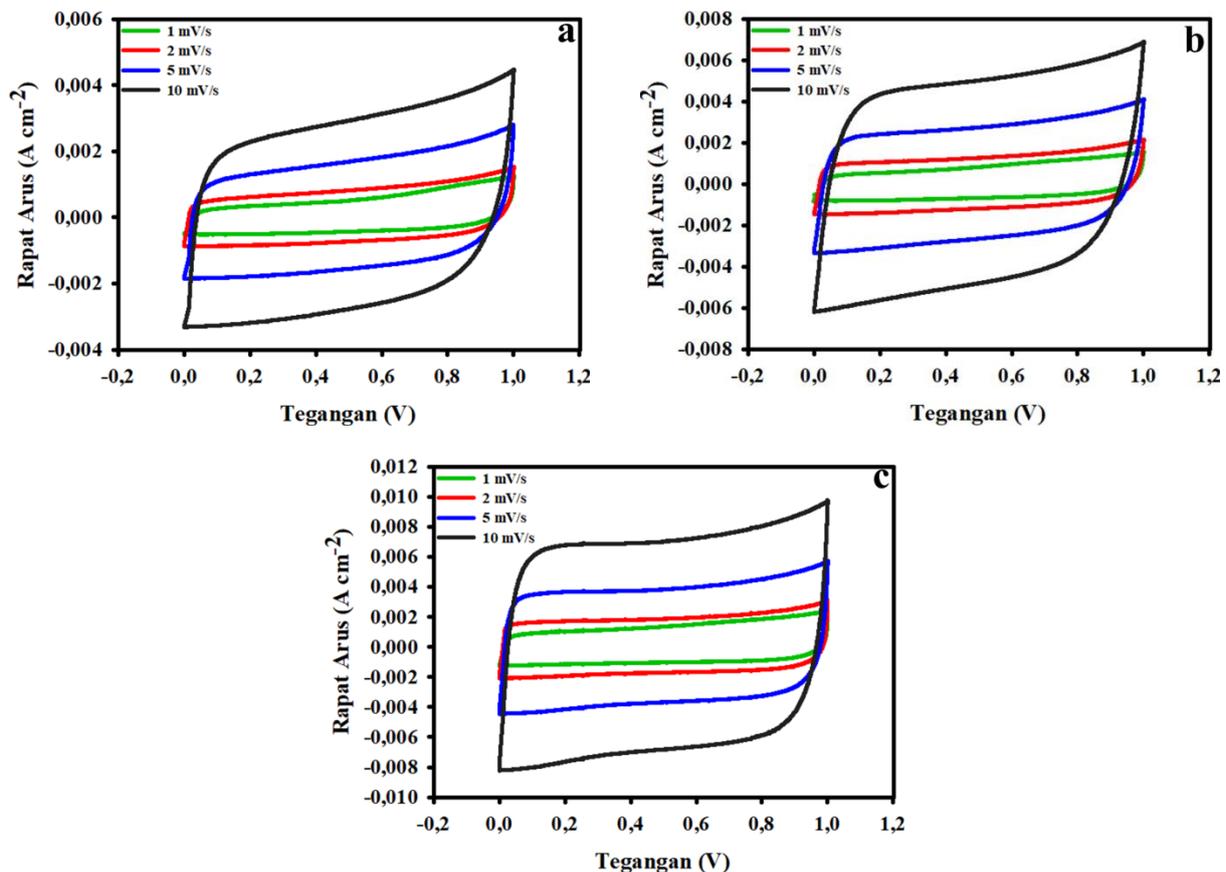
Tabel 1. Kapasitansi spesifik.

Kode Sampel	$I_c$ (A)	$I_d$ (A)	$C_{sp}$ (F/g)
SFM-500	0.000514	-0.00043	123.23
SFM-600	0.000818	-0.00068	169.05
SFM-700	0.001347	-0.00103	213.27

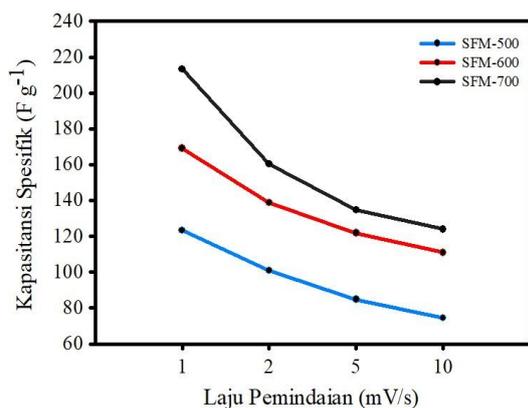
Tabel 1 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik masing-masing sampel. Sampel SFM-700 memiliki nilai kapasitansi spesifik yang lebih tinggi yaitu sebesar 213,27 F/g. Nilai kapasitansi spesifik meningkat seiring dengan meningkatnya suhu karbonisasi. Suhu karbonisasi yang tinggi mengakibatkan unsur non karbon mengalami penguapan secara cepat [15], hal ini menyebabkan penyusutan densitas serta pori dari elektroda karbon

semakin banyak terbentuk, sehingga dapat menampung banyak ion yang berasal dari elektrolit. Semakin banyak ion-ion elektrolit yang terakumulasi, maka semakin tinggi nilai kapasitansi yang dihasilkan.

Gambar 3 (a), (b), dan (c) menunjukkan variasi laju pemindaian yaitu 1 mV/s, 2 mV/s, 5 mV/s, dan 10 mV/s. Variasi laju pemindaian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju pemindaian terhadap nilai kapasitansi spesifik.



**Gambar 3.** Kurva siklis voltagram dengan variasi laju pemindaian: a. SFM-500; b. SFM-600; dan c. SFM-700.



**Gambar 4.** Pengaruh laju pemindaian terhadap nilai kapasitansi spesifik.

Laju pemindaian yang tinggi menghasilkan kapasitansi yang lebih rendah, seperti yang terlihat pada Gambar 3, hal ini disebabkan aksesibilitas difusi yang buruk untuk ion elektrolit pada pori elektroda menyebabkan kapasitansi spesifik menurun [16].

Grafik kapasitansi spesifik pada Gambar 4 menunjukkan penurunan seiring meningkatnya laju pemindaian. Tingginya laju pemindaian mengakibatkan sedikitnya waktu untuk ion-ion yang berasal dari elektrolit berdifusi. Sebaliknya, semakin rendah laju pemindaian,

maka semakin lama ion-ion untuk berdifusi hal ini menyebabkan tingginya nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan.

Pada Tabel 2 terlihat pengaruh laju pemindaian terhadap kapasitansi spesifik, semakin tinggi nilai laju pemindaian maka semakin rendah nilai kapasitansi yang dihasilkan.

**Tabel 2.** Pengaruh laju pemindaian terhadap nilai kapasitansi spesifik.

Laju pemindaian (mV/s)	Kapasitansi spesifik (F/g)		
	SFM-500	SFM-600	SFM-700
1	123,23	169,05	213,27
2	100,97	138,82	160,36
5	84,75	121,77	134,62
10	74,41	110,98	123,93

## KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis TGA dan CV dapat disimpulkan bahwa biomassa dari pelepah salak berpotensi tinggi menjadi bahan dasar pembuatan elektroda karbon untuk aplikasi sel superkapasitor. Hasil TGA menunjukkan bahwa suhu tahanan termal sampel adalah 317,1 °C. Analisis CV didapatkan bahwa sampel SFM-700 memiliki nilai kapasitansi spesifik tertinggi sebesar 213,27 F/g.

## REFERENSI

1. Saw, L. H., Poon, H. M., San Thiam, H., Cai, Z., Chong, W. T., Pambudi, N. A., & King, Y. J. (2018). Novel thermal management system using mist cooling for lithium-ion battery packs. *Applied energy*, **223**, 146–158.
2. Saw, L. H., Ye, Y., & Tay, A. A. O. (2014). Feasibility study of Boron Nitride coating on Lithium-ion battery casing. *Applied thermal engineering*, **73**(1), 154–161.
3. Huskinson, B., Marshak, M. P., Suh, C., Er, S., Gerhardt, M. R., Galvin, C. J., Chen, X., Aspuru-Guzik, A., Gordon, R. G., & Aziz, M. J. (2014). A metal-free organic–inorganic aqueous flow battery. *Nature*, **505**(7482), 195–198.
4. Lu, H., & Zhao, X. S. (2017). Biomass-derived carbon electrode materials for supercapacitors. *Sustainable Energy & Fuels*, **1**(6), 1265–1281.
5. Choudhary, N., Li, C., Moore, J., Nagaiah, N., Zhai, L., Jung, Y., & Thomas, J. (2017). Asymmetric supercapacitor electrodes and devices. *Advanced Materials*, **29**(21), 1605336.
6. Tetra, O. N. (2018). Superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dan larutan ionik sebagai elektrolit. *Jurnal Zarah*, **6**(1), 39–46.
7. Chen, L. F., Yu, Z. Y., Wang, J. J., Li, Q. X., Tan, Z. Q., Zhu, Y. W., & Yu, S. H. (2015). Metal-like fluorine-doped  $\beta$ -FeOOH nanorods grown on carbon cloth for scalable high-performance supercapacitors. *Nano Energy*, **11**, 119–128.
8. Li, Q., Mu, J., Zhou, J., Zhao, Y., & Zhuo, S. (2019). Avoiding the use of corrosive activator to produce nitrogen-doped hierarchical porous carbon materials for high-performance supercapacitor electrode. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **832**, 284–292.
9. Awitdrus, A., Suwandi, D. A., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2021). The production of supercapacitor carbon electrodes based on sugar palm fronds using chemical and physical activation combination. *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(3), 66–69.
10. Gao, H., & Li, J. (2019). Thermogravimetric analysis of the co-combustion of coal and polyvinyl chloride. *Plos one*, **14**(10), e0224401.
11. Taslim, R., Sari, M. N., & Taer, E. (2017). Studi awal pembuatan karakteristik elektroda superkapasitor dari limbah pelepah kelapa sawit. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Riau*, Universitas Riau, Pekanbaru, 2017, 180–184.

12. Triyastiti, L., & Krisdiyanto, D. (2017, November). Isolasi Nanoselulosa Dari Pelepah Pohon Salak Sebagai Filler Pada Film Berbasis Polivinil Alkohol (PVA). *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet dan Plastik*, **6**(1), 223–236.
13. Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*, **86**(12-13), 1781–1788.
14. Farma, R., Oktaviandari, M., & Asyana, V. (2021). Effect of carbonized temperature to supercapacitor electrode from palm midrib biomass. *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(1), 21–25.
15. Ali, I., Asim, M., & Khan, T. A. (2012). Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater. *Journal of environmental management*, **113**, 170–183.
16. Awitdrus, A., Suwandi, D. A., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2021). The production of supercapacitor carbon electrodes based on sugar palm fronds using chemical and physical activation combination. *Journal of Aceh Physics Society*, **10**(3), 66–69.



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

## BATAS MEDAN LEMAH PADA GRAVITASI $f(T)$

Tika Restianingsih

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Jambi

E-mail korespondensi: [tika.restianingsih@unja.ac.id](mailto:tika.restianingsih@unja.ac.id)

### ABSTRACT

*We derive the field equation of  $f(T)$  gravity at the weak field limit obtained by teleparallel Lagrange action of a function of torsion scalar  $T$ . The weak field limit in teleparallel gravity is to assume that tetrad experiences small perturbation and ignore the higher order. Tetrad perturbation is equivalent to metric perturbation in general relativity and can be transformed into one another. If we take the special case  $f(T) = T$  then the equation will be equivalent to the gravitational field equation obtained by the Einstein-Hilbert action. The equation of fields is simplified using the trace reversed method for metric perturbation and Lorentz gauge condition. The final equation has the form of the wave equation with an additional derivative of function  $f(T)$ . Technically, this equation is the gravitational waves equation in terms of  $f(T)$  gravity. In a vacuum with zero energy and momentum tensor, the field equation reduces to the gravitational waves equation in a vacuum.*

**Keywords:**  $f(T)$  Gravity, Teleparallel Gravity, The Weak Field Limit, Gravitational Waves.

### ABSTRAK

*Telah diturunkan persamaan medan gravitasi  $f(T)$  pada batas medan lemah yang diperoleh dengan aksi Lagrangian teleparalel suatu fungsi yang bergantung pada skalar torsi  $T$ . Batasan medan lemah adalah dengan menganggap tetrad pada gravitasi teleparalel mengalami usikan yang nilainya sangat kecil sehingga diabaikan pada orde tinggi. Usikan pada tetrad ini setara dengan usikan metrik pada gravitasi Einstein dan dapat ditransformasikan ke dalam bentuk metrik. Jika diambil kasus khusus  $f(T) = T$  maka persamaan medan akan setara dengan persamaan medan gravitasi yang diperoleh dari aksi Einstein-Hilbert. Persamaan medan disederhanakan menggunakan metode trace reversed terhadap usikan metrik dan kondisi tera Lorentz. Persamaan yang diperoleh memiliki bentuk persamaan gelombang dengan tambahan turunan dari fungsi  $f(T)$ . Persamaan ini merupakan persamaan gelombang gravitasional yang ditinjau dalam gravitasi  $f(T)$ . Di ruang hampa, tensor energi dan momentum adalah nol dan persamaan medan akan sama dengan persamaan gelombang gravitasional di ruang hampa.*

**Kata kunci:** Gravitasi  $f(T)$ , Gravitasi Teleparalel, Batas Medan Lemah, Gelombang Gravitasi.

Diterima 05-02-2022 | Disetujui 10-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Gravitasi teleparalel merupakan teori alternatif gravitasi selain gravitasi Einstein yang menggunakan koneksi Weitzenbock dengan tensor kelengkungan nol untuk mendefinisikan turunan kovariannya [1]. Pada gravitasi teleparalel, aksi Lagrangian untuk mendapatkan persamaan medan adalah skalar torsi  $T$ . Hal ini berbeda dengan gravitasi Einstein yang menggunakan skalar kelengkungan  $R$  pada aksi

Lagrangiannya dan koneksi Levi Civita pada turunan kovariannya [2]. Pada dasarnya, gravitasi teleparalel adalah teori alternatif gravitasi selain gravitasi Einstein dan Newton [3] dan secara fisis memiliki formulasi persamaan medan yang setara dengan teori relativitas umum sehingga dinamakan teori kesetaraan teleparalel relativitas umum [4].

Sama halnya dengan gravitasi  $f(R)$  sebagai perluasan aksi Lagrangian pada teori relativitas umum, pada gravitasi teleparalel juga

diperkenalkan gravitasi  $f(T)$  dimana aksi Lagrangian adalah suatu fungsi analitik yang bergantung pada skalar torsi  $T$  [5]. Konstruksi dari tensor torsi inilah yang mengantarkan pada gravitasi torsional yang dikemas dalam bentuk gravitasi  $f(T)$  dan dapat diterapkan di bidang astrofisika dan kosmologi [6]. Modifikasi teori gravitasi teleparalel dengan perluasan  $f(T)$  pertama kali diaplikasikan dalam kosmologi untuk menyelesaikan masalah horizon partikel dalam ruang datar metrik FRW [7]. Selanjutnya, gravitasi  $f(T)$  juga digunakan untuk mendapatkan selesaian analitik metrik FLRW dengan kelengkungan ruang yang tidak nol [8].

Selain dalam bidang kosmologi, gravitasi  $f(T)$  juga dapat menjelaskan fenomena astrofisika. Gravitasi  $f(T)$  telah digunakan untuk menjelaskan benda-benda antap seperti bintang neutron dengan mengembangkan model analitik dalam mendapatkan selesaian struktur bintang neutron [9], menyelesaikan persamaan Tolman-Oppenheimer-Volkof untuk menggambarkan bintang neutron [10], dan menyelesaikan persamaan Tolman-Oppenheimer-Volkof bintang neutron dengan meninjau persamaan keadaan politropik [11].

Berdasarkan penelitian-penelitian kosmologi dan astrofisika terbaru menggunakan gravitasi  $f(T)$ , maka gravitasi  $f(T)$  menjadi teori gravitasi yang menarik dan terus dikembangkan secara teoretik oleh fisikawan. Beberapa diantaranya adalah invariansi Lorentz pada gravitasi  $f(T)$ , [12], modifikasi gravitasi teleparalel dengan turunan torsi orde tinggi yang diterapkan dalam kosmologi untuk mendapatkan sektor energi gelap efektif [13], selesaian perhitungan simetri bola pada gravitasi  $f(T)$  [14], dan masalah pergeseran kovariansi pada gravitasi  $f(T)$  [15].

Pada gravitasi teleparalel, selain gravitasi  $f(T)$  juga terdapat gravitasi  $f(T,B)$ , dengan  $B$  adalah syarat batas antara torsi dan kelengkungan. Penelitian teoretik mengenai batas medan lemah dan gelombang gravitasi pada  $f(T,B)$  [16] dan gelombang gravitasi dalam gravitasi  $f(T)$  telah diselesaikan [17]. Sedangkan penelitian tentang batas medan lemah pada gravitasi  $f(R)$  juga sudah

diselesaikan untuk ruang tiga dimensi [18]. Pada penelitian ini, akan dibahas tentang batas medan lemah pada gravitasi  $f(T)$  yang diturunkan dari perluasan persamaan medan gravitasi teleparalel.

## METODE PENELITIAN

### Gravitasi Teleparalel

Gravitasi teleparalel berhubungan dengan teori tera untuk grup translasi dengan geometrinya berada di untingan singgung. Pada gravitasi teleparalel, ruang waktu tidak digambarkan dengan metrik seperti di relativitas umum, melainkan dengan tetrad  $e_a^\mu$  (*vierbein*) yaitu suatu basis lokal dari medan vektor di ruang singgung yang didefinisikan pada setiap titik  $x^\mu(e_a)$  dalam keragaman (*manifold*) berdimensi-4 [19]. Indeks  $\mu$  mewakili koordinat ruang dan waktu di keragaman sedangkan indeks  $a$  mewakili koordinat di ruang singgung. Tetrad juga memiliki invers (*coframe*) yang memenuhi persamaan:

$$e_a^\mu e_\mu^b = \delta_b^a, \text{ dan } e_a^\mu e_\nu^b = \delta_\nu^\mu \quad (1)$$

Sebagai teori modifikasi gravitasi, tetrad dalam gravitasi teleparalel dapat dibawa ke dalam bentuk metrik di ruang waktu melalui persamaan:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{ab} e_\mu^a e_\nu^b \quad (2)$$

Determinan tetrad dapat diperoleh dari determinan metrik

$$\begin{aligned} g &= \det(g_{\mu\nu}) = \det(\eta_{ab}) \det(e_\mu^a) \det(e_\nu^b) \\ g &= -1[\det(e_\mu^a)]^2 = -e^2 \\ e &= \sqrt{-g}. \end{aligned} \quad (3)$$

Pada gravitasi teleparalel, koneksi yang digunakan adalah koneksi Weitzenbock  $\Gamma_{\mu\nu}^\rho = e_a^\rho \partial_\mu e_\nu^a$  yang mendefinisikan tensor torsi melalui persamaan:

$$T_{\mu\nu}^{\rho} = \Gamma_{\mu\nu}^{\rho} - \Gamma_{\nu\mu}^{\rho} = e_a^{\rho} (\partial_{\mu} e_{\nu}^a - \partial_{\nu} e_{\mu}^a) \quad (4)$$

Koneksi levi Civita dalam relativitas umum dapat dihubungkan dengan koneksi Weitzenbock melalui tensor kontorsi  $\Gamma_{\mu\nu}^{\rho} = [\Gamma_{\mu\nu}^{\rho}]_{LC} + K_{\mu\nu}^{\rho}$ , dengan tensor kontorsi:

$$K_{\mu\nu}^{\rho} = -\frac{1}{2}(T_{\mu\nu}^{\rho} - T_{\nu\mu}^{\rho} - T^{\rho}_{\mu\nu}) \quad (5)$$

Selanjutnya, melalui tensor torsi dan tensor kontorsi, juga dapat didefinisikan tensor superpotensial:

$$S^{\rho}_{\mu\nu} = \frac{1}{2}(K_{\mu\nu}^{\rho} - \delta_{\mu}^{\rho} T_{\alpha\nu}^{\alpha} - \delta_{\nu}^{\rho} T_{\alpha\mu}^{\alpha}) \quad (6)$$

Rapat Lagrangian dalam gravitasi teleparalel diwakilkan dengan skalar torsi  $T = (T_{\rho\mu\nu} S^{\rho\mu\nu})/2$  yang diperoleh dari koneksi Weitzenbock dengan kelengkungan nol. Sama halnya dengan relativitas umum, dimana  $R$  diperumum menjadi  $f(R)$ , maka di gravitasi teleparalel rapat lagrangian diperumum ke suatu fungsi bergantung pada  $T$  sehingga aksi lagrangian menjadi:

$$I = \int \left( \frac{f(T)}{16\pi G} + L_M \right) ed^4x \quad (7)$$

dengan  $L_M$  adalah Lagrangian untuk materi.

Variasi aksi Lagrangian terhadap medan tetrad  $e_{\rho}^a$  menghasilkan persamaan medan [20]:

$$\begin{aligned} & f_T [\partial_{\mu} (e e_a^{\nu} S_{\nu}^{\lambda\rho}) - e e_a^{\rho} S^{\mu\nu\lambda} T_{\mu\nu\rho}] \\ & + f_{TT} e e_a^{\nu} S_{\nu}^{\lambda\rho} \partial_{\rho} T + (1/2) e e_a^{\lambda} f(T) \quad (8) \\ & = 8\pi G \Theta_a^{\lambda} \end{aligned}$$

dengan  $f_T = \partial f(T) / \partial T$ ,  $f_{TT} = \partial^2 f(T) / \partial T^2$ , dan  $\Theta_a^{\lambda}$  adalah tensor energi momentum materi yang didefinisikan sebagai  $\Theta_a^{\lambda} = -\frac{1}{e} \frac{\partial (e L_M)}{\partial e_{\lambda}^a}$ .

Jika dijabarkan dalam bentuk kovarian maka persamaan medan gravitasional teleparalel (8) menjadi:

$$\begin{aligned} & f_T \left( R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R \right) + \frac{1}{2} g_{\mu\nu} [f(T) \\ & - f_T T] + f_{TT} S_{\nu\mu\rho} \nabla^{\rho} T = 8\pi G \Theta_{\mu\nu} \quad (9) \end{aligned}$$

dengan  $\nabla^{\rho}$  adalah turunan kovarian dan  $R_{\mu\nu}$  dan  $R$  adalah tensor Ricci dan skalar Ricci (kelengkungan).

Jika diambil kasus khusus untuk  $f(T) = T$  maka persamaan (9) akan setara dengan persamaan medan Einstein yang diperoleh dari aksi Einstein-Hilbert. Analogi antara gravitasi teleparalel dan gravitasi Einstein juga ada pada skalar kelengkungan  $R$  dan skalar torsi  $T$ , dimana  $R = -T - 2\nabla^{\mu} (T^{\nu}_{\mu\nu})$ . Perbedaan antara kedua teori gravitasi tersebut terdapat pada aksi Einstein-Hilbert dan aksi teleparalel yang diwakilkan oleh skalar torsi  $T$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Batas Medan Lemah pada Gravitasi $f(T)$

Pada teori relativitas umum, batas medan lemah atau pendekatan medan lemah adalah kasus khusus dimana kelengkungan ruang waktu sangat kecil mendekati ruang datar, sehingga komponen kuadrat dari metrik dapat diabaikan. Dalam hal ini, metrik yang menggambarkan ruang waktu adalah metrik Minkowski yang diganggu oleh usikan metrik yang sangat kecil atau ditulis:

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}, \quad (10)$$

dengan  $h_{\mu\nu}$  adalah metrik usikan yang nilainya sangat kecil. Batasan medan lemah ini dapat secara langsung diterapkan pada gravitasi teleparalel dengan menganggap tetrad juga mengalami usikan, yaitu  $e_{\mu}^a = \delta_{\mu}^a + h_{\mu}^a$ , dengan  $h_{\mu}^a$  adalah usikan tetrad yang nilainya

juga sangat kecil ( $O(h^2) \ll 1$ ). Melalui persamaan (2) maka diperoleh:

$$\begin{aligned} g_{\mu\nu} &= \eta_{ab}(\delta_\mu^a + h_\mu^a)(\delta_\nu^b + h_\nu^b) \\ g_{\mu\nu} &= \eta_{ab}[\delta_\mu^a \delta_\nu^b + \delta_\mu^a h_\nu^b + h_\mu^a \delta_\nu^b + h_\mu^a h_\nu^b] \\ g_{\mu\nu} &= \eta_{ab}[\delta_\mu^a \delta_\nu^b + \delta_\mu^a h_\nu^b + h_\mu^a \delta_\nu^b + O(h^2)] \\ g_{\mu\nu} &= \eta_{\mu\nu} + \delta_\mu^a h_\nu^b + h_\mu^a \delta_\nu^b, \end{aligned} \quad (11)$$

sehingga diperoleh usikan metrik dalam bentuk tetrad  $h_{\mu\nu} = \delta_\mu^a h_\nu^b + h_\mu^a \delta_\nu^b$  dan mengabaikan bagian orde tinggi.

Dalam hal ini, gangguan pada tetrad berhubungan dengan gangguan pada metrik pada keragaman. Gangguan metrik  $h_{\mu\nu}$  bertransformasi Lorentz sebagai tensor. Pada batas medan lemah, seluruh suku dalam persamaan medan dibatasi pada orde pertama karena menganggap untuk orde tinggi mengandung metrik gangguan yang nilainya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian tensor Ricci ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_{\mu\nu}^{(1)} &= \frac{1}{2}(\partial_\rho \partial_\nu h^\rho_\mu + \partial^\rho \partial_\mu h_{\rho\nu} \\ &- \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu} - \partial_\mu \partial_\nu h), \end{aligned} \quad (12)$$

dengan  $h = h^\mu h_\mu$  adalah determinan metrik gangguan dan  $\partial_\rho \partial^\rho = \nabla^2 - \partial_t^2$  adalah operator gelombang. Skalar kelengkungan pada batas medan lemah adalah:

$$R^{(1)} = R^\mu_\mu = \partial_\rho \partial^\mu h^\rho_\mu - \partial_\rho \partial^\rho h, \quad (13)$$

sehingga diperoleh tensor Einstein:

$$\begin{aligned} G_{\mu\nu} &= R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}\eta_{\mu\nu}R \\ G_{\mu\nu} &= \frac{1}{2}(\partial_\rho \partial_\nu h^\rho_\mu + \partial^\rho \partial_\mu h_{\rho\nu} \\ &- \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu} - \partial_\mu \partial_\nu h - \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\rho h \\ &+ \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\rho h) \end{aligned} \quad (14)$$

Selanjutnya, tensor Ricci dan kelengkungan dimasukkan ke persamaan medan (9) dengan mengabaikan unsur dengan orde tinggi yang mengandung gangguan metrik dan tetrad ( $f_{TT} \ll 1$ ) menjadi berikut:

$$\begin{aligned} f_T \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) + \frac{1}{2} g_{\mu\nu} (f(T) \\ - f_T T) = 8\pi G \Theta_{\mu\nu} \end{aligned} \quad (15)$$

Fungsi dari medan torsi  $f(T)$  dianggap sebagai fungsi analitik dan dapat diperluas menggunakan deret Taylor:

$$f(T) = f_0 + f_T T + \frac{1}{2} f_{TT} T^2 + \dots \quad (16)$$

dan

$$f_T = \frac{\partial f(T)}{\partial T} = f_T + f_{TT} T \quad (17)$$

Fungsi dari torsi ini juga dibatasi pada orde pertama sama halnya dengan kelengkungan, sehingga persamaan medan gravitasional  $f(T)$  yang diperluas menjadi:

$$\begin{aligned} (f_T + T f_{TT}) \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) + \frac{1}{2} g_{\mu\nu} (f_T T \\ + \frac{1}{2} f_{TT} T^2 - f_T T - \frac{1}{2} f_{TT} T^2) = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)}, \\ f_T \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) + T f_{TT} \\ \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) - \frac{g_{\mu\nu}}{4} f_{TT} T^2 = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)}. \end{aligned} \quad (18)$$

Pada batas medan lemah, orde pertama ruang Minkowski (ruang datar) berhubungan dengan orde nol dari tensor energi momentum materi  $\Theta_{\mu\nu}^{(0)}$ . Sebelumnya telah diketahui hubungan antara skalar kelengkungan dan skalar torsi  $R = -T - 2\nabla^\mu (T^\nu_{\mu\nu})$ . Pada kasus medan lemah, semua komponen pada persamaan medan Einstein dibatasi pada orde pertama, begitu juga dengan skalar torsi pada

gravitasi teleparalel, sehingga hubungan antara kelengkungan dan torsi menjadi  $R = -T$ . Persamaan medan gravitasi dalam wakilan skalar kelengkungan orde pertama ditulis:

$$\begin{aligned} & f_T \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) - R^{(1)} f_{TT} \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) \\ & - \frac{g_{\mu\nu}}{4} (R^2)^{(1)} f_{TT} = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)} \\ & f_T \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) - R^{(1)} f_{TT} R_{\mu\nu}^{(1)} \\ & + \frac{1}{2} g_{\mu\nu} (R^2)^{(1)} f_{TT} - \frac{g_{\mu\nu}}{4} (R^2)^{(1)} f_{TT} = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)} \\ & f_T \left( R_{\mu\nu}^{(1)} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R^{(1)} \right) - R^{(1)} f_{TT} R_{\mu\nu}^{(1)} \\ & + \frac{g_{\mu\nu}}{4} (R^2)^{(1)} f_{TT} = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)} \end{aligned} \quad (19)$$

Substitusikan tensor Ricci dan skalar Ricci menjadi:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} f_T (\partial_\rho \partial_\nu h^\rho_\mu + \partial^\rho \partial_\mu h_{\nu\rho} - \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu} - \partial_\mu \partial_\nu h \\ & - \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\sigma h^\rho_\sigma + \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu}) + f_{TT} (\partial_\rho \partial^\mu h^\rho_\mu \\ & - \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu}) (\partial_\rho \partial_\nu h^\rho_\mu + \partial^\rho \partial_\mu h_{\nu\rho} - \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu} \\ & - \partial_\mu \partial_\nu h - \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\sigma h^\rho_\sigma + \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu}) \\ & - \frac{1}{4} f_{TT} (\partial_\rho \partial^\mu h^\rho_\mu - \partial_\rho \partial^\rho h_{\mu\nu})^2 = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)}. \end{aligned} \quad (20)$$

Persamaan di atas dapat disederhanakan menggunakan metode *trace-reversed* seperti yang dilakukan pada persamaan gelombang gravitasi,  $\bar{h}_{\mu\nu} = h_{\mu\nu} - \frac{1}{2} \eta_{\mu\nu} h$ , dengan  $\bar{h}_\mu^\mu = -h$ . substitusikan metode *trace-reversed* ke persamaan (20) maka semua suku yang mengandung unsur  $h$  akan saling menghilangkan, menyisakan persamaan:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} f_{TT} (\partial_\sigma \partial_\nu \bar{h}^\rho_\mu + \partial^\rho \partial_\mu \bar{h}_{\nu\rho} - \partial_\rho \partial^\rho \bar{h}_{\mu\nu} \\ & - \eta_{\mu\nu} \partial_\rho \partial^\sigma \bar{h}^\rho_\sigma) = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)}. \end{aligned} \quad (21)$$

Pada batas medan lemah dapat diterapkan kondisi tera Lorentz  $\partial^\mu \bar{h}_{\mu\nu} = 0$  dan diperoleh persamaan:

$$-\frac{f_T}{2} \partial_\rho \partial^\rho \bar{h}_{\mu\nu} = 8\pi G \Theta_{\mu\nu}^{(0)} \quad (22)$$

Dengan demikian, diperoleh bahwa persamaan medan gravitasi  $f(T)$  pada batas medan lemah dalam kondisi tera Lorentz berlaku seperti persamaan gelombang, dimana  $\partial_\rho \partial^\rho$  berlaku sebagai operator gelombang. Disederhanakan dalam bentuk persamaan gelombang menjadi:

$$\partial_\rho \partial^\rho \bar{h}_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{f_T} \Theta_{\mu\nu} \quad (23)$$

Persamaan (23) adalah persamaan medan gravitasi  $f(T)$  pada batas medan lemah dan orde pertama. Di ruang hampa tanpa materi, persamaan medan gravitasi menjadi:

$$\partial_\rho \partial^\rho \bar{h}_{\mu\nu} = 0 \quad (24)$$

sama seperti persamaan gelombang gravitasi di ruang hampa. Persamaan medan gravitasi yang diperoleh menunjukkan persamaan gelombang gravitasi yang ditinjau dalam gravitasi  $f(T)$ .

## KESIMPULAN

Gravitasi  $f(T)$  merupakan suatu fungsi perluasan dari gravitasi teleparalel dengan aksi Lagrangian yang bergantung pada skalar torsi  $T$ . Pada batas medan lemah, persamaan medan gravitasi  $f(T)$  mirip dengan persamaan gelombang. Persamaan medan ini dipandang sebagai persamaan gelombang gravitasional dalam gravitasi  $f(T)$ .

## REFERENSI

1. Hayashi, K. & Shirafuji, T. (1979). New general relativity. *Physical Review D*, **19**(12), 3524–3553.
2. Aldrovandi, R. & Pereira, J. G. (2013). *Teleparallel gravity*. Dordrecht: Springer.

3. Yasmini, L. P. B. (2021). Gravitasi: Gaya vs geometri. *Indonesian Physical Review*, **4**(1), 1–6.
4. Maluf, J. W. (2013). The teleparallel equivalent of general relativity. *Annalen der physik*, **525**(5), 339–357.
5. Ferraro, R. (2012). F(R) and f(T) theories of modified gravity. *AIP Conference Proceedings*, **1471**(103).
6. Cai, Y. F., Capozziello, S., De Laurentis, M., & Saridakis, E. N. (2016). f (T) teleparallel gravity and cosmology. *Reports on Progress in Physics*, **79**(10), 106901.
7. Ferraro, R. & Fiorini, F. (2007). Modified teleparallel gravity: Inflation without Inflation. *Rep. Prog. Phys.*, **79**(10), 106901.
8. Palianthanas, A. (2021). F(T) Cosmology with nonzero curvature. *Modern Physics Letters A*, **36**(38), 2150261.
9. Solanki, J., Joshi, R., & Garg, M. (2021). Analytical stellar models of neutron stars in f(T) gravity. *arXiv:2107.01645v2*.
10. Fortes, H. G. M. & Araujo, J. C. N. D. (2021). Solving Tolman oppenheimer Volkoff equation in f(T) gravity: A novel approach. *arXiv:2105.04473v1*.
11. Araujo, J. C. N. D. & Fortes, H. G. M. (2021). Solving Tolman oppenheimer Volkoff equation in f(T) gravity: A novel Approach in applied to polytropic equation of state. *arXiv:2105.09118v1*.
12. Li, B., Sotiriou, T. P., & Barrow, J. D. (2011). F(T) gravity and local Lorentz invariance. *Physical Review D.*, **83**(6), 064035.
13. Otalora, G. & Saridakis, E. N. (2016). Modified teleparallel gravity with higher-derivative torsion terms. *Physical Review D.*, **94**(8), 084021.
14. Golovnev, A. (2021). Issues of Lorentz-invariance in f (T) gravity and calculations for spherically symmetric solutions. *Classical and Quantum Gravity*, **38**(19), 197001.
15. Ren, X., Zhao, Y., Saridakis, E. N., & Cai, Y. F. (2021). Deflection angle and lensing signature of covariant f (T) gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, **2021**(10), 062.
16. Capozziello, S., Capriolo, M., & Caso, L. (2020). Weak field limit and gravitational waves in f (T, B) teleparallel gravity. *The European Physical Journal C*, **80**(2), 1–11.
17. Bamba, K., Capozziello, S., De Laurentis, M., Nojiri, S., & Sáez-Gómez, D. (2013). No further gravitational wave modes in F (T) gravity. *Physics Letters B*, **727**(1-3), 194–198.
18. Eingorn, M. & Zhuk, A. (2011). Weak-field limit of f (R) gravity in three and more spatial dimensions. *Physical Review D*, **84**(2), 024023.
19. Socolovsky, M. (2012). Fiber Bundles, Connections, General Relativity, and the Einstein-Cartan Theory–Part I. *Advances in Applied Clifford Algebras*, **22**(3), 837–872.
20. Miao, R. X., Li, M., & Miao, Y. G. (2011). Violation of the first law of black hole thermodynamics in f (T) gravity. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, **2011**(11), 033.



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

# KARAKTERISASI SIFAT ELEKTROKIMIA ELEKTRODA KARBON AKTIF BERBASIS LIMBAH SABUT KELAPA MUDA MENGGUNAKAN SEPARATOR MEMBRAN KULIT TELUR AYAM

Angelina Carolina Simanjuntak, Awitdrus\*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [awitdrus@lecturer.unri.ac.id](mailto:awitdrus@lecturer.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The supercapacitor is an energy storage device with an electrochemical characteristic that can provide high energy and power density. The supercapacitor cell consists of a current collector, electrode, electrolyte, and separator. This study used young coconut fiber biomass as a supercapacitor electrode,  $H_2SO_4$  as an electrolyte, 316L stainless steel as a current collector, and chicken eggshell membrane as a separator. The fabrication of electrode carbon made from young coco fiber begins with the pre-carbonization process, chemical activation using 0.5M KOH, carbonization process using  $N_2$  gas at a temperature of 600 °C, and physical activation using  $CO_2$  gas at a temperature of 750 °C. Analysis of electrochemical characteristics using cyclic voltammetry method resulting in a specific capacitance value of 197.05 F/g for a scan rate of 1 mV/s, 157.215 F/g for a scan rate of 2 mV/s, and 129.42 F/g for scan rate of 5 mV/s.*

**Keywords:** Supercapacitor, Activated Carbon, Separator, Young Coco Fiber.

## ABSTRAK

*Superkapasitor adalah piranti penyimpanan energi dengan sifat elektrokimia yang dapat memberikan energi dan daya yang tinggi. Sel superkapasitor terdiri dari pengumpul arus, elektroda, elektrolit dan pemisah. Penelitian ini menggunakan biomassa sabut kelapa muda sebagai elektroda superkapasitor,  $H_2SO_4$  sebagai larutan elektrolit, stainless steel 316L sebagai pengumpul arus dan membran kulit telur ayam sebagai pemisah. Pembuatan elektroda karbon berbahan sabut kelapa muda dimulai dengan proses pra-karbonisasi, aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH 0,5M, proses karbonisasi menggunakan gas  $N_2$  pada suhu 600 °C serta aktivasi fisika menggunakan gas  $CO_2$  pada suhu 750 °C. Analisa sifat elektrokimia menggunakan metode voltametri siklik dihasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 197,05 F/g untuk laju pemindaian 1 mV/s, 157,215 F/g untuk laju pemindaian 2 mV/s dan 129,42 F/g untuk laju pemindaian 5 mV/s.*

**Kata kunci:** Superkapasitor, Karbon Aktif, Pemisah, Sabut Kelapa Muda.

Diterima 10-12-2021 | Disetujui 07-01-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

## PENDAHULUAN

Perkembangan pesat dalam ekonomi global menyebabkan polusi lingkungan semakin meningkat dan kebutuhan mendesak akan sumber energi terbarukan serta teknologi baru terkait perkembangan penyimpanan energi dan konversi energi [1]. Supercapacitor merupakan salah satu piranti penyimpanan energi yang diteliti karena memiliki kemampuan daya tinggi, laju pengisian/pengosongan yang cepat, stabilitas yang baik dan sifat kapasitansi kuat

[2]. Supercapacitor berbasis karbon semakin meningkat penggunaannya karena memiliki luas permukaan yang besar dan daya serap tinggi [3]. Salah satu biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuat elektroda karbon superkapasitor adalah sabut kelapa (*cocofiber*).

Kelapa (*cocos nucifera l*) merupakan tanaman famili *arecaceae* (famili palem) dengan subfamili *cocoideae* yang dikenal sebagai *coconut*, *coco*, *coco-da-bahlia*, atau *coconut-of-the-beach*. Salah satu bagian dari

kelapa adalah buah. Buah kelapa terdiri dari *exocarp*, *mesocarp* dan *endocarp*. *Exocarp* adalah bagian kulit terluar dari buah kelapa, *mesocarp* merupakan bagian berserat dan kecoklatan saat kering, dan *endocarp* merupakan bagian inti dari buah kelapa [4]. Serabut kelapa pada bagian *mesocarp* memiliki kandungan selulosa 15,70% - 36,00%; kandungan hemiselulosa 5,40% - 14,50%; dan kandungan *lignin* 38% - 59,50% [5]. *Lignin* dan selulosa dapat berperan pada stabilitas struktural material yang menyebabkan struktur elektroda superkapasitor lebih stabil [6].

Superkapasitor terdiri dari pengumpul arus, elektroda, separator dan elektrolit. Separator pada superkapasitor berguna untuk mencegah perpindahan elektron antar elektroda dan terletak diantara dua elektroda [7]. Separator berguna untuk memisahkan kedua elektroda sehingga tidak terjadi korsleting antara muatan positif dan muatan negatif. Berdasarkan karakterisasi mikroskop pindaian elektron disimpulkan bahwa perbedaan struktur pori pada separator menghasilkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai kapasitansi spesifik, daya, dan energi dari superkapasitor. Hal ini berkaitan dengan mobilitas ion yang masuk kedalam jaringan pori separator dan ketahanan separator terhadap larutan asam [8]. Penggunaan membran kulit telur sebagai separator karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, stabilitas termal yang baik, dan infiltrasi elektrolit yang besar dibandingkan dengan *microporous polypropylene* (PP) atau *polyethylene* (PE) [9]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa sifat elektrokimia elektroda karbon berbahan dasar sabut kelapa muda menggunakan separator membran kulit telur ayam.

## METODE PENELITIAN

### Pembuatan Elektroda Karbon

Biomassa sabut kelapa muda diperoleh dari pedagang kelapa muda di Pekanbaru. Sabut kelapa dipisahkan dari buah kelapa dan dikeringkan dibawah sinar matahari hingga

massa dari sabut kelapa muda konstan. Proses pra-karbonisasi menggunakan oven pada suhu 250 °C selama 1 jam. Sabut kelapa muda yang telah dipra-karbonisasi dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 53 µm. Setelah pengayakan sabut kelapa muda dilakukan aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif KOH 0,5 M. Sampel kemudian dicetak menggunakan alat *hydraulic press* dengan tekanan 8 ton. Setelah dicetak, pelet karbon dimasukkan kedalam *furnance* dan dilakukan proses karbonisasi dan aktivasi fisika. Proses karbonisasi menggunakan gas N<sub>2</sub> pada suhu 600 °C dan proses aktivasi fisika menggunakan gas CO<sub>2</sub> pada suhu 750 °C. Elektroda karbon kemudian direndam menggunakan aquades hingga pH netral (pH = 7) dan dikeringkan pada suhu 100 °C. Elektroda karbon yang telah kering kemudian dipoles hingga memiliki diameter 7 mm - 8 mm dan ketebalan 0,2 mm - 0,25 mm.

### Pembuatan Sel Superkapasitor

Sel superkapasitor terdiri dari komponen pengumpul arus, elektroda, separator dan elektrolit. Komponen-komponen tersebut disusun dengan pengumpul arus yang digunakan adalah *stainless steel* 316L, elektroda pelet karbon yang telah dipoles dan direndam dengan larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan separator membran kulit telur ayam.

### Karakterisasi Sifat Elektrokimia

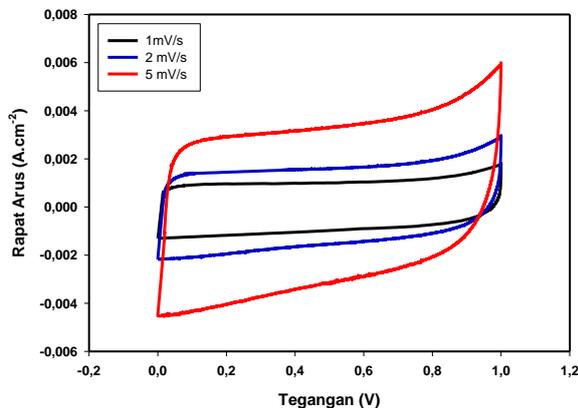
Sifat elektrokimia superkapasitor diukur menggunakan metode *cyclic voltammetry* (CV). Pada metode CV dihasilkan data voltamogram sehingga dihitung kapasitansi spesifik ( $C_{sp}$ ) dari superkapasitor dengan menggunakan persamaan:

$$C_{sp} = \frac{I_c - I_d}{s \cdot m} \quad (1)$$

Dengan  $I_c$  merupakan arus pengisian (A),  $I_d$  adalah arus pengosongan (A),  $s$  adalah laju pemindaian, dan  $m$  adalah massa elektroda.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sifat elektrokimia dengan metode CV dilakukan menggunakan alat *Physics CV UR Rad-Er 5841*. Melalui metode CV dihasilkan kurva voltamogram dan diketahui kapasitansi spesifik superkapasitor dari elektroda karbon aktif berbahan sabut kelapa muda dengan separator membran kulit telur ayam. Pengujian dilakukan pada laju pemindaian 1 mV/s, 2 mV/s dan 5 mV/s dan tegangan 0 V - 1 V. Pada CV, kurva yang dihasilkan berupa pengukuran arus puncak vs tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Kurva voltamogram diperoleh berdasarkan pengukuran arus selama tegangan diubah pada daerah potensial tertentu.



**Gambar 1.** Kurva voltamogram superkapasitor dengan laju pemindaian 1 mV/s, 2 mV/s dan 5 mV/s.

Bentuk dan lebar kurva berpengaruh terhadap nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor [10]. Laju pemindaian mempengaruhi luas kurva *charge-discharge*. Semakin besar laju pemindaian maka semakin luas kurva *charge-discharge* yang dihasilkan yang mana besar laju pemindaian merupakan kenaikan tegangan tiap satuan waktu [11].

**Tabel 1.** Nilai Kapasitansi Spesifik

Laju Pemindaian (mV/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	197,05
2	157,215
5	129,42

Besarnya kapasitansi spesifik superkapasitor dipengaruhi oleh laju pemindaian. Nilai kapasitansi spesifik superkapasitor dengan separator membran kulit telur ayam dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan nilai kapasitansi spesifik tertinggi dihasilkan pada laju pemindaian terkecil. Kapasitansi spesifik semakin besar apabila laju pemindaian semakin kecil. Hal ini dikarenakan apabila laju pemindaian kecil maka aliran tegangan dapat masuk sampai ke dalam elektroda, namun apabila laju pemindaian tinggi maka aliran tegangan hanya melewati permukaan elektroda [12].

Nilai kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh separator yang digunakan. Pori makro pada membran berguna untuk menyebarkan ion dengan resistansi rendah sehingga meningkatkan kinerja superkapasitor [13]. Membran kulit telur ayam berbentuk jaringan serat nano dengan diameter serat sebesar 1,177 nm dan ketebalan sebesar 0,03 mm. Struktur pori makro dan ketebalan yang cukup tipis pada separator berguna untuk memastikan kelancaran pengaliran ion dalam elektrolit untuk berdifusi ke dalam pori-pori di kedua elektroda [14].

## KESIMPULAN

Pembuatan elektroda karbon aktif berbahan dasar limbah sabut kelapa muda telah dilakukan. Karakterisasi sifat elektrokimia superkapasitor menggunakan CV dengan separator membran kulit telur menghasilkan kapasitansi spesifik tertinggi pada laju pemindaian 1 mV/s sebesar 197,05 F/g. Ukuran pori, diameter serat serta ketebalan dari separator mempengaruhi nilai kapasitansi yang dihasilkan.

## REFERENSI

1. Huo, P., Zhang, S., Zhang, X., Geng, Z., Luan, J., & Wang, G. (2015). Quaternary ammonium functionalized poly (aryl ether sulfone) s as separators for supercapacitors

- based on activated carbon electrodes. *Journal of Membrane Science*, **475**, 562–570.
2. Liu, S., Xu, J., Zhu, J., Chang, Y., Wang, H., Liu, Z., Xu, Y., Zhang, C., & Liu, T. (2017). Leaf-inspired interwoven carbon nanosheet/ nanotube homostructures for supercapacitors with high energy and power densities. *Journal of Materials Chemistry A*, **5**(37), 19997–20004.
  3. Lu, Y., Zhao, Y., Zhao, X., Li, G., & Zhang, C. (2017). Status analysis of regenerative braking energy utilization equipments in urban rail transit. *2017 IEEE transportation electrification conference and expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)*, 7 August 2017, 1–6.
  4. Lima, E. B. C., Sousa, C. N. S., Meneses, L. N., Ximenes, N. C., Santos, M. A., Vasconcelos, G. S., Lima, N. B., Patrocínio, M. C., Macedo, D., & Vasconcelos, S. M. M. (2015). Cocos nucifera (L.)(Arecaceae): A phytochemical and pharmacological review. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, **48**, 953–964.
  5. Sesuk, T., Tammawat, P., Jivaganont, P., Somton, K., Limthongkul, P., & Kobsiriphat, W. (2019). Activated carbon derived from coconut coir pith as high performance supercapacitor electrode material. *Journal of Energy Storage*, **25**, 100910.
  6. Israel, A. U., Ogali, R. E., Akaranta, O., & Obot, I. B. (2011). Extraction and characterization of coconut (Cocos nucifera L.) coir dust. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, **33**(6).
  7. Taer, E., Sumantre, M. A., Taslim, R., Dahlan, D., & Deraman, M. (2014). Eggs shell membrane as natural separator for supercapacitor applications. *Advanced Materials Research*, **896**, 66–69.
  8. Nor, N. S. M., Deraman, M., Omar, R., Taer, E., Awitdrus, Farma, R., Basri, N. H., & Dolah, B. N. M. (2014). Nanoporous separators for supercapacitor using activated carbon monolith electrode from oil palm empty fruit bunches. *AIP conference proceedings*, **1586**(1), 68–73.
  9. Yin, L., Xu, G., Nie, P., Dou, H., & Zhang, X. (2018). MXene debris modified eggshell membrane as separator for high-performance lithium-sulfur batteries. *Chemical Engineering Journal*, **352**, 695–703.
  10. Farma, R., Vivi, M., Sugiyanto, S., Awitdrus, A., Taer, E., & Yanuar, H. (2017). Cyclic Voltammetry Sel Superkapasitor Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida. *Jurnal Fisika Indonesia*, **21**(2), 20–24.
  11. Amelia, T., Syakir, N., Bahtiar, A., & Fitrilawati, F. (2020). Karakteristik Lapisan Graphene Oxide yang Dibuat dengan Teknik UV Oven Spraying sebagai elektroda Sel Superkapasitor. *JIIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, **4**(1), 71–78.
  12. Adhytiawan, A. A., & Susanti, D. (2015). Pengaruh Variasi Waktu Tahan Hidrotermal terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Material Graphene. *Jurnal Teknik ITS*, **4**(1), F45–F50.
  13. Yu, H., Tang, Q., Wu, J., Lin, Y., Fan, L., Huang, M., Lin, J., Li, Y., & Yu, F. (2012). Using eggshell membrane as a separator in supercapacitor. *Journal of Power Sources*, **206**, 463–468.
  14. Taer, E., Sumantre, M. A., Taslim, R., Dahlan, D., & Deraman, M. (2014). Eggs shell membrane as natural separator for supercapacitor applications. *Advanced Materials Research*, **896**, 66–69.



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

# PENGGUNAAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI SCHLUMBERGER UNTUK MENGETAHUI LAPISAN STRUKTUR LITOLOGI BAWAH TANAH DI TAMAN ILMU UNIVERSITAS RIAU

Aprianturi Rega\*<sup>1</sup>, Usman Malik\*<sup>2</sup>  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: <sup>1</sup>regapku@gmail.com; <sup>2</sup>usman.malik@lecturer.unri.ac.id

## ABSTRACT

*Research has been carried out at the Science Park, Riau University to determine the layers of underground lithological structures using the one-dimensional Schlumberger configuration Geoelectric resistivity method. Research data processing is done using Software Progress. The results of data processing show that lanes 1 and 2 consists of layers of alluvium, sand, gravel, and clay. On track 1, the highest soil layer resistivity value of 863.14 m is interpreted as a layer of sand and gravel at a depth of 2.28 - 31.12 m, while the smallest is 226.90 m which can be interpreted as a layer of clay at a depth of 0.68 - 1.28 m. On track 2, the highest soil layer resistivity value of 1027.83 m is interpreted as a layer of sand and gravel at a depth of 0.28 - 1.15 m, while the smallest is 188.08 m interpreted as a clay layer at a depth of 0 - 0.28 m. The highest and lowest resistivity values tend to be identified as sand, gravel, and clay, respectively.*

**Keywords:** Subsurface Layers of the Earth, Lithological Structure, Geoelectrical Method, Schlumberger Configuration.

## ABSTRAK

*Telah dilakukan penelitian di Science Park, Universitas Riau untuk menentukan lapisan struktur litologi bawah tanah menggunakan metode resistivitas Geolistrik konfigurasi Schlumberger satu dimensi. Pengolahan data penelitian dilakukan dengan menggunakan Software Progress. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa lintasan 1 dan 2 terdiri dari lapisan alluvium, pasir, kerikil, dan tanah liat. Pada lintasan 1 nilai resistivitas lapisan tanah tertinggi sebesar 863,14 m diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil pada kedalaman 2,28 - 31,12 m, sedangkan yang terkecil yaitu 226,90 m yang dapat diartikan sebagai lapisan lempung pada kedalaman 0,68 - 1,28 m. Pada lintasan 2 nilai resistivitas lapisan tanah tertinggi sebesar 1027,83 m diinterpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil pada kedalaman 0,28 - 1,15 m, sedangkan yang terkecil yaitu 188,08 m diinterpretasikan sebagai lapisan lempung pada kedalaman 0 - 0,28 m. Nilai resistivitas tertinggi dan terendah cenderung diidentifikasi berturut-turut sebagai pasir, kerikil, dan lempung.*

**Kata kunci:** Lapisan Bawah Permukaan Bumi, Struktur Litologi, Metode Geolistrik, Konfigurasi Schlumberger.

Diterima 14-03-2022 | Disetujui 21-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

## PENDAHULUAN

Taman Ilmu Universitas Riau merupakan salah satu lokasi yang mempunyai keindahan alam yang menjadi penarik bagi masyarakat sekitar maupun mahasiswa. *Science Park* (taman ilmu) Universitas Riau adalah salah satu wahana untuk belajar dan bermain yang

menjadi pilihan keluarga untuk bersantai disore hari. *Science Park* terletak di dekat pintu masuk Universitas Riau, Jl. HR. Soebrantas Kampus Bina Widya km.12,5 Simpang Baru, Pekanbaru. Pada saat musim penghujan dengan intensitas hujan sedang maupun tinggi daerah di sekitar *Science Park* sering tergenang air bahkan meluap hingga ke bahu jalan yang berada di

sekitarnya. Kondisi ini mengganggu aktivitas mahasiswa maupun masyarakat yang ingin bersantai di sekitar *Science Park* maupun yang ingin masuk ke Universitas Riau. Daratan disekitar *Science Park* Universitas Riau merupakan bekas rawa dan menjadi langganan banjir yang disebabkan oleh sistem *drainase* yang kurang baik. Kondisi tanah yang tidak rata juga menyebabkan air mudah meluap hingga menutupi jalan yang berada disekitar *Science Park* [1, 2].

Air tanah merupakan salah satu sumber kebutuhan bagi makhluk hidup. Air tanah ialah air yang menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi. Keberadaan air tanah dibagi dalam dua daerah yaitu daerah jenuh dan daerah tidak jenuh. Daerah jenuh adalah lapisan tanah yang berada dibawah permukaan air tanah, sedangkan daerah tidak jenuh biasanya terletak diatas daerah jenuh sampai ke permukaan tanah dimana rongga-rongganya terisi air dan udara [3-5].

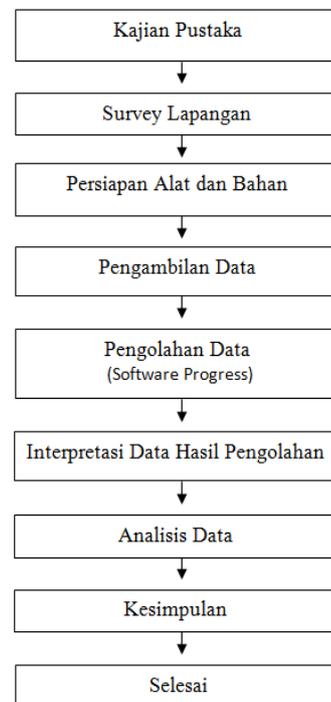
Litologi adalah ilmu yang mengklasifikasikan batuan berdasarkan sifat atau ciri fisiknya yang meliputi warna, ukuran butir, struktur dan komposisi mineral. Struktur litologi merupakan kajian yang menggabungkan dua disiplin ilmu yaitu geologi dan geofisika. Disiplin ilmu geologi digunakan untuk validasi data geologi pada daerah penelitian sedangkan disiplin geofisika digunakan untuk memperkirakan sebaran dan bentuk lapisan batuan pada suatu daerah [6].

Struktur tanah tersusun atas partikel primer (pasir, debu dan liat) dan partikel sekunder (gabungan partikel-partikel primer). Tanah dengan tekstur pasir dan tekstur liat memiliki partikel yang belum tergabung disebut juga tanah tanpa struktur (berstruktur lepas) [7].

Salah satu cara untuk mengetahui jenis lapisan batuan yang dilalui oleh air tanah yaitu dengan mencari nilai resistivitas batuan di bawah permukaan tanah menggunakan metode geolistrik [8, 9]. Penggunaan metode geolistrik resistivitas digunakan untuk mengetahui jenis dan kerapatan lapisan tanah bawah permukaan di sekitar *Science Park* (taman ilmu) Universitas Riau.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Schlumberger untuk mendapatkan gambaran bawah permukaan dilokasi penelitian. Pengambilan data geolistrik dilakukan di 2 (titik) lintasan dengan panjang lintasan masing-masing yaitu pertama 150 meter berada pada koordinat N 0°27'55,7" dan E 101°22'48,0" sedangkan lintasan kedua dengan panjang lintasan 100 meter berada pada koordinat N 0°28'18,3" dan E 101°22'50,8". Hal-hal yang perlu dihindari saat melakukan pengambilan data misalnya genangan air, semenisasi dan hujan. Data resistivitas yang diperoleh dari lokasi penelitian kemudian diolah menggunakan program *software progress*. Data yang interpretasikan berupa bentuk resistivitas lapisan-lapisan bawah permukaan secara vertikal.



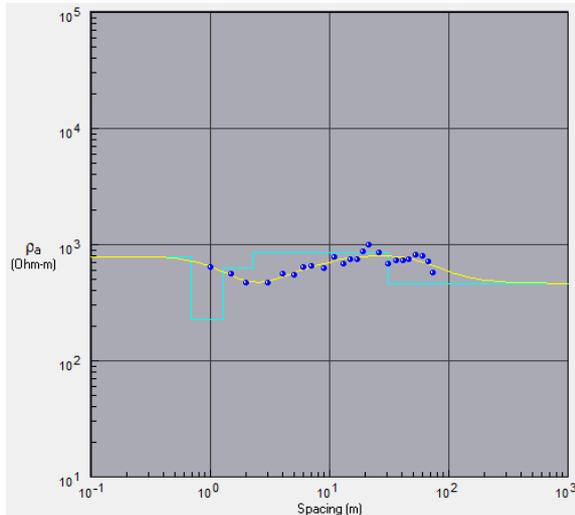
**Gambar 1.** Susunan metode penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Lintasan 1

Hasil perhitungan dan pengolahan data pada lintasan 1 dengan *software progress* untuk

metode geolistrik konfigurasi Schlumberger diperoleh nilai *RMS-error* sebesar 8,5058% dengan kedalaman maksimal 31,12 meter dan resistivitas 863,14  $\Omega\text{m}$ . Pemodelan distribusi nilai hambatan jenis material di bawah permukaan di sepanjang lintasan 1 seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Interface progress* hasil pengolahan data lintasan 1.

Nilai resistivitas lapisan tanah berkisar antara 226,90 – 863,14  $\Omega\text{m}$ . Lapisan tanah pertama di lokasi penelitian dengan nilai resistivitas 791,61  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0 – 0,68 m di interpretasikan sebagai lapisan aluvium. Aluvium merupakan jenis tanah liat halus dan dapat menampung air hujan yang tergenang. Tanah jenis ini biasanya dijumpai di tebingan sungai, delta sungai dan dataran yang tergenang banjir. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas 226,90  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0,68 – 1,28 m di interpretasikan sebagai lapisan lempung. Lempung adalah partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 5 mikrometer. Lempung terbentuk dari proses pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian dihasilkan dari aktivitas panas bumi.

Tanah lempung merupakan jenis tanah yang mempunyai tekstur sangat keras dalam keadaan kering sehingga susah terkelupas menggunakan jari sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat lengket (kohesif) dan sangat lunak [10].

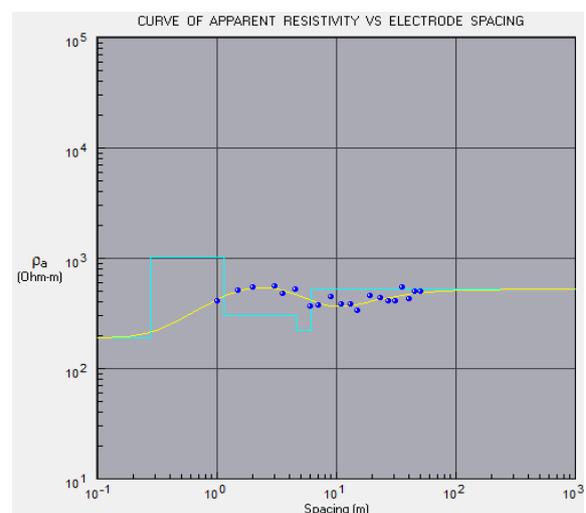
Lapisan ketiga mempunyai nilai resistivitas 622,41  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 1,28 – 2,28 m di interpretasikan sebagai lapisan aluvium. Nilai resistivitas selanjutnya adalah 863,14  $\Omega\text{m}$  berada pada kedalaman 2,28 – 31,12 m di interpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil. Lapisan terakhir yang terbaca pada nilai resistivitas 463,69  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 31,12 m di interpretasikan sebagai lapisan pasir.

**Tabel 1.** Hasil Pengolahan Data Lapisan Lintasan 1.

Kedalaman (m)	Nilai Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Jenis Batuan
0 – 0,68	791,61	Aluvium
0,68 – 1,28	226,90	Lempung
1,28 – 2,28	622,41	Aluvium
2,28 -31,12	863,14	Pasir dan Kerikil
31,12	463,69	Pasir

### Analisa Lintasan 2

Hasil perhitungan dan pengolahan data pada lintasan 2 dengan *software progress* untuk Metode Geolistrik Konfigurasi Schlumberger diperoleh nilai *RMS-error* sebesar 8.9730% dengan kedalaman maksimal 6,16 m dan resistivitas 1027,83  $\Omega\text{m}$ . Pemodelan distribusi nilai hambatan jenis material di bawah permukaan di sepanjang lintasan 2 seperti pada Gambar 3. Besarnya nilai resistivitas dan kedalaman yang terbaca pada *software progress* kemudian digunakan untuk mengetahui jenis batuan pada lintasan 2.



**Gambar 3.** *Interface progress* hasil pengolahan data lintasan 2.

**Tabel 2.** Hasil Pengolahan Data Lapisan Lintasan 2.

Kedalaman (m)	Nilai Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )	Jenis Batuan
0 – 0,28	188,08	Lempung
0,28 – 1,15	1027,83	Pasir dan kerikil
1,15 – 4,64	302,49	Pasir
4,64 – 6,16	223,80	Lempung
6,16	522,62	Kerikil

Nilai resistivitas lapisan tanah berkisar antara 188,08 – 1027,83  $\Omega\text{m}$ . Lapisan tanah pertama di lokasi penelitian dengan nilai resistivitas 188,08  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0 – 0,28 m di interpretasikan sebagai lapisan lempung. Lapisan kedua memiliki nilai resistivitas 1027,83  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0,28 – 1,15 m di interpretasikan sebagai lapisan pasir dan kerikil. Lapisan ketiga memiliki nilai resistivitas 302,49  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 1,15 – 4,64 m di interpretasikan sebagai lapisan pasir. Kemudian nilai resistivitas selanjutnya adalah 223,80  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 4,64 – 6,16 m di interpretasikan sebagai lapisan lempung. Lapisan terakhir yang terbaca pada nilai resistivitas 522,62  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 6,16 m di interpretasikan sebagai lapisan kerikil.

## KESIMPULAN

Hasil pengukuran resistivitas di Taman Ilmu Universitas Riau untuk lintasan 1 nilai resistivitas lapisan tanah tertinggi 863,14  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 2,28 – 31,12 m dan yang terendah 226,90  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0,68 – 1,28 m. Sedangkan untuk lintasan 2 nilai resistivitas lapisan tanah tertinggi 1027,83  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0,28 – 1,15 m dan kerikil dan terendah 188,08  $\Omega\text{m}$  pada kedalaman 0 – 0,28 m. Nilai resistivitas tertinggi dan terendah masing-masing cenderung teridentifikasi sebagai pasir kerikil dan lempung.

## REFERENSI

1. Mariska, M. & Asriwandari, H. (2017). Pemanfaatan ruang terbuka science park (taman ilmu) Universitas Riau bagi

masyarakat sekitarnya. *JOM FISIP UNRI*, **4**(1), 1–15.

- Arumsari, F., Firzal, Y., & Mira Dharma Susilawati, M. D. (2017). Penerapan arsitektur bioklimatik pada Science Technology Park Universitas Riau. *JOM FT UNRI*, **4**(2), 1–9.
- Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Putra, D. & Malik, U. (2021). Identifikasi litologi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi dipole-dipole di wisata Hapanasan Desa Pawan Kabupaten Rokan Hulu. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 106–110.
- Riputra, B. Y. & Malik, U. (2021). survei sumber air panas dengan metode geolistrik konfigurasi Wenner (Studi kasus: Wisata air panas Pawan, Pasirpangaraian). *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(2), 146–150.
- Bowles, J. E. & Hainim, J. K. (1984). *Sifat-sifat fisis dan geoteknis tanah (mekanika tanah)*. Jakarta: Erlangga.
- Hanafiah, K. A. (2005). *Dasar-dasar ilmu tanah*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Wijaya, A. S. (2015). Aplikasi metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner untuk menentukan struktur tanah di halaman belakang SCC ITS Surabaya. *Jurnal Fisika Indonesia* **19**(55), 1–5.
- Nainggolan, M. S. N., Erwin, E., Yanuar, Y., & Malik, U. (2019). Penentuan sifat magnetik pasir dan debu sepanjang jalan Kartama Kota Pekanbaru Menggunakan Magnetic Probe Pasco PS-2162. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **16**(1), 12–19.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1987). *Mekanika tanah dalam praktek rekayasa*. Jakarta: Erlangga.



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

## ANALISA DISTRIBUSI DOSIS PADA FANTOM HOMOGEN DAN INHOMOGEN DENGAN SIMULASI MONTE CARLO

**Sitti Yani**

Jurusan Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor

E-mail korespondensi: [sittiyani@apps.ipb.ac.id](mailto:sittiyani@apps.ipb.ac.id)

### ABSTRACT

*Monte Carlo simulation with electron gamma shower (EGSnrc) code can produce 3-dimensional dose distribution data. The percent depth dose curve (PDD), dose profile, and isodose curve can be extracted through this 3-dimensional data. In this study, a photon source with an energy of 2 MeV is placed at the source to surface distance (SSD) from the phantom surface by adjusting the collimator aperture which is used to control the size of the exposure field. The SSD distance was varied at a distance of 50 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, and 100 cm. The size of the exposure area is also varied by  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ,  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ,  $7 \times 7 \text{ cm}^2$ , and  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . The dose distribution analysis was carried out on homogeneous phantoms containing water and inhomogeneous phantoms containing tissue/bone/lung/bone/tissue material. The PDD curve and dose profile represent dose changes with depth and x or y direction, respectively. The PDD curve on a homogeneous phantom shows an increase in the value on the surface of the phantom to the depth with the maximum dose. This curve then decreases gradually with increasing depth. Inhomogeneous phantoms show spikes in the border region of the two media with different densities. This is due to the contribution of the backscattered electrons generated by the bone media and into the tissue media. This phenomenon is also seen in the isodose curve for inhomogeneous phantoms.*

**Keywords:** EGSnrc, Percent Depth Dose, Dose Profile, Isodose Curve.

### ABSTRAK

*Simulasi Monte Carlo dengan kode electron gamma shower (EGSnrc) dapat menghasilkan data distribusi dosis 3-dimensi. Kurva percent depth dose (PDD), profil dosis, dan kurva isodosis dapat diekstrak melalui data 3-dimensi ini. Dalam penelitian ini, sumber foton berenergi 2 MeV diletakkan pada jarak source to surface distance (SSD) dari permukaan fantom dengan mengatur bukaan kolimator yang digunakan untuk mengontrol ukuran medan paparan. Jarak SSD divariasikan pada jarak 50 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, dan 100 cm. Ukuran medan paparan juga divariasikan  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ,  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ,  $7 \times 7 \text{ cm}^2$ , dan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ . Analisis distribusi dosis dilakukan pada fantom homogen yang berisi air dan inhomogen yang berisi material jaringan/tulang/paru-paru/tulang/jaringan. Kurva PDD dan profil dosis masing-masing menggambarkan perubahan dosis terhadap kedalaman dan arah x atau y. Kurva PDD pada fantom homogen menunjukkan nilai yang meningkat pada permukaan fantom sampai pada kedalaman dengan dosis maksimum. Kurva ini selanjutnya menurun secara gradual seiring dengan bertambahnya kedalaman. Pada fantom inhomogen menunjukkan spike pada daerah perbatasan dua medium dengan densitas yang berbeda. Hal ini diakibatkan oleh kontribusi elektron backscatter yang diproduksi oleh medium tulang dan memasuki medium jaringan. Fenomena ini juga terlihat pada kurva isodosis untuk fantom inhomogen.*

**Kata kunci:** EGSnrc, Percent Depth Dose, Profil Dosis, Kurva Isodosis.

Diterima 19-03-2022 | Disetujui 26-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

### PENDAHULUAN

Berkas yang dihasilkan oleh radiasi pengion ketika memasuki sebuah fantom atau pasien akan mendepositkan energi di sepanjang

perjalanannya sehingga data distribusi dosis dapat diperoleh pada setiap *voxel* yang didefinisikan. Analisis distribusi dosis dapat dilakukan 1 dimensi, 2 dimensi dan 3 dimensi. Analisis 1 dimensi berupa kurva *percent depth*

*dose* (PDD) dan profil dosis. PDD didefinisikan sebagai dosis yang diserap oleh medium pada kedalaman tertentu relatif terhadap kedalaman yang memiliki dosis maksimum pada pusat berkas. Jika berkas foton mengenai permukaan fantom tertentu maka dosis yang diserap akan bervariasi terhadap kedalaman. Variasi ini bergantung pada beberapa faktor seperti energi berkas, kedalaman, ukuran medan paparan, *source to surface distance* (SSD), dan sistem kolimasi [1]. Profil dosis menunjukkan distribusi dosis dalam arah *inline* dan *crossline* dalam arah *x* atau *y* dalam koordinat kartesian yang relatif terhadap dosis maksimum. Analisis profil dosis pada umumnya digunakan untuk memverifikasi ukuran medan paparan dan SSD. Analisis 2 dan 3 dimensi masing-masing berupa kurva isodosis dan *dose-volume histogram* (DVH). Analisis distribusi dosis sangat penting dalam memprediksi dosis yang diterima oleh fantom atau pasien [2].

Simulasi Monte Carlo (MC) dapat digunakan untuk mensimulasikan berkas yang melewati suatu medium dan menghitung energi yang terdeposit [3]. Dosis yang diakibatkan oleh energi deposisi tersebut menghasilkan data distribusi dosis 3 dimensi. Saat ini, beberapa kode MC yang digunakan dalam aplikasi radioterapi banyak dikembangkan, yakni *electron gamma shower* (EGSnrc) [4], MCNP [5], Geant4 [6], FLUKA [7], dan PHITS [8]. Hasil simulasi kode-kode MC ini menghasilkan data distribusi dosis.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis distribusi dosis 1 dan 2 dimensi pada fantom homogen dan inhomogen dengan simulasi EGSnrc.

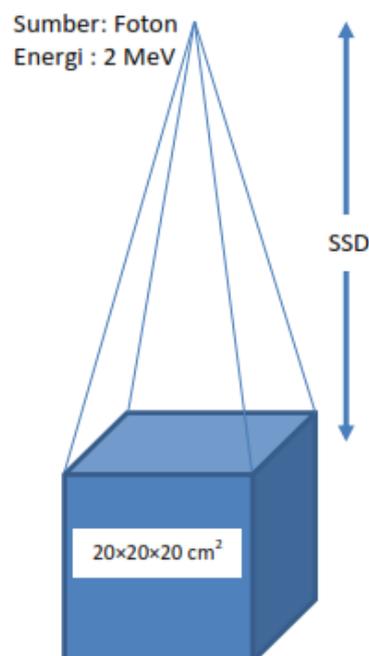
## METODE PENELITIAN

### EGSnrc

Kode MC, perangkat lunak EGSnrc dikembangkan oleh *national research council of canada* yang didalamnya telah diintegrasikan dengan metode MC yang digunakan untuk mensimulasikan perjalanan foton dan elektron dalam material dengan geometri tertentu.

Perangkat lunak ini dapat mensimulasikan partikel berenergi beberapa 1 keV sampai 10 GeV. EGSnrc memiliki dua kode utama yakni BEAMnrc dan DOSXYZnrc. BEAMnrc dan DOSXYZnrc masing-masing digunakan untuk mendesain kepala *linear accelerator* dan mensimulasikan distribusi dosis pada fantom homogen dan inhomogen [9]. Pada DOSXYZnrc, fantom dapat didesain secara virtual maupun dengan menggunakan data citra *computed tomography* [10]. Dalam penelitian ini menggunakan fantom virtual dengan mengeset volume dalam fantom.

### Desain Simulasi



**Gambar 1.** Set-up simulasi.

Simulasi ini menggunakan sumber monoenergetik 2 MeV. Sumber ini diletakkan di atas fantom homogen dan inhomogen (Gambar 1). Variasi simulasi yang dilakukan adalah variasi ukuran medan paparan, jarak SSD, dan kandungan fantom. Variasi yang digunakan adalah sebagai berikut.

- Ukuran medan paparan:  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ,  $5 \times 5 \text{ cm}^2$ ,  $7 \times 7 \text{ cm}^2$ , dan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ .
- SSD: 50 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, dan 100 cm.
- Fantom: homogen (air) dan inhomogen (jaringan/tulang/paru-paru/tulang/jaringan).

Sumber menggunakan partikel foton monoenergetik berenergi 2 MeV. Dimensi fantom homogen dan inhomogen adalah  $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ . Pada fantom homogen, seluruh *voxel* berisi air sedangkan fantom inhomogen dibuat dengan menyusun potongan-potongan material yang terdiri atas jaringan/tulang/paru-paru/tulang/jaringan. Energi *cut-off* elektron dan foton pada simulasi masing-masing diatur pada energi 0,7 MeV dan 0,01 MeV.

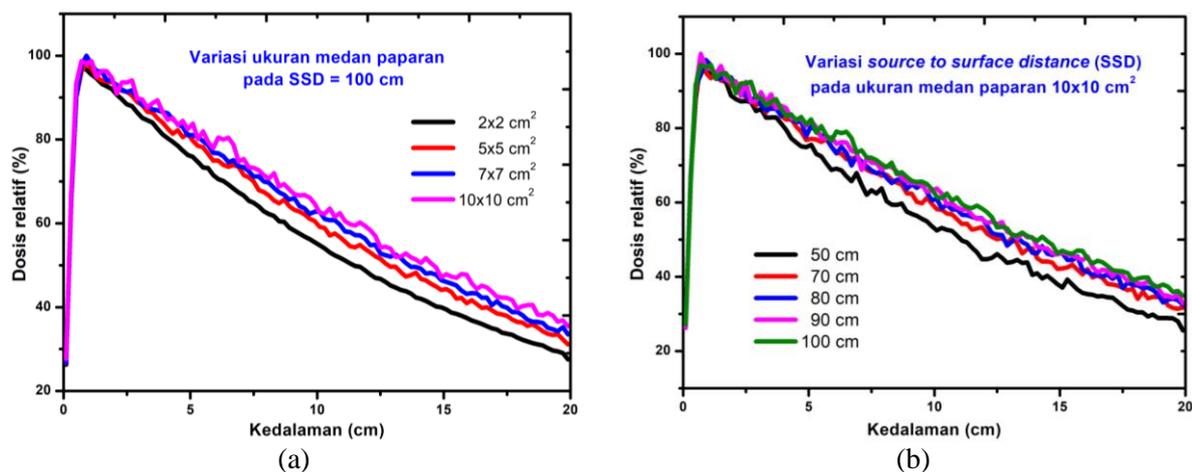
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi MC menggunakan set-up simulasi pada Gambar 1 menghasilkan data distribusi dosis 3 dimensi. Hasil simulasi ini dianalisis 1 dan 2 dimensi berupa kurva PDD, profil dosis pada kedalaman 2 cm dan 5 cm, dan kurva isodosis baik pada fantom homogen maupun inhomogen masing-masing dengan variasi ukuran medan paparan dan SSD.

Pada Gambar 2 menunjukkan PDD dengan variasi ukuran medan paparan dan variasi SSD. Kedalaman dengan dosis maksimum pada variasi ukuran medan paparan berada pada kedalaman 0,7 - 0,9 cm (Gambar 2(b)). Kisaran

nilai ini cukup besar karena kedalaman dengan dosis maksimum ( $d_{max}$ ) ini pada umumnya hanya bergantung pada energi berkas sedangkan kebergantungan pada medan paparan dapat diabaikan. Dosis pada permukaan (*surface dose*) pada kedalaman kurang dari 7 cm memiliki deviasi yang sangat kecil satu sama lain. Pada permukaan, partikel sekunder yang dihasilkan oleh interaksi antara foton dengan atom memiliki jangkauan yang panjang karena memiliki energi kinetik yang besar yang berasal dari interaksi foton dengan foton berupa efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Perubahan yang sangat signifikan terjadi pada kedalaman 2,3 cm dimana ukuran medan paparan  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  memberikan nilai dosis yang jauh lebih kecil dibandingkan medan paparan lainnya. Kebergantungan ukuran medan paparan terlihat jelas pada energi foton awal 2 MeV dalam simulasi ini.

Kebergantungan PDD terhadap SSD sangat besar karena berkaitan erat dengan hukum kuadrat terkecil dimana semakin kecil SSD maka semakin besar dosis yang diterima oleh fantom seperti terlihat pada Gambar 2(b).



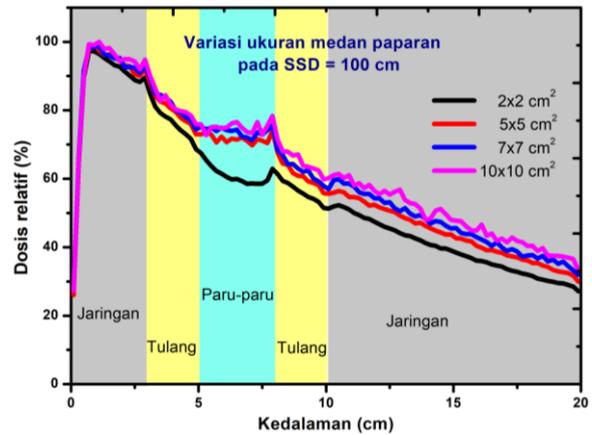
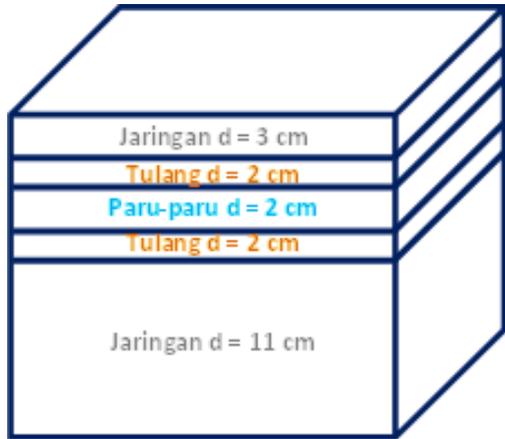
**Gambar 2.** Kurva PDD untuk variasi (a) ukuran medan paparan dan (b) SSD

PDD pada fantom inhomogen ditunjukkan pada Gambar 3 berikut. Fantom homogen (Gambar 3(b)) terdiri atas potongan jaringan, tulang, paru-paru, tulang, dan jaringan dengan ketebalan yang spesifik. Kurva PDD pada fantom inhomogen untuk SSD 100 cm dengan ukuran medan paparan yang bervariasi

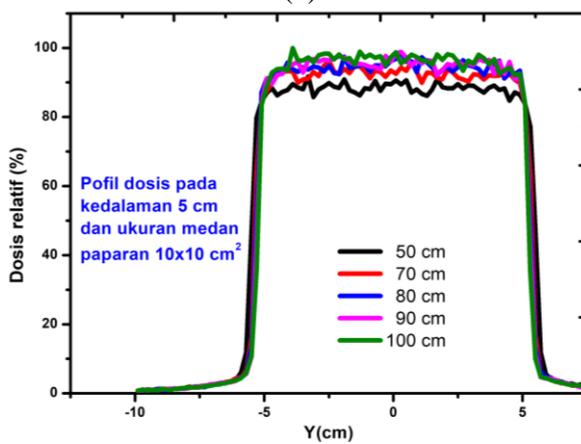
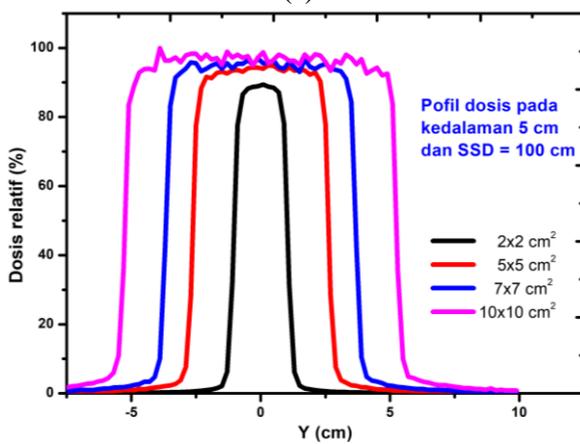
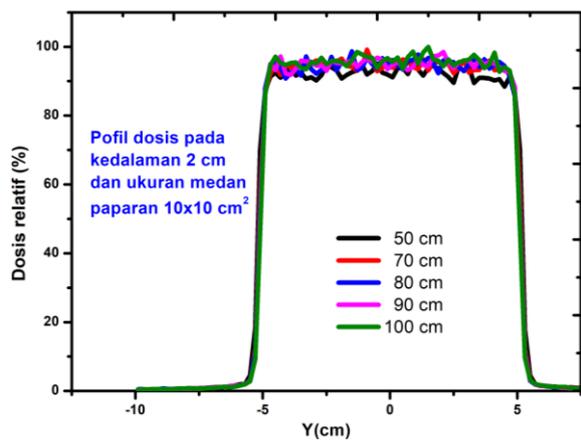
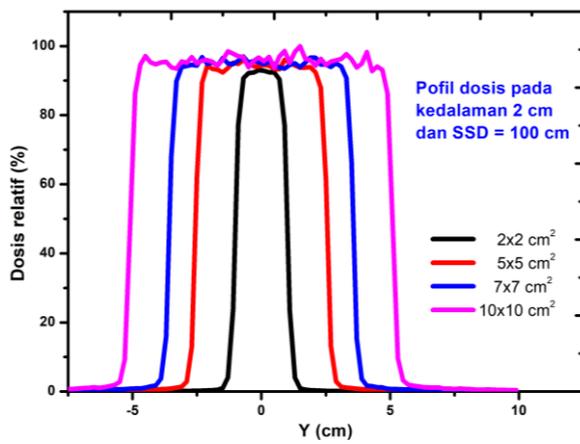
menunjukkan nilai yang lebih kecil pada medan paparan  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . PDD pada medan paparan lainnya memiliki nilai deviasi yang kurang dari 5%. Pada perbatasan antara medium dengan densitas medium ke medium dengan densitas tinggi menimbulkan munculnya *spike*, pada perbatasan jaringan dan

tulang. Hal serupa juga terjadi ketika partikel melewati medium yang kurang rapat ke medium yang lebih rapat. Partikel sekunder berupa electron backscatter menyebabkan munculnya *spike* ini. Hasil ini sejalan dengan

penelitian kami sebelumnya yang menunjukkan munculnya *spike* pada kurva PDD di daerah perbatasan medium dengan kerapatan yang berbeda [11].

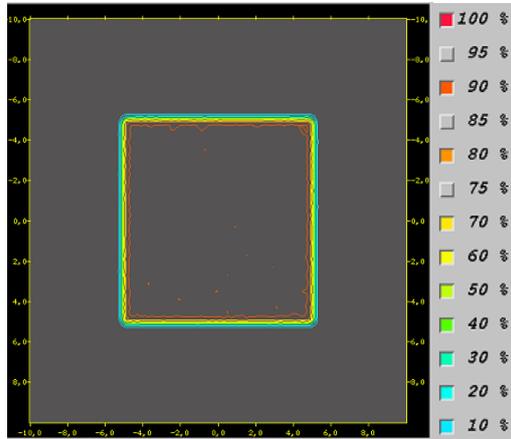


Gambar 3. (a) Struktur fantom inhomogen dan (b) PDD pada SSD 100 cm

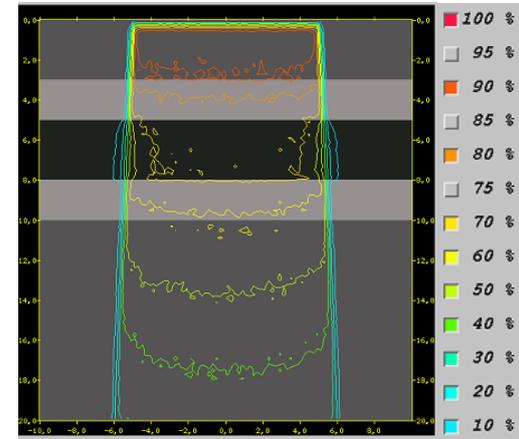


Gambar 4. Profil dosis pada (a) kedalaman 2 cm, SSD 100 cm, variasi medan paparan (b) kedalaman 2 cm, medan paparan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , variasi SSD, (c) kedalaman 5 cm, SSD 100 cm, variasi medan paparan, dan (d) kedalaman 5 cm, medan paparan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , variasi SSD

Kurva isodosis digunakan untuk merepresentasikan variasi volumetrik dosis serap di semua titik. Kurva ini menghubungkan titik-titik yang memiliki dosis yang sama. Pada Gambar 5 berikut



(a)



(b)

**Gambar 5.** (a) Kurva isodosis dalam bidang XY pada kedalaman 1,4 cm dengan ukuran medan paparan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  pada fantom homogen dan (b) Kurva isodosis dalam bidang XZ dengan ukuran medan paparan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  pada fantom inhomogen

Kurva isodosis pada fantom inhomogen (Gambar 5(b)) menunjukkan warna fantom yang berbeda. Perbedaan warna ini diakibatkan karena beberapa potongan material yang disusun dalam fantom inhomogen.

## KESIMPULAN

Data distribusi dosis yang diperoleh dari simulasi MC EGSnrc dapat dianalisis PDD, profil dosis, dan kurva isodosisnya. Kurva PDD pada fantom inhomogen menunjukkan *spike* pada daerah perbatasan dua medium yang memiliki densitas yang berbeda.

## REFERENSI

- Podgorsak, E.B. (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Khan, F.M. & Gibbons, J.P. (2014). *Khan's the physics of radiation therapy edisi kelima*. Pennsylvania: Wolters Kluwer Health.
- Andreo, P. (2018). Monte Carlo simulations in radiotherapy dosimetry. *Radiation Oncology*, **13**(1), 1–15.
- Yani, S. (2021). Metode Monte Carlo pada Teknik 3D Conformal. *POSITRON*, **11**(1), 21–30.
- Jabbari, I. & Monadi, S. (2015). Development and validation of MCNPX-based Monte Carlo treatment plan verification system. *Journal of Medical Physics*, **40**(2), 80–89.
- Tisi, M., Mares, V., Schreiber, J., Englbrecht, F. S., & Rühm, W. (2021). Geant4 Monte Carlo simulation study of the secondary radiation fields at the laser-driven ion source LION. *Scientific reports*, **11**(1), 1–16.
- Abdul Haneefa, K., Cyriac, T. S., Musthafa, M. M., Ganapathi Raman, R., Hridya, V. T., Siddhartha, A., & Shakir, K. K. (2014). FLUKA Monte Carlo for basic dosimetric studies of dual energy medical linear accelerator. *Journal of Radiotherapy*, **2014**.
- Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., Abe, S., Kai, T.,

- Tsai, P-E, Matsuda, N., Iwase, H., Shigyo, N., Sihver, L., & Niita, K. (2018). Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02. *Journal of Nuclear Science and Technology*, **55**(6) 684–690
9. Walters, B., Kawrakow, I., & Rogers, D.W.O. (2021). *DOSXYZnrc users manual*. Ottawa: National Research Cancer of Canada.
10. Treurniet, J., Walters, B., Kawrakow, I., & Rogers, D.W.O. (2021). *EGSnrc users manual*. Ottawa: National Research Cancer of Canada.
11. Yani, S., Rhani, M.F., Haryanto, F., & Arif, I. (2016). Inhomogeneity effect in Varian Trilogy Clinac iX 10 MV photon beam using EGSnrc and Geant4 code system. *Journal of Physics Conference Series*, **739**(1), 012117.



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

# PEMBUATAN ELEKTRODA KARBON DARI BIOMASSA SABUT KELAPA MUDA DENGAN AKTIVATOR KOH SEBAGAI APLIKASI SEL SUPERKAPASITOR

Zurya Hanifa, Awitdrus\*

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [awitdrus@lecturer.unri.ac.id](mailto:awitdrus@lecturer.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*The supercapacitor is a storage device consisting of carbon electrodes, separator, electrolyte, and current collector. Carbon electrodes made from young coconut coir biomass with a mass ratio of 1:0.20 KOH activator have been successfully fabricated with a carbonization temperature of 550 °C and a physical activation temperature of 750 °C. Characterization of physical properties by measuring the density value showed that before and after pyrolysis decreased due to KOH activating agent. Furthermore, the electrochemical characterization using the voltammetry cyclic method showed the specific capacitance value to the scanning rate, where the highest specific capacitance value was 163.14 F/g with a scanning rate of 1 mV/s.*

**Keywords:** Young Coconut Husk, Carbon Electrode, Supercapacitor, Mass Ratio of KOH Activator.

## ABSTRAK

*Superkapasitor merupakan piranti penyimpanan yang terdiri dari elektroda karbon, separator, elektrolit dan pengumpul arus. Elektroda karbon terbuat dari biomassa sabut kelapa muda dengan rasio massa aktivator KOH 1:0,20 telah berhasil dibuat dengan suhu karbonisasi 550 °C dan suhu aktivasi fisika 750 °C. Karakterisasi sifat fisis dengan pengukuran nilai densitas memperlihatkan sebelum dan setelah pirolisis mengalami penurunan yang disebabkan agen pengaktif KOH. Selanjutnya karakterisasi sifat elektrokimia menggunakan metode siklus voltametri memperlihatkan nilai kapasitansi spesifik terhadap laju pemindaian, dimana nilai kapasitansi spesifik tertinggi yaitu 163,14 F/g dengan laju pemindaian 1 mV/s.*

**Kata kunci:** Sabut Kelapa Muda, Elektroda Karbon, Superkapasitor, Rasio Massa Aktivator KOH.

Diterima 10-12-2021 | Disetujui 07-01-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang terpapar COVID-19 hal ini membuat pemerintah Indonesia menerapkan sistem *work from home* yang mengakibatkan kenaikan pemakaian energi listrik mencapai 13% - 20% perbulan sedangkan ketersediaan energi setiap tahunnya semakin menipis seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk, hal ini perlu diatasi jika tidak Indonesia akan mengalami krisis energi apabila berlangsung secara terus menerus [1]. Permasalahan ini dapat diminimalisir dengan cara menggunakan

alternatif lain untuk menghemat energi seperti energi baru terbarukan. Superkapasitor merupakan piranti penyimpanan energi terdiri dari elektrodayang terbuat dari biomassa, elektrolit, saporator dan pengumpul arus yang memiliki kapasitansi yang tinggi dari kapasitor konvensional lainnya [2]. Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang berasal dari makhluk hidup [1]. Sabut kelapa muda adalah biomassa yang belum dimanfaatkan secara maksimal karena teksturnya yang masih keras dan banyak mengandung air, pembuatan elektroda karbon dari sabut kelapa merupakan

alternatif untuk mengurangi limbah biomassa sabut kelapa muda .

Adapun proses pembuatan karbon aktif yaitu pra-karbonisasi, karbonisasi dan aktivasi. Pada proses aktivasi kimia, aktivator sangat berperan penting sebagai zat pengaktif elektroda superkapasitor. Selain sebagai zat pengaktif, aktivator berfungsi untuk memperluas permukaan karbon sehingga memiliki daya serap yang besar [3]. Aktivator-agen pengaktif yang bisa digunakan adalah KOH, ZnCl<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, namun aktivator-agen pengaktif yang sering digunakan adalah KOH karena mampu menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan sebesar 3000 m<sup>2</sup>/g [4], yang dapat mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon.

Kelapa (*cocos nucifera*) merupakan tanaman yang banyak ditemui di Indonesia, luas perkebunan kelapa di Indonesia mencapai 3.548.883 ha dengan produksi 2.887.961 ton/tahun [5]. Komposisi kelapa terdiri dari 75% serat dan 25% gabus yang menghubungkan serat satu dengan lainnya [6].

**Tabel 1.** Komposisi kimia sabut kelapa [7].

Komponen	Persentase(%)
Abu	26
Pektin	14,25
Hemiselulosa	8,50
Selulosa	21,07
Lignin	29,23

Superkapasitor atau dikenal juga dengan *electrochemical double layercapacitors* merupakan kapasitor elektrokimia dengan kepadatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional. Superkapasitor memiliki keunggulan masa pakai yang lebih lama daripada kapasitor biasa, waktu pengisian energi lebih cepat, prinsip dan model sederhana, kapasitas penyimpanan energi lebih besar, rapat daya dan energi tinggi, serta penggunaan yang aman [8].

Penelitian ini difokuskan pada pemanfaatan limbah sabut kelapa muda sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif untuk material elektroda superkapasitor dengan perbandingan

massa aktivator KOH 1:0,20 dengan suhu aktivasi fisika 750 °C dan suhu karbonisasi 550 °C untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik terbaik sebagai elektroda superkapasitor. Penelitian ini diharapkan menjadi nilai tambah terhadap pemanfaatan limbah sabut kelapa mudadengan mengkonversi limbah tersebut menjadi elektroda superkapasitor.

## METODE PENELITIAN

Biomassa sabut kelapa muda diperoleh dari penjual es kelapa muda di Provinsi Riau. Sabut kelapa muda dipisahkan dari cangkangnya kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama kurang lebih 3 hari lalu tahap selanjutnya pra-karbonisasi menggunakan oven dengan suhu 100 °C - 250 °C, kemudian di-*balmilling* dan diayak menggunakan ayakan 53 µm. Aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif KOH dengan perbandingan rasio massa aktivator 1: 0,20 dengan massa karbon sebanyak 20 gram. Sampel dicetak menggunakan *hydraulic press* dengan tekanan 7 ton. Karbonisasi menggunakan gas N<sub>2</sub> pada suhu 550 °C dan aktivasi fisika menggunakan gas CO<sub>2</sub> pada suhu 750 °C. Elektroda karbon dinetralkan dengan PH = 7 dan dikeringkan pada suhu 100 °C. Elektroda dipoles dengan ketebalan 0,2 - 0,3 mm dan berdiameter 7 - 8 mm selanjutnya direndam dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M.

## Karakterisasi Sel Superkapasitor

Analisa pengukuran densitas dilakukan setelah pencetakan pelet dan aktivasi fisika untuk menegetahui rapat massa dari sampel dengan pengukuran massa, volume dan ketebalan dimana hasil pengukuran ini dihitung dengan rumus standar [9].

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

Sifat elektrokimia diukur menggunakan *cyclic voltammetry* (CV) dengan memasang dua elektroda yang telah di rendam elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1M dan dipisahkan oleh separator

berupa masker bermerek sensi. Metode ini dilakukan dengan *Physics CV UR Rad-far 5841* dengan laju pemindaian 1 - 5 mV pada potensial 0 - 1 V. Hasil dari pengukuran CV berupa kurva *charge-discharge* antara rapat arus ( $A/cm^2$ ) dengan tegangan  $V$ . Kapasitansi spesifik dihitung menggunakan persamaan standar [10]:

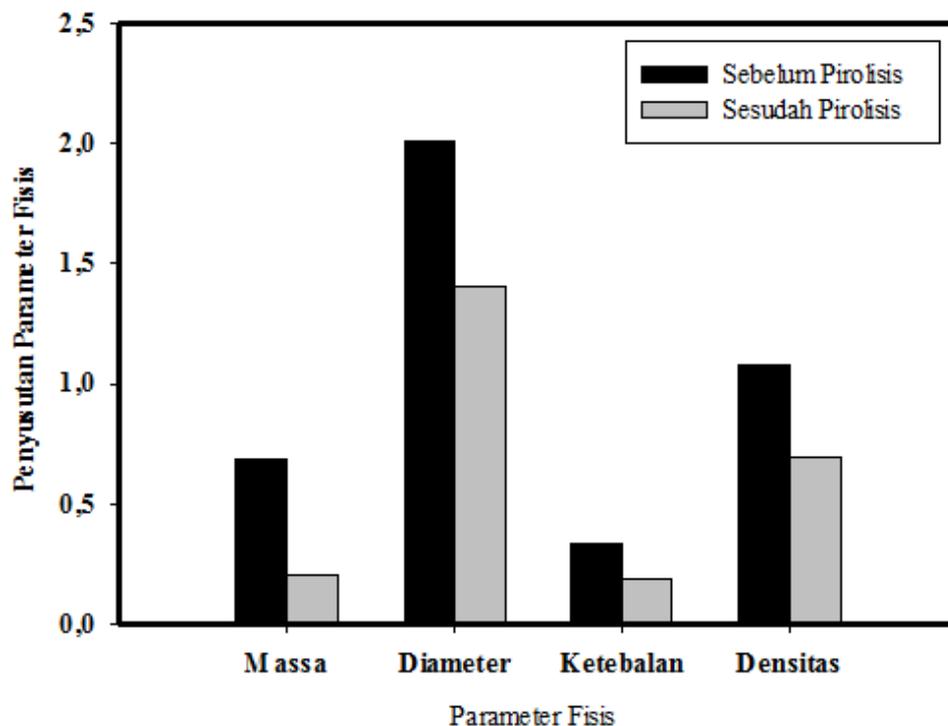
$$C_{sp} = \frac{2(I_c - I_d) / 2}{s \times m} \quad (2)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Densitas

Pengukuran densitas dilakukan sebelum dan sesudah karbonisasi aktivasi dengan pengukuran ketebalan, diameter dan massa pelet karbon. Proses karbonisasi, aktivasi kimia

dan aktivasi fisika berpengaruh pada besarnya nilai densitas dan nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon. Aktivasi kimia bereaksi langsung dengan serbuk karbon dan aktivasi fisika bereaksi dengan permukaan karbon [11]. Gambar 1 memperlihatkan nilai massa, diameter, ketebalan dan densitas mengalami penurunan sebelum dan sesudah karbonisasi-aktivasi, hal ini disebabkan oleh proses karbonisasi aktivasi berfungsi untuk menghilangkan unsur lain selain karbon. Penurunan densitas diakibatkan karena terjadinya reaksi  $H_2O$  dengan karbon sehingga terjadi pemutusan rantai karbon yang membentuk pori baru pada elektroda karbon [12]. Pori-pori ini menentukan luas permukaan karbon yang disebabkan partikel-partikel karbon yang terpecah menjadi bagian yang lebih kecil [13].

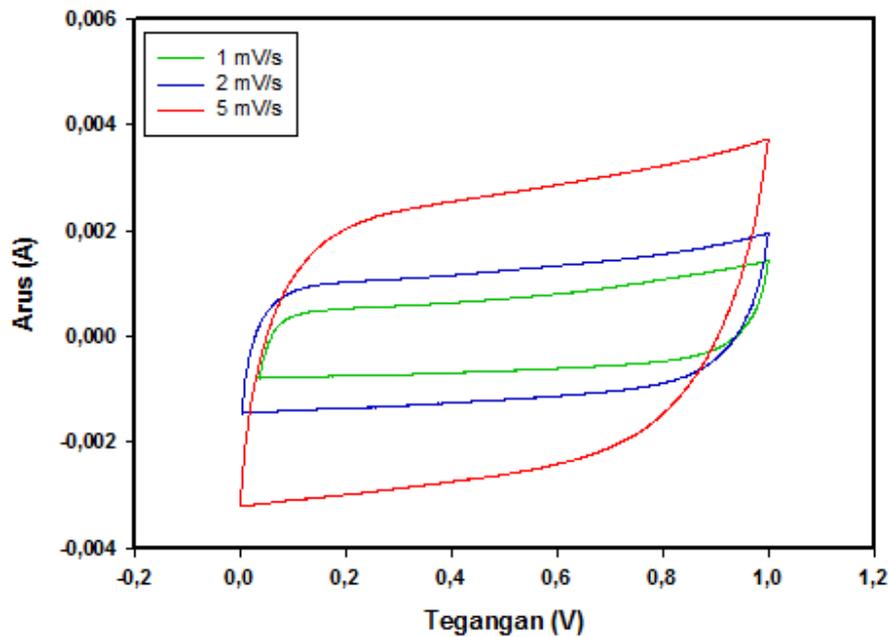


**Gambar 1.** Nilai densitas elektroda karbon.

### Analisis Sifat Elektrokimia

Analisa sifat elektrokimia menggunakan metode CV untuk menentukan nilai kapasitansi spesifik elektroda biomassa sabut kelapa muda, dimana laju pemindaian yang digunakan adalah 1 mV/s, 2 mV/s dan 5 mV/s dengan tegangan 0

- 1 V. Gambar 2 menunjukkan kurva CV untuk laju pemindaian 1 mV/s dengan hubungan rapat arus dan tegangan. Kurva CV yang terbentuk seperti segi empat ini umum dari pada pemanfaatan karbon aktif sebagai elektroda superkapasitor.



**Gambar 2.** Kurva hasil CV dengan laju pemindaian 1 mV/s, 2 mV/s dan 5 mV/s.

Gambar 2 menunjukkan luas kurva yang terbentuk di pengaruhi oleh arus *charge-discharge* yang masuk kedalam pori melalui ion-ion, arus charge yaitu arus yang masuk saat ion-ion mengalami proses pengisian ditandai dengan kurva bagian atas, sedangkan arus *discharge* ditandai dengan kurva bagian bawah saat ion-ion mengalami proses pengosongan. Proses *charge-discharge* mempengaruhi luas kurva, semakin besar arus *charge-discharge* maka semakin besar pula luas kurva. Hubungan luas kurva terhadap nilai kapasitansi spesifik elektroda, semakin besar luas kurva maka semakin tinggi nilai kapasitansi spesifiknya.

**Tabel 2.** Nilai kapasitansi spesifik.

Laju Pemindaian (mV/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	163,14
2	146,39
5	127,17

Tabel 2 menunjukkan bahwa laju pemindaian berpengaruh terhadap nilai kapasitansi spesifik dan luas kurva pada elektroda karbon, semakin meningkat laju pemindaian maka nilai kapasitansi spesifik elektroda karbon semakin menurun, hal ini dipengaruhi oleh luas permukaan, ukuran pori dan kombinasi mikro dan mesopori [14, 15].

Peningkatan laju pemindaian akan menurunkan nilai kapasitansi spesifik, hal ini disebabkan karena difusi ion yang lebih sedikit sehingga konduktivitas listrik semakin menurun. Untuk laju pemindaian 1 mV/s membutuhkan waktu 1000 detik agar ion-ion terdifusi sempurna kedalam elektroda karbon dan menghasilkan kombinasi pori mikro dan mesopori, hal ini yang membuat nilai kapasitansi semakin tinggi [16]. Sebaliknya jika laju pemindaian diperbesar maka waktu yang dibutuhkan ion-ion terdifusi kedalam elektroda karbon semakin cepat sehingga ion-ion tidak tersimpan secara sempurna pada pori elektroda karbon yang mengakibatkan nilai kapasitansi spesifik semakin berkurang.

Aktivator KOH berfungsi untuk memecah zat pengotor melalui reaksi karbonisasi-aktivasi, proses karbonisasi-aktivasi menyebabkan KOH menguap sehingga terjadi pembentukan pori-pori pada elektroda karbon, pembentukan pori-pori ini memperluas permukaan karbon [17]. Semakin luas permukaan karbon, semakin banyak pori-pori yang terbentuk pada elektroda karbon maka semakin mudah ion-ion mengalami difusi dan semakin tinggi pula nilai kapasitansi spesifiknya.

## KESIMPULAN

Pembuatan elektroda karbon berbahan dasar sabut kelapa muda menggunakan agen pengaktif KOH dengan rasio massa 1:0,20 telah dilakukan. Karakterisasi sifat fisis dengan pengukuran densitas menunjukkan bahwa nilai densitas sebelum dan sesudah pirolisis menyebabkan penurunan. Karakterisasi sifat elektrokimia menggunakan CV dengan menggunakan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1M menghasilkan nilai kapasitansi spesifik yang berbeda, semakin besar laju pemindaian maka nilai kapasitansi spesifik semakin kecil. Kapasitansi spesifik tertinggi berada pada *scanrate* 1mV/s yaitu 163,14 F/g. Kapasitansi spesifik dipengaruhi oleh rasio massa KOH yang berfungsi sebagai memperluas permukaan dimana semakin luas permukaan nilai kapasitansi spesifik semakin tinggi dan semakin banyak pori yang terbentuk.

## REFERENSI

1. Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi biomassa sebagai sumber energi terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*, **5**(2), 88–92.
2. Borghei, S. A., Zare, M. H., Ahmadi, M., Sadeghi, M. H., Marjani, A., Shirazian, S., & Ghadiri, M. (2021). Synthesis of multi-application activated carbon from oak seeds by KOH activation for methylene blue adsorption and electrochemical supercapacitor electrode. *Arabian Journal of Chemistry*, **14**(2), 102958.
3. Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, **18**(2), 393–415.
4. Teng, H., & Hsu, L. Y. (1999). High-porosity carbons prepared from bituminous coal with potassium hydroxide activation. *Industrial & engineering chemistry research*, **38**(8), 2947–2953.
5. Muzaki, M. D. R., Sunarso, S., & Setiadi, A. (2020). Analisis potensi sabut kelapa serta strategi penggunaannya sebagai bahan baku pakan ternak ruminansia. *Livestock and Animal Research*, **18**(3), 274–288.
6. Carrijo, O. A., Liz, R. S. D., & Makishima, N. (2002). Fiber of green coconut shell as an agricultural substrate. *Horticultura brasileira*, **20**, 533–535.
7. Tyas, S. I. S. (2000). Studi netralisasi limbah serbuk sabut kelapa (Cocopeat) sebagai media tanam. Tesis Ilmu Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
8. Lystianingrum, V., Irawan, A., Santoso, I. B., Negara, I. M. Y., & Priyadi, A. (2021). On Feasibility of Ultracapacitor Full Electric Transit Bus for Jakarta, Indonesia. *2021 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP), IEEE*, 29 September 2021, 102–106.
9. Taer, E., Natalia, K., Apriwandi, A., Taslim, R., Agustino, A., & Farma, R. (2020). The synthesis of activated carbon nanofiber electrode made from acacia leaves (*Acacia mangium wild*) as supercapacitors. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, **11**(2), 025007.
10. Farma, R., Deraman, M., Awitdrus, A., Talib, I. A., Taer, E., Basri, N. H., Manjunatha, J. G., Ishak, M. M., Dollah, B. N., & Hashmi, S. A. (2013). Preparation of highly porous binderless activated carbon electrodes from fibres of oil palm empty fruit bunches for application in supercapacitors. *Bioresource technology*, **132**, 254–261.
11. Ayinla, R. T., Dennis, J. O., Zaid, H. M., Sanusi, Y. K., Usman, F., & Adebayo, L. L. (2019). A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. *Journal of cleaner production*, **229**, 1427–1442.
12. Taer, E., Taslim, R., Putri, A. W., Apriwandi, A., & Agustino, A. (2018). Activated carbon electrode made from

- coconut husk waste for supercapacitor application. *Int. J. Electrochem. Sci.*, **13**(12), 12072–12084.
13. Sudibandriyo, M. & Lydia, L. (2018). Karakteristik luas permukaan karbon aktif dari ampas tebu dengan aktivasi kimia. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, **10**(3), 149–156.
  14. Yang, S., Wang, S., Liu, X., & Li, L. (2019). Biomass derived interconnected hierarchical micro-meso-macro-porous carbon with ultrahigh capacitance for supercapacitors. *Carbon*, **147**, 540–549.
  15. Zhang, W., Xu, J., Hou, D., Yin, J., Liu, D., He, Y., & Lin, H. (2018). Hierarchical porous carbon prepared from biomass through a facile method for supercapacitor applications. *Journal of colloid and interface science*, **530**, 338–344.
  16. Awitdrus, Deraman, M., Talib, I. A., Farma, R., Omar, R., Ishak, M. M., Taer, E., Dolah, B. N., Basri, N. H., & Nor, N. S. M. (2015). Physical and electrochemical properties of supercapacitor composite electrodes prepared from biomass carbon and carbon from green petroleum coke. *AIP Conference Proceedings*, **1656**(1), 030007.
  17. Farma, R., Vivi, M., Sugiyanto, S., Awitdrus, A., Taer, E., & Yanuar, H. (2017). Cyclic Voltammetry Sel Superkapasitor Dengan Variasi Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida. *Jurnal Fisika Indonesia*, **21**(2), 20–24.



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

# IDENTIFIKASI HEWAN BERDASARKAN POLA AKUSTIK DENGAN PRINSIP EKSTRAKSI WAVELET DAN KLASIFIKASI MULTI-LABEL JARINGAN SYARAF TIRUAN

Defrianto<sup>1\*</sup>, Titrawani<sup>2</sup>, Lazuardi Umar<sup>1</sup>, Vepy Asyana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

<sup>2</sup>Jurusan Biologi FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [defrianto@lecturer.unri.ac.id](mailto:defrianto@lecturer.unri.ac.id)

## ABSTRACT

*An acoustic identification and classification system of frogs has been designed based on the principle of wavelet extraction and label classification using an artificial neural network (ANN). This system consists of electronic detection for frog audio as well as an interface using the MATLAB 2018b software as an ANN provider device. As input for the neural network, 5 types of frogs were used, namely the rock frog (*Limnonectes macrodon*), the blentung frog (*Kaloula baleata*), the hip frog (*Limnonectes blythii*), the rice field frog (*Fejervarya cancrivora*), and the trench frog (*Fejervarya limnocharis*). Each with 12 sound samples. Before being inserted into the neural network, 3 levels of sound samples were extracted and denoised using wavelet symlet 3. Furthermore, in the neural network training process, 3 validation samples and 3 test samples were used. After training, the artificial neural network was able to identify the type of frog being tested.*

**Keywords:** Frog, Wavelet Extraction, Artificial Neural Network.

## ABSTRAK

*Sistem identifikasi dan klasifikasi akustik katak telah dirancang berdasarkan prinsip ekstraksi wavelet dan klasifikasi label menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST). Sistem ini terdiri dari deteksi elektronik untuk audio katak serta antarmuka menggunakan perangkat lunak MATLAB 2018b sebagai perangkat penyedia JST. Sebagai masukan untuk neural network digunakan 5 jenis katak, yaitu katak batu (*Limnonectes macrodon*), katak blentung (*Kaloula baleata*), katak panggul (*Limnonectes blythii*), katak sawah (*Fejervarya cancrivora*), dan katak parit (*Fejervarya limnocharis*). Masing-masing dengan 12 sampel suara. Sebelum dimasukkan ke dalam neural network, 3 level sampel suara diekstraksi dan di-denoise menggunakan wavelet symlet 3. Selanjutnya pada proses pelatihan neural network digunakan 3 sampel validasi dan 3 sampel uji. Setelah pelatihan, jaringan syaraf tiruan mampu mengidentifikasi jenis katak yang diuji.*

**Kata kunci:** Kodok, Ekstraksi Wavelet, Jaringan Syaraf Tiruan.

Diterima 13-03-2022 | Disetujui 20-03-2022 | Dipublikasi 31-03-2022

## PENDAHULUAN

Selama dekade terakhir, penurunan dramatis populasi hewan-hewan langka tertentu telah diketahui di seluruh dunia [1]. Alasan penurunan ini disebabkan habitat yang hilang, spesies invasif, dan perubahan iklim [2, 3]. Di satu sisi, populasi yang menurun dengan cepat, sementara sisi lain keberadaan hewan-hewan sangat penting bagi lingkungan seperti kodok merupakan bagian integral dari jaring

makanan, dan penurunan populasi mereka dapat mengakibatkan dampak negatif melalui keseluruhan ekosistem [4-6]. Kodok merupakan spesies indikator penting untuk kesehatan lingkungan dan sangat berguna dalam penelitian medis yang bermanfaat bagi manusia [7, 8]. Oleh karena itu, menjadi penting untuk dilindungi.

Pada penelitian ini telah dikembangkan sistem identifikasi akustik dan klasifikasi kodok berdasarkan prinsip ekstraksi *wavelet*

dan klasifikasi label menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST). Sistem terdiri dari deteksi elektronik untuk audio kodok serta interface menggunakan software MATLAB 2018b sebagai perangkat penyedia JST.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Wavelet

Wavelet adalah sekumpulan fungsi dalam ruang  $L2(R)$  yang memiliki sifat-sifat berenergi terbatas, merupakan fungsi *band-pass* serta merupakan hasil translasi dan dilasi dari sebuah fungsi tunggal [9, 10]. Kumpulan fungsi ini memiliki bentuk umum sebagai berikut:

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

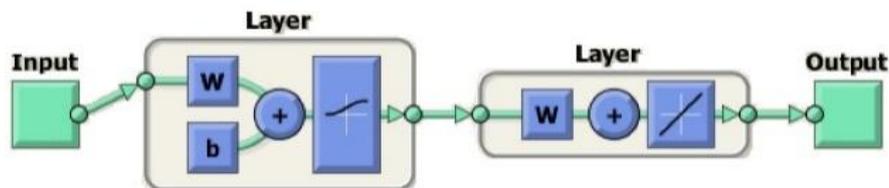
Dekomposisi *wavelet* terjadi ketika dilakukan proses transformasi sinyal ke dalam bentuk superposisi dari fungsi *wavelet*, sebagai

hasil dari dilasi dan translasi fungsi tunggal *wavelet* induk. Dalam Transformasi *wavelet* sebuah sinyal dilewatkan pada filter lolos tinggi dan lolos rendah, yang menyaring bagian (*subband*) berfrekuensi tinggi dan rendah dari sinyal [11-13].

Prosedur ini diulang-ulang dan setiap kalinya beberapabagian dari sinyal yang koresponden dengan frekuensi tertentu dihilangkan dari sinyal.

### JST

JST adalah jaringan dari sekelompok unit pemroses kecil yang dimodelkan berdasarkan sistem saraf manusia. JST merupakan sistem adaptif yang dapat mengubah strukturnya untuk memecah-kan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan tersebut [14]. Oleh karena sifatnya yang adaptif, JST juga sering disebut dengan jaringan adaptif. Secara umum JST dapat dimodelkan seperti Gambar 1.



Gambar 1. Model JST.

JST terdiri dari 3 bagian :

1. Lapis masukan (*input layer*) terdiri dari *neuron* yang menerima data masukan dari variabel  $X$ . Semua *neuron* pada lapis ini dapat terhubung ke *neuron* pada lapisan tersembunyi atau langsung ke lapisan luaran jika jaringan tidak menggunakan lapisan tersembunyi.
2. Lapisan tersembunyi (*hidden layer*) terdiri dari *neuron* yang menerima data dari lapisan masukan.
3. Lapisan luaran (*output layer*) terdiri dari *neuron* yang menerima data dari lapisan tersembunyi atau langsung dari

lapisan masukan yang nilai luarannya melambangkan hasil kalkulasi dari  $X$  menjadi nilai  $Y$ .

Secara matematis, *neuron* merupakan sebuah fungsi yang menerima masukan dari lapisan sebelumnya  $g_i(x)$  [15, 16]. Fungsi ini pada umumnya mengolah sebuah vektor untuk kemudian diubah ke nilai skalar melalui komposisi *nonlinear weighted sum*:

$$f(x) = b \sum w_i g_i(x) \quad (2)$$

$b$  merupakan fungsi khusus yang sering disebut dengan fungsi aktivasi dan  $w$  merupakan beban atau *weight*.

Suatu aplikasi JST dapat diberikan masukan berupa sampel data dengan berbagai label yang digunakan selama poses pelatihan. Selanjutnya jaringan yang telah dilatih dapat mengklasifikasi data input yang diberikan berikut-nya.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari :

1. Merancang sistem elektronik untuk mengumpulkan dan menyimpan rekaman suara, mikrokontroler sebagai pengolah data digital dan interface GUI Matlab 2018b sebagai tampilan antar muka pengukuran.
2. Membangun aplikasi komputer untuk dekomposisi dan denoisy data wavelet serta klasifikasi dengan menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.
3. Proses dekomposisi dan denoisy sampel melalui transformasi wavelet sebanyak 3 tingkat menggunakan wavelet Symlet 3 menggunakan aplikasi yang telah dibangun.
4. Proses Pelatihan Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan aplikasi yang telah dibangun.
5. Menguji Jaringan Syaraf Tiruan yang telah dilatih dengan memberikan data testing.

6. Membuat kesimpulan dari hasil yang didapat.

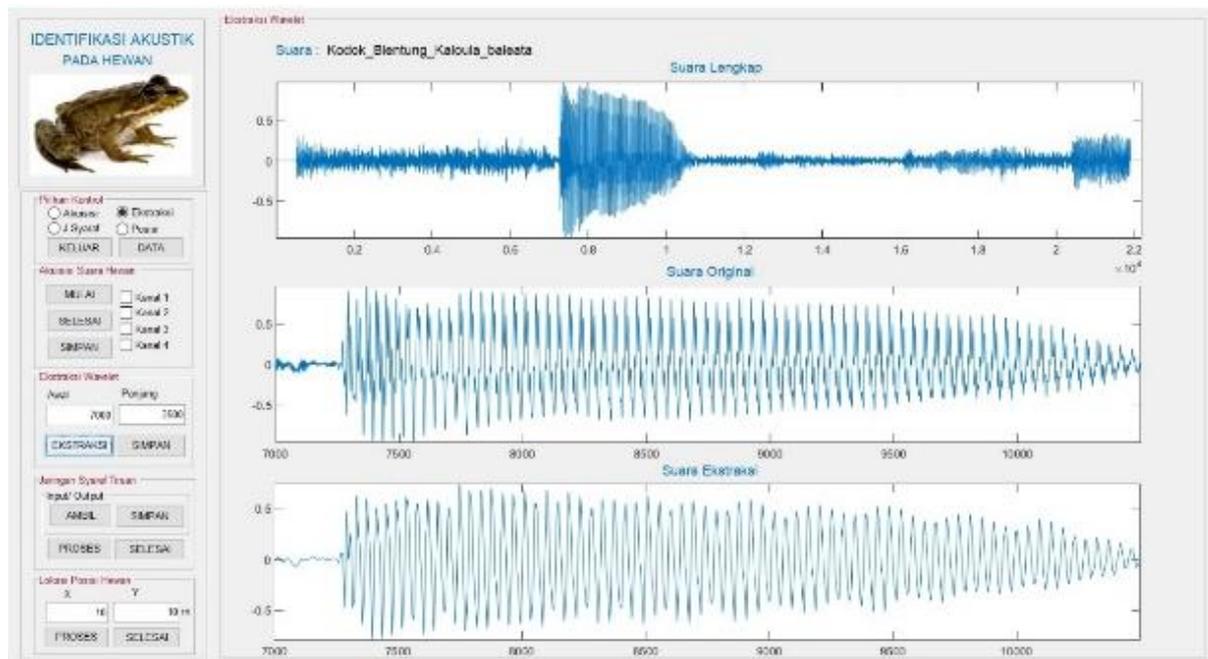
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan sampel suara kodok batu (*Limnonectes macrodon*), kodok blentung (*Kaloula baleata*), kodok panggul (*Limnonectes blythii*), kodok sawah (*Fejervarya cancrivora*) dan kodok parit (*Fejervarya limnocharis*). Untuk proses pelatihan dan *testing* JST digunakan jumlah sampel seperti pada Tabel 1.

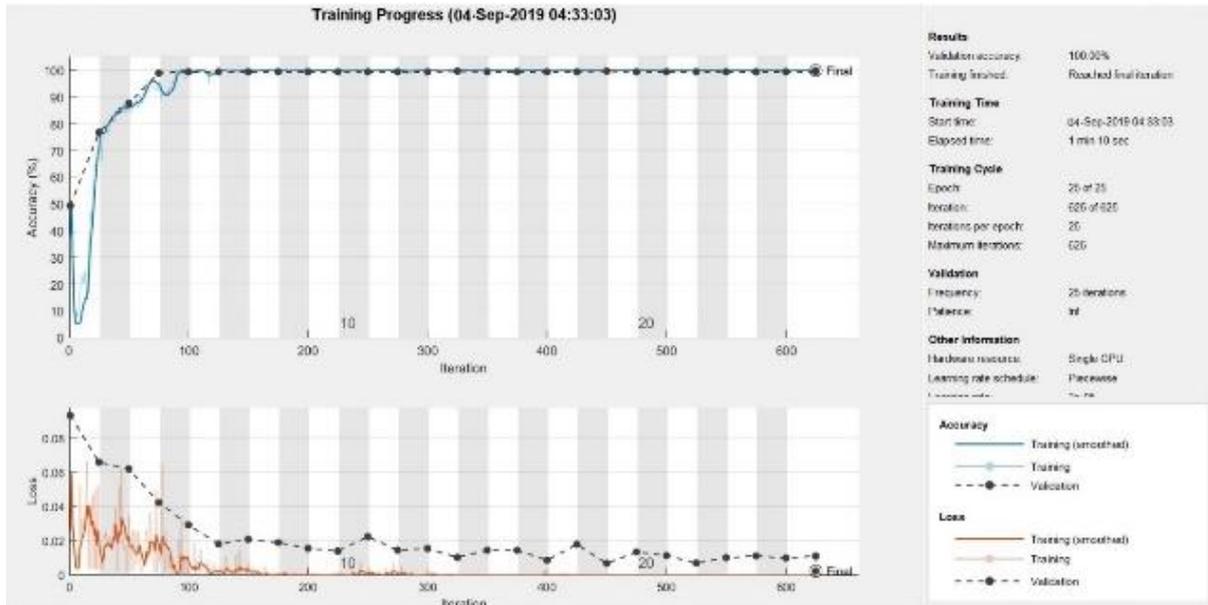
**Tabel 1.** Jumlah sampel JST

Nama Label Sampel	Jumlah Training	Jumlah Validasi	Jumlah Testing
Kodok_Batu	6	3	3
Limnonectes_macrodon	6	3	3
Kodok_Blentung	6	3	3
Kaloula_baleata	6	3	3
Kodok_Panggul	6	3	3
Limnonectes_blythii	6	3	3
Kodok_Sawah	6	3	3
Fejervarya_cancrivora	6	3	3
Kodok_Tegalan	6	3	3
Fejervarya_limnocharis	6	3	3

Semua sampel data didekomposisi dan *denoisy* sampel melalui transformasi *wavelet* sebanyak 3 tingkat menggunakan *wavelet symlet* 3 seperti pada Gambar 2 berikut.



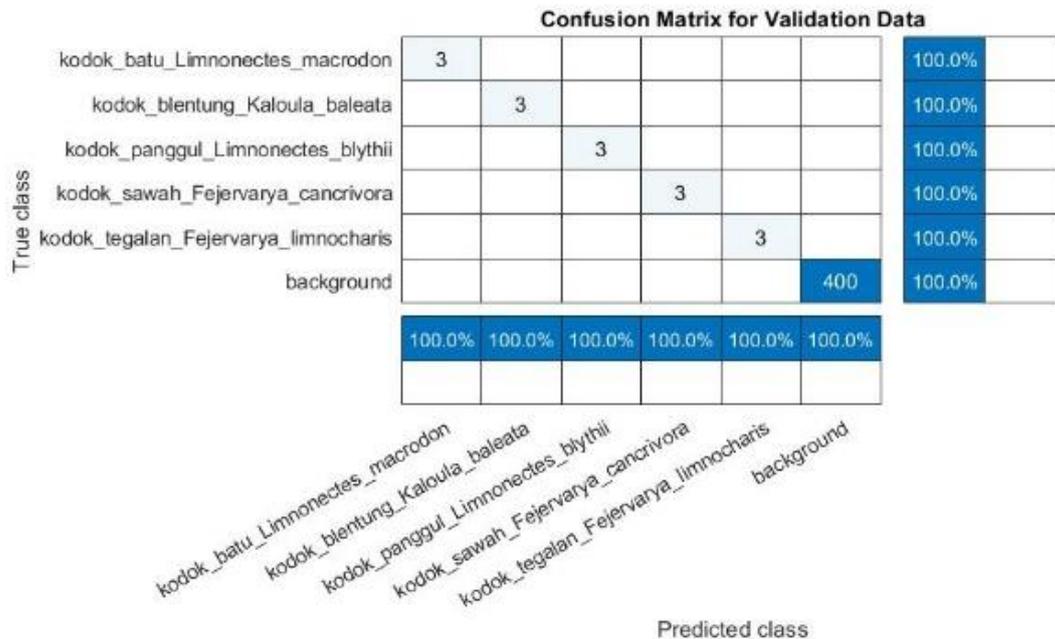
**Gambar 2.** Hasil *denoisy wavelet*.



Gambar 3. Proses pelatihan JST.

JST dilatih, dengan proses pelatihan seperti pada Gambar 3. Proses pelatihan JST memakan waktu 1 menit 10 detik, proses ini cukup cepat karena sampel yang digunakan tidak banyak. Proses dilakukan sampai 625 iterasi sampai akurasi mendekati 100 %.

Setelah pelatihan, JST diuji coba dengan 3 sampel *testing* untuk setiap jenis kodok, Gambar 4 menunjukkan jaringan yang telah dilatih mampu mengenali jenis-jenis kodok yang diujikan.



Gambar 4. Proses validasi data JST

## KESIMPULAN

Untuk identifikasi akustik dan klasifikasi kodok berdasarkan prinsip ekstraksi *wavelet* dan klasifikasi label menggunakan JST telah dibuat

sistem yang terdiri dari deteksi elektronik untuk audio kodok serta *interface* menggunakan *software* MATLAB 2018b sebagai perangkat penyedia JST. Sebagai input JST digunakan 5 jenis kodok yaitu kodok batu (*Limnonectes*

*macrodon*), kodok blentung (*Kaloula baleata*), kodok panggul (*Limnonectes blythii*), kodok sawah (*Fejervarya cancrivora*) dan kodok parit (*Fejervarya limnocharis*), masing-masing sebanyak 12 sampel suara. Sebelum diinputkan pada JST, sampel suara diekstraksi dan didenoise sebanyak 3 tingkat menggunakan *wavelet symlet 3*. Selanjutnya pada proses pelatihan JST digunakan sebanyak 3 sampel validasi dan 3 sampel *tesing*. Setelah pelatihan, JST mampu mengenali jenis-jenis kodok yang diujikan.

## REFERENSI

1. Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., & Hannah, L. E. E. (2006). Global warming and extinctions of endemic species from biodiversity hotspots. *Conservation Biology*, **20**(2), 538–548.
2. Canavero, A., Arim, M., Naya, D. E., Camargo, A., Rosa, I. D., & Maneyro, R. (2008). Calling activity patterns in an anuran assemblage: The role of seasonal trends and weather determinants. *North-Western Journal of Zoology*, **4**(1), 29–41.
3. Bedoya, C., Isaza, C., Daza, J. M., & Lopez, J. D. (2014). Automatic recognition of anuran species based on syllable identification. *Ecological Informatics*, **24**, 200–209.
4. Akmentins, M. S., Pereyra, L. C., Sanabria, E. A., & Vaira, M. (2015). Patterns of daily and seasonal calling activity of a direct-developing frog of the subtropical Andean forests of Argentina. *Bioacoustics*, **24**(2), 89–99.
5. Huang, C. J., Yang, Y. J., Yang, D. X., & Chen, Y. J. (2009). Frog classification using machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, **36**(2), 3737–3743.
6. Kurniati, H. (2014). Keberadaan kodok Polypedates discantus di Sumatera. *Warta Herpetofauna*, **7**(3), 6–7.
7. Gingras, B. & Fitch, W. T. (2013). A three-parameter model for classifying anurans into four genera based on advertisement calls. *The Journal of the Acoustical Society of America*, **133**(1), 547–559.
8. Ospina, O. E., Villanueva-Rivera, L. J., Corrada-Bravo, C. J., & Aide, T. M. (2013). Variable response of anuran calling activity to daily precipitation and temperature: implications for climate change. *Ecosphere*, **4**(4), 1–12.
9. Aide, T. M., Corrada-Bravo, C., Campos-Cerqueira, M., Milan, C., Vega, G., & Alvarez, R. (2013). Real-time bioacoustics monitoring and automated species identification. *PeerJ*, **1**, e103.
10. Xie, J., Towsey, M., Truskinger, A., Eichinski, P., Zhang, J., & Roe, P. (2015). Acoustic classification of australian anurans using syllable features. *2015 IEEE tenth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP)*, 1–6.
11. Xie, J., Towsey, M., Zhang, J., & Roe, P. (2016). Adaptive frequency scaled wavelet packet decomposition for frog call classification. *Ecological Informatics*, **32**, 134–144.
12. Duellman, W. E., Schlager, N., & Trumpey, J. E. (2003). *Grzimek's Animal Life Encyclopedia; Volume 6: Amphibians*. Thomson-Gale.
13. Xie, J., Towsey, M., Yasumiba, K., Zhang, J., & Roe, P. (2015). Detection of anuran calling activity in long field recordings for bio-acoustic monitoring. *2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, 1–6.
14. Puspita, W., Defrianto, D., & Soerbakti, Y. (2021). Prediksi Kadar Particulate Matter (PM10) Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan di Kota Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 1–4.

15. Tyagi, H., Hegde, R. M., Murthy, H. A., & Prabhakar, A. (2006). Automatic identification of bird calls using spectral ensemble average voice prints. *2006 14th European Signal Processing Conference*, 1–5.
16. Zhang, M. L., & Zhou, Z. H. (2013). A review on multi-label learning algorithms. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, **26**(8), 1819–1837.



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