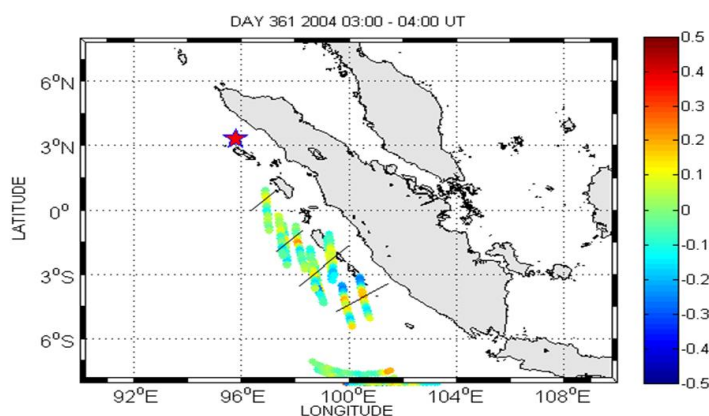
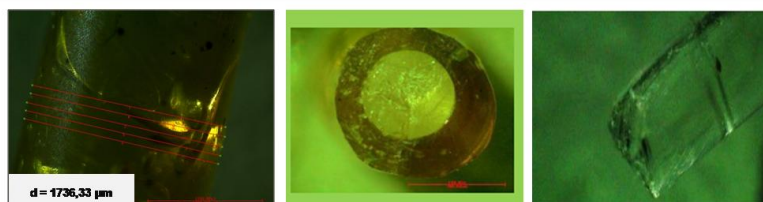
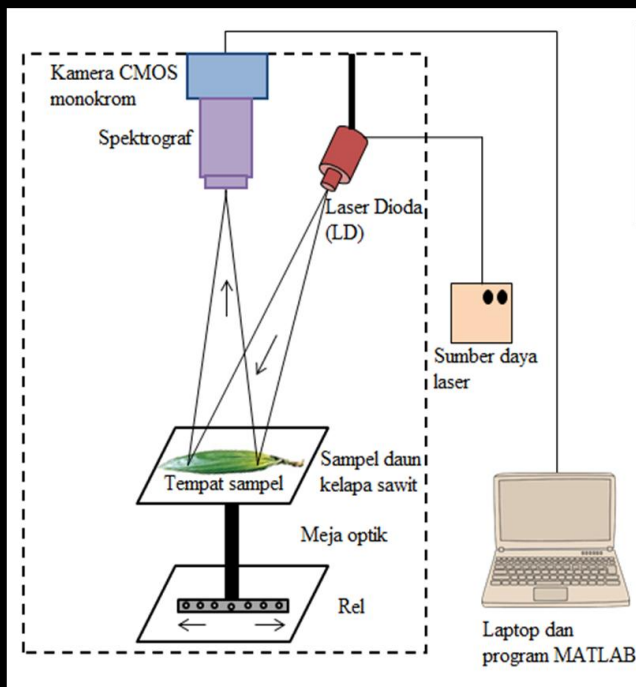


# Komunikasi Fisika Indonesia



## SUSUNAN DEWAN REDAKSI JURNAL KFI

**Penanggungjawab** : Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

**Pimpinan Redaksi** : Drs. Usman Malik, M.Si

**Redaksi Pelaksana** :

1. Dr Muhammad Hamdi, Universitas Riau
2. Dr Erman Taer, Universitas Riau, Indonesia
3. Dr Ari Sulistyono Rini, Universitas Riau
4. Dr Dedi Irawan, UIN Suska Riau, Indonesia
5. Dr Okfalisa Okfalisa, UIN Suska Riau, Indonesia

**Editor:**

1. Dr Rahmi Dewi, M.Si, Universitas Riau
2. Romi Fadli Syahputra, S.Si, Universitas Riau, Indonesia

**Dewan Reviewer** :

Penanggung Jawab: Drs. Usman Malik, M.Si

Ketua : Prof. Saktioto, M.Phil (Fisika FMIPA Univ. Riau)

- Anggota :
1. Prof. Erwin, M.Sc (Fisika FMIPA Univ. Riau)
  2. Prof. Warsito, DEA (Fisika FMIPA Univ. Lampung)
  3. Prof. Jalil Ali (Fizik, UTM Malaysia)
  4. Prof. Timbangan Sembiring (Fisika FMIPA USU Medan)
  5. Dr. Zul Bachrum, M.Sc (Fisika FMIPA Univ. Bengkulu)

**Alamat Redaksi:**

Jurusan FMIPA Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru  
Telp (0761)63273 | Fax: 0761-63273  
E-mail : komunikasi.fisika.indonesia@gmail.com  
Online system : <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/>

Panduan dan Template penulisan dapat diunduh di :  
<https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/about/submissions#authorGuidelines>

## DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	I
DAFTAR ISI	II
STUDI EKSPERIMEN TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) MENGGUNAKAN SAVONIUS BACH ROTOR Yusiran, Erwin	75-80
PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI LIMBAH DAUN AKASIA ( <i>ACACIA MANGIUM WILD</i> ) Kristin Natalia, Erman Taer	81-86
PENGARUH WAKTU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA SEL SUPERKAPASITOR DARI SABUT PINANG Retno Handayani, Erman Taer	87-90
SEGMENTASI CITRA PARU-PARU MENGGUNAKAN METODE KONTUR AKTIF DENGAN VALIDASI ROC Sintha Syaputri, Zulkarnain	91-95
PENENTUAN KOMPOSISI KIMIAWI ATMOSFER DAN TEMPERATUR EFEKTIF PADA BINTANG VEGA (A LYR) DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPEKTROKOPI ABSORPSI Fitri Yuliana, Zulkarnain, Hakim Luthfi Malasan	96-102
STUDI AWAL GRADING BUAH SAWIT DENGAN BANTUAN INJEKSI TEGANGAN LISTRIK SEARAH Andri Saputra, Wahyu Candra, Yan Soerbakti, Romi Fadli Syahputra, Defrianto, Saktioto	103-106
ANALISIS SIFAT MAGNETIK DAN STRUKTUR PARTIKEL PASIR BESI PANTAI ARTA PARIAMAN SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN BALL MILLING Wita Yulia, Erwin	107-112
PENENTUAN DENSITAS SPESIES PLASMA HIDROGEN PADA KESETIMBANGAN TERMODINAMIK TEKANAN ATMOSFIR MENGGUNAKAN MATLAB Reeky Fardinata, Saktioto	113-117
KEBERGANTUNGAN TEMPERATUR PLASMA HIDROGEN DALAM TEKANAN RENDAH Siti Nurul Alifah, Saktioto	118-122
FABRIKASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK DETEKSI ION LOGAM MERKURI DALAM AIR Ida Vaeruzza, Kukuh Eka Kurniansyah, Faqih Darma, Ian Yulianti	123-129
EFEK GELOMBANG TSUNAMI ACEH 2004 PADA GANGGUAN IONOSFER BERGERAK SKALA MENENGAH DARI PENGAMATAN JARINGAN GPS SUMATRA Asnawi Husin, Buldan Muslim	130-137
KAJIAN APLIKASI PANTULAN SINYAL GNSS UNTUK PEMANTAUAN KETINGGIAN PERMUKAAN AIR LAUT Buldan Muslim, Novie Chiuman, Muhammad Ichsan Fadhil Arafah	138-142
ANALISA CITRA HIPERSPEKTRAL DAUN DARI TANAMAN KELAPA SAWIT YANG MENGALAMI KEKURANGAN AIR MENGGUNAKAN PROGRAM MATLAB Jr. Lessy Eka Putri, Minarni, Feri Chandra, Herman	143-148
APLIKASI PROGRAM MATLAB UNTUK ANALISA CITRA <i>HYPERSPECTRAL</i> PADA AKAR DARI TANAMAN KELAPA SAWIT YANG MENGALAMI KEKURANGAN AIR Mailestari Wina Yance, Minarni, Feri Chandra, Herman	149-154
STUDI AWAL RANCANG BANGUN <i>COLORIMETER</i> MENGGUNAKAN SENSOR OPT101 BERBASIS SISTEM ANDROID DENGAN <i>DISPLAY SMARTPHONE</i> Habibi Putra, Yulkifli	155-162

## STUDI EKSPERIMEN TEKNOLOGI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) MENGGUNAKAN SAVONIUS BACH ROTOR

Yusiran<sup>1,\*</sup>, Erwin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Fisika, Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Fisika, Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [yusiran123@gmail.com](mailto:yusiran123@gmail.com)

### ABSTRACT

*Design and experiment of ocean current power generation system have been carried out using the Bach Savonius rotor. In this research, the influence of the velocity of ocean currents, the number of turbine blades, and the blade arc angle of the generator output power are studied. The results showed that the turbine output power is strongly influenced by the velocity of ocean currents where the velocity values of ocean currents varied in the range 0,63-1,98 m/sec. The maximum electrical power of the turbine occurs at a current velocity of 1,98 m/sec of 26,88 Watts. The number of turbine blades has a significant effect on turbine output power. The turbine reaches maximum power is found in the rotor with a number of 3 blades with a power coefficient of 0,1176 on the tip speed ratio of 0,359. The blade arc angle is varied at angles of 90°, 135° and 165°. The blade arc angle 135° gives the best performance with a power coefficient of 0,102 on the tip speed ratio of 0,298.*

**Keywords:** Blades, Ocean Current, Turbine, Power

### ABSTRAK

*Telah dilakukan desain dan eksperimen pembangkit listrik tenaga arus laut menggunakan tipe turbin Savonius Bach. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh kecepatan arus laut, jumlah bilah turbin, dan sudut busur bilah terhadap daya keluaran pembangkit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya keluaran turbin sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus laut dimana nilai kecepatan arus laut bervariasi dalam rentang 0,63-1,98 m/s. Daya maksimum turbin terdapat pada kecepatan arus 1,98 m/s sebesar 26,88 Watt. Jumlah bilah turbin memberikan pengaruh terhadap daya keluaran turbin. Turbin yang mencapai daya maksimum terdapat pada rotor dengan jumlah bilah 3 buah dengan nilai koefisien daya 0,11 pada tip speed ratio 0,359. Sudut busur bilah divariasikan pada sudut 90°, 135° dan 165°. Sudut busur bilah 135° memberikan performa terbaik dengan nilai koefisien daya 0,102 dengan nilai tip speed ratio 0,298.*

**Kata kunci:** Bilah, Daya, Arus Laut, Turbin

*Diterima 25-6-2019 | Disetujui 14-08-2019 | Dipublikasi 31-10-2019*

### PENDAHULUAN

Energi arus laut adalah salah satu sumber daya energi terbarukan yang menarik untuk dikembangkan karena memiliki beberapa keunggulan, yang dapat diprediksi, terukur, dan tidak memiliki dampak secara visual [1]. Eksplorasi arus laut di dekat pantai bukanlah hal yang baru. Penerapan sumber daya energi

arus laut telah dimulai sejak 1966 di Perancis [2]. Proses konversi energi kinetik dari arus laut menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan turbin arus laut sumbu vertikal dan turbin arus laut sumbu horizontal. Meskipun sumber energi dari arus laut lebih menjanjikan, masalah yang muncul dalam proses penerapan teknologi pembangkit listrik arus laut adalah tingginya biaya pembuatan

dan pemasangan alat. Penyebab peningkatan biaya pembuatan dan pemasangan alat adalah aksestabilitas yang terbatas dan memerlukan pengerjaan bawah laut. Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti telah mengusulkan berbagai konsep. Gorlov merancang turbin heliks yang mampu memanfaatkan energi arus laut dengan kecepatan rendah tanpa konstruksi bendungan. Konsep ini ditawarkan untuk mengurangi kerusakan lingkungan akibat pembangunan bendungan yang merusak ekosistem di wilayah tersebut dan mengurangi biaya pembangkit listrik [3]. Jenis turbin lain yang dikembangkan oleh *Marine Current Turbine Ltd* adalah turbin Kobold yang dipasang di bawah pelampung. [4]. Penelitian yang disebutkan di atas adalah beberapa upaya praktis untuk mengurangi biaya investasi pembangkit energi arus laut, namun, kendala biaya belum selesai dengan pengembangan kedua jenis turbin Gorlov dan Kobold, alasannya adalah bahwa proses pembuatan turbin rumit dan masih membutuhkan biaya yang cukup banyak.

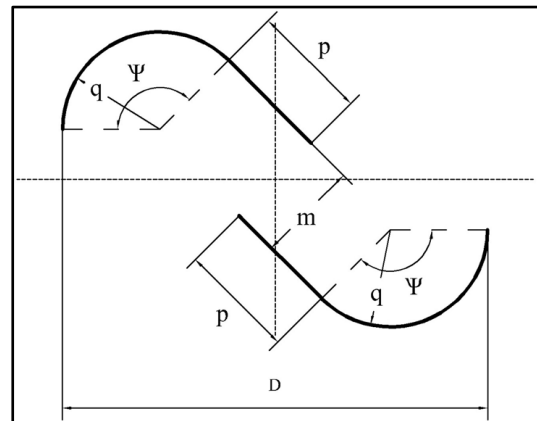
Terdapat satu jenis turbin yang mudah dibuat, lebih murah dan dapat bekerja pada kecepatan aliran fluida rendah, disebut turbin Savonius. Turbin Savonius biasanya terdiri dari dua bilah melengkung dengan alur aliran yang mengelilingi pusat. Dalam desain aslinya, setiap bilah memperlihatkan bentuk setengah lingkaran [5]. Turbin Savonius masih memiliki kekurangan, efisiensi turbin masih sangat rendah. Para peneliti berusaha untuk memperbaiki kelemahan ini dengan mengoptimalkan parameter turbin. Hanya sedikit peneliti yang menggunakan turbin Savonius Konvensional untuk diaplikasikan sebagai turbin aliran air. Hassanzadeh melakukan penelitian eksperimental untuk membuat konfigurasi baru turbin arus laut menggunakan turbin Savonius Konvensional [6].

Upaya untuk memperoleh peningkatan kinerja yang signifikan, penulis bekerja untuk merancang dan melakukan studi eksperimental pembangkit listrik turbin Savonius menggunakan rotor Bach Savonius dan

mempelajari pengaruh jumlah bilah turbin dan sudut lengkung pisau terhadap kinerja sistem pembangkit listrik. Percobaan ini dirancang untuk memungkinkan pengukuran kecepatan arus laut dan variabel operasional untuk menentukan output daya listrik, koefisien kinerja dan torsi dinamis.

## TINJAUAN PUSTAKA

Bach adalah salah satu profil umum kedua yang digunakan dalam rotor Savonius yang diajukan oleh Bach enam tahun setelah profil konvensional. Bach menggantikan profil setengah lingkaran dengan profil Bach yang terdiri dari garis lurus dan busur. Gambar 1 menunjukkan geometri rotor Savonius Bach.



**Gambar 1.** Geometri rotor Savonius Bach.

Pada penelitian turbin angin, studi perbandingan rotor Savonius Bach dan Savonius konvensional telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Bach Rotor mencapai kinerja yang lebih baik daripada turbin Savonius Konvensional [6]. Daya yang dihasilkan oleh arus laut dihitung menggunakan Persamaan 1 [7].

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A V_T^3 \quad (1)$$

$P_T$  adalah daya yang dihasilkan oleh arus laut,  $\rho$  adalah densitas air laut ( $1.025 \text{ kg/m}^3$ ),  $A$  adalah area sapuan dan  $V_T$  adalah kecepatan arus laut (m/s). Daya yang diekstraksi oleh turbin Savonius dari aliran bebas air laut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 [8].

$$P_M = T \cdot \omega \quad (2)$$

dimana  $T$  adalah torsi (N-m) yang dihasilkan oleh turbin dan  $\omega$  adalah kecepatan rotasi (rad/s) dari turbin. Upaya untuk mengevaluasi berapa banyak energi yang digunakan oleh turbin dari aliran bebas, istilah  $TSR$  didefinisikan. Ini menghubungkan kecepatan aliran bebas dengan kecepatan di ujung pisau dan dinyatakan dalam Persamaan 3 [9].

$$TSR = \frac{\omega \cdot R}{V_T} \quad (3)$$

Kinerja turbin dinyatakan dengan besaran non-dimensional dengan menggunakan istilah koefisien daya  $C_p$  yang didefinisikan sebagai rasio daya yang diekstraksi oleh turbin,  $P_M$  terhadap daya yang dihasilkan oleh arus laut  $P_T$ , dinyatakan dalam Persamaan 4.

$$C_p = \frac{P_M}{P_T} \quad (4)$$

## METODE PENELITIAN

Suatu studi eksperimen dilakukan untuk menguji model sistem pembangkit listrik tenaga arus laut di lingkungan perairan Selat Rupat. Kecepatan arus laut diukur menggunakan *currentmeter*. Kecepatan putaran rotor pada kecepatan arus laut tertentu diukur menggunakan *tachometer* laser digital. Generator DC digunakan untuk menentukan output daya listrik dan torsi dinamis. Upaya untuk mengukur arus listrik dilakukan dengan menggunakan multimeter dan resistor 20-ohm dihubungkan untuk menentukan arus keluaran maksimum.

Bilah model rotor Bach dibuat dari lembaran aluminium setebal 2 mm karena kemampuan kinerja yang baik. Untuk menekuk lembaran aluminium untuk merancang profil menggunakan mesin pelengkung. Percobaan menggunakan rotor Bach Savonius dengan 2, 3 dan 4 bilah. Sudut busur bilah untuk menyelidiki kinerja Bach-rotor dengan berbagai jumlah blade adalah  $135^\circ$ . Sudut busur blade bervariasi dalam sudut  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  dan  $165^\circ$  dengan jumlah blade yang ditetapkan dua bilah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

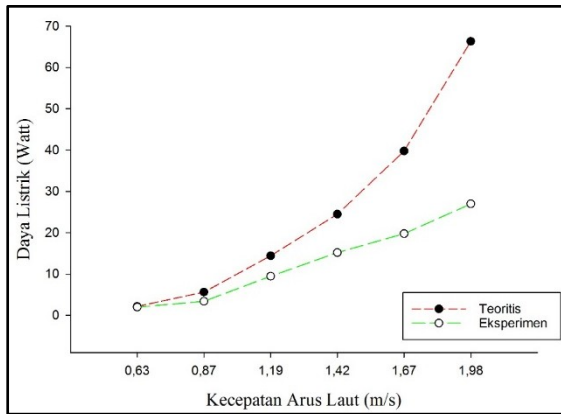
Perancangan dan eksperimen pembangkit listrik tenaga arus laut telah berhasil dilakukan. Prototipe pembangkit listrik tenaga arus laut dengan turbin tipe Savonius Bach yang telah dibuat dan diuji coba ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengujian prototipe di Selat Rupat

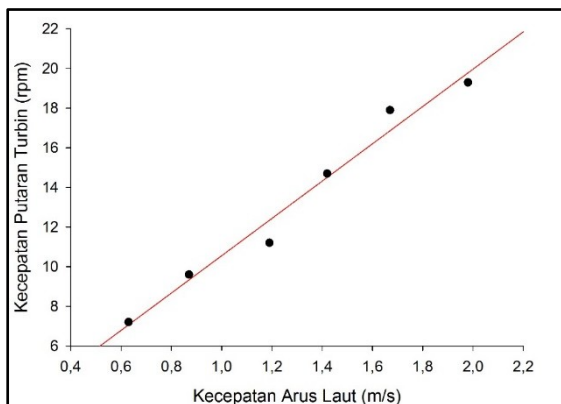
Pengukuran kecepatan arus laut menggunakan *current meter* dilakukan setiap 30 menit. Pengukuran kinerja untuk masing-masing turbin dikerjakan selama 4 jam 30 menit (1 kali periode pasang air laut). Pada saat pergantian pola arus dari pasang naik ke pasang surut atau sebaliknya dilakukan penggantian turbin namun tetap dilakukan pengukuran kecepatan arus laut. Grafik daya listrik terhadap kecepatan arus laut diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada kecepatan arus laut 0,63 m/s daya yang dihasilkan oleh turbin arus laut bernilai 1,95 Watt dengan nilai tegangan 7,82 Volt dan arus listrik 0,25 A. Kecepatan arus maksimum saat pasang naik adalah 1,98 m/s, dan daya yang dihasilkan sebesar 26,88 Watt. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan daya sebanding dengan peningkatan arus laut. Berdasarkan Persamaan 1 maka daya turbin sebanding dengan kecepatan arus laut kubik ( $P \propto v^3$ ) sehingga daya keluaran turbin sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus laut.



**Gambar 3.** Grafik hubungan daya listrik terhadap kecepatan arus laut.

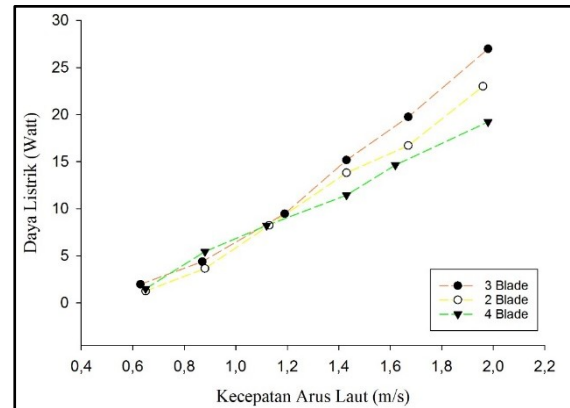
Penelitian ini juga mempelajari pengaruh kecepatan arus laut terhadap kecepatan putaran turbin. Hasil pengukuran kecepatan putaran turbin terhadap kecepatan arus laut dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Hubungan kecepatan putaran turbin terhadap kecepatan arus laut.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa pada kecepatan arus minimum 0,63 m/s kecepatan putaran turbin hanya 7,2 rpm kemudian meningkat menjadi 19,8 rpm pada kecepatan arus laut 1,98 m/s, sehingga kecepatan putaran turbin hanya terdapat pada rentang nilai 7-20 rpm, yang berarti turbin arus laut hanya berotasi lambat (*low speed rpm*). Penyebab dari rendahnya tingkat putaran turbin adalah besarnya densitas air laut yaitu sebesar 1.025 kg/m<sup>3</sup> dan sangat jauh berbeda dengan turbin angin yang mampu berotasi sangat cepat dikarenakan densitasnya yang rendah. Besarnya densitas air laut 830 kali lebih besar dari densitas udara.

Pengaruh jumlah bilah turbin terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga arus laut dipelajari pada penelitian ini. Grafik daya listrik yang dihasilkan oleh variasi jumlah bilah ditampilkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik daya turbin terhadap kecepatan arus laut untuk variasi jumlah bilah turbin.

Berdasarkan Gambar 5, dapat diketahui bahwa turbin dengan jumlah 3 *blade* menghasilkan daya yang paling tinggi dibandingkan turbin dengan jumlah bilah turbin 2 dan 4. Turbin dengan jumlah 3 blade mampu menghasilkan daya 26,88 Watt pada kecepatan arus maksimum, sedangkan turbin dengan jumlah blade 2 dan 4 masing-masing menghasilkan daya maksimum 23,01 Watt dan 19,09 Watt.

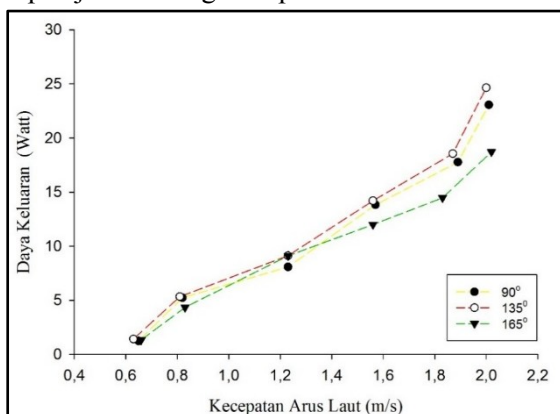
Pada turbin dengan 3 *blade*, kesenjangan yang jauh antar bilah menyebabkan air mengalir bebas dan mengenai bilah yang lainnya oleh karena itu menghasilkan gaya dorong positif. Penambahan jumlah *blade* menyebabkan gaya hambat saat sisi cembung bilah bergerak mundur (*returning blade*) mengakibatkan munculnya torsi negatif yang melawan torsi positif sehingga menyebabkan putaran turbin tidak optimal. Upaya untuk membandingkan kinerja masing-masing turbin, dapat dilakukan dengan membandingkan nilai koefisien daya serta torsi dinamis yang dihasilkan oleh turbin. Hasil perhitungan nilai koefisien daya, torsi dinamis dan *TSR* ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil perhitungan torsi dinamis, *TSR*, dan koefisien daya turbin dengan variasi jumlah bilah.

Jumlah Bilah	Torsi Dinamis (N-m)	<i>TSR</i>	<i>C<sub>p</sub></i>
2	33,25	0,325	0,1073
3	33,68	0,359	0,1176
4	29,43	0,281	0,0668

Tabel 1 menginformasikan bahwa pada kecepatan arus laut 1,42 m/s nilai koefisien daya tertinggi terdapat pada turbin dengan rotor 3 bilah yaitu sebesar 0,1176, sedangkan pada rotor dengan 2 bilah memiliki nilai *C<sub>p</sub>* 0,1073 dan rotor dengan 4 bilah memiliki nilai koefisien daya paling rendah yaitu 0,0668. Berdasarkan perbedaan nilai *C<sub>p</sub>* tersebut dapat diketahui bahwa turbin kinerja turbin terbaik terdapat pada rotor dengan 3 bilah. Turbin dengan 2 bilah hanya mampu mengkonversi 10% dari daya yang dihasilkan arus laut. Kinerja turbin semakin memburuk saat penambahan bilah, terlihat pada turbin dengan 4 bilah hanya mampu mengubah daya arus laut menjadi daya listrik sebesar 6% pada kecepatan arus laut 1,42 m/s.

Pengaruh sudut busur bilah (*blade arc angle*) terhadap daya keluaran turbin dapat dipelajari dalam grafik pada Gambar 6.



**Gambar 6** Grafik daya turbin terhadap kecepatan arus laut dengan variasi sudut busur bilah turbin (*blade arc angle*)

Gambar 5 menunjukkan bahwa pada kecepatan maksimum 2,0 m/s (saat air laut dalam keadaan pasang surut) bilah turbin dengan sudut busur 90° menghasilkan daya

maksimum 19,90 Watt dan pada bilah dengan sudut busur 165° menghasilkan daya maksimum 18,72 Watt, sedangkan turbin dengan sudut busur bilah 135° menghasilkan daya maksimum 23,06 Watt. Daya tertinggi dicapai oleh turbin dengan sudut busur bilah 135°. Grafik pada Gambar 4.9 juga menginformasikan bahwa sudut busur bilah 90°, 135° dan 165°. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa peningkatan sudut busur bilah (*blade arc angle*) tidak berbanding lurus dengan peningkatan daya listrik yang dihasilkan turbin, dimana turbin menunjukkan nilai optimal pada sudut busur tertentu.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Daya keluaran pembangkit listrik dengan tipe turbin Savonius Bach sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus laut. Daya maksimum yang dihasilkan oleh PLTAL sebesar 26,88 Watt pada kecepatan arus maksimum saat pasang naik 1,98 m/s. Jumlah bilah turbin mempengaruhi daya keluaran turbin. Jumlah bilah dengan koefisien daya tertinggi terdapat pada rotor turbin 3 bilah dengan nilai 0,11 pada *tip speed ratio* 0,359. Sudut busur bilah (*blade arc angle*) memberikan pengaruh terhadap kinerja turbin. Sudut busur bilah memberikan performa terbaik terdapat pada nilai 135° yang mampu mencapai daya maksimum 23,06 Watt dan nilai koefisien daya maksimum 0,102 pada nilai *tip speed ratio* 0,298..

## REFERENSI

- Vennell, S. W., Funke, S., Draper, C., Stevens, & Divett, T. (2015). Designing large arrays of tidal turbines: a synthesis and review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **41** (5),454-472.
- Kamoji, M. Kedare, S, Prabhu, S. (2009). Performance Test on Helical Savonius Rotors. *Renewable Energy*, **34**(3), 521-529.
- Gorlov, A. M. (1998). Helical turbines for the Gulf Stream: Conceptual approach design of a large- scale floating power farm. *Marine Technology*, **35**(1), 175-177.



4. Mauller, G. & Kauppert, K. (2004). Performance characteristic of water wheels. *Journal of Hydraulic Research*, **42** (5), 1-6.
5. Akimoto, H., Tanaka, K., & Uzawa J (2013). A conceptual study of floating axis water current turbine for low-cost energy capturing from river, tide and ocean current *Renewable Energy* **57**(1), 283-288.
6. Hassanzadeh, R., Yaakob, U., Gholami, A., Pourmahdavi, M, Hoissenzadeh, M., Taheri M. M. & Ahmed, Y. (2018). Experimental investigation of an innovative configuration for new marine current turbine. *Renewable Energy*, **18** (1), 92-93.
7. Khan, M. J., Iqbal, M. T. & Quiacoe, J. E. (2008). River current energy conversion system: Progress, prospects and challenges *Renewable Sustain Energy Reviews*, **8**(3), 2177-2179.
8. Bhayo, B. & Kayiem. (2017). Experimental Characterization and Comparison of Performance of S-Rotor for Standalone Wind Power System. *Journal of Energy*. **138** (2), 752-763.
9. Wu, H. N., Chen, L. J., Ming, H. Y., Li, W. Y. & Chen, B. F., (2012). On design and performance prediction of the horizontal-axis water turbine. *Ocean Engineering*, **50**(1), 23-30.



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

## PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI LIMBAH DAUN AKASIA (*Acacia mangium Wild*)

Kristin Natalia\*, Erman Taer

Jurusan Fisika, Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [nataliak657@gmail.com](mailto:nataliak657@gmail.com)

### ABSTRACT

*The carbon electrode from acacia leaves (*Acacia mangium Wild*) for supercapacitor cell has been fabricated with physical activation temperature variations of 800°C, 850°C, and 900°C for the AK800, AK850 and AK900 samples respectively. Carbon electrodes were carbonized at a temperature of 600°C followed by physical activation in CO<sub>2</sub> gas atmosphere. The KOH is use as an activating agent. The results of physical properties characterization show the higher physical activation temperature cause lower density data and smaller pore size of the particles. The EDX data shows an increasing in the carbon content. The best specific capacitance was found in AK900 as high as 76 g F<sup>-1</sup> and the lowest specific capacitance is found in AK800 as high as 12,4 g F<sup>-1</sup>. Specific capacitance increases with increasing physical activation temperature.*

**Keywords:** Acacia leaves, Supercapacitor, Physical activation temperature

### ABSTRAK

*Elektroda karbon dari daun akasia (*Acacia mangium Wild*) untuk sel superkapasitor telah dibuat dengan variasi suhu aktivasi fisik 800°C, 850°C, dan 900°C untuk masing-masing sampel AK800, AK850 dan AK900. Elektroda karbon dikarbonisasi pada suhu 600°C diikuti dengan aktivasi fisik di atmosfer gas CO<sub>2</sub>. KOH digunakan sebagai agen pengaktif. Hasil karakterisasi sifat fisik menunjukkan suhu aktivasi fisik yang lebih tinggi menyebabkan data kepadatan yang lebih rendah dan ukuran pori partikel yang lebih kecil. Data EDX menunjukkan peningkatan kandungan karbon. Kapasitansi spesifik terbaik ditemukan pada AK900 setinggi 76 g F<sup>-1</sup> dan kapasitansi spesifik terendah ditemukan pada AK800 setinggi 12,4 g F<sup>-1</sup>. Kapasitansi spesifik meningkat dengan meningkatnya suhu aktivasi fisik.*

**Kata kunci:** Daun akasia, Supercapacitor, Variasi suhu aktivasi fisika

Diterima 08-07-2019 | Disetujui 25-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin canggih dan semakin banyaknya jumlah pengguna teknologi menyebabkan kebutuhan energi pada saat ini semakin meningkat. Sumber energi yang banyak digunakan saat ini adalah yang berasal dari bahan fosil seperti minyak bumi dan batubara. Permasalahan yang dihadapi untuk sumber energi ini, seperti batu bara yang semakin habis dan minyak bumi yang jumlahnya semakin menipis

sehingga diperlukan penelitian tentang energi baru sebagai sumber energi alternatif.

Sumber energi alternatif yang dibutuhkan oleh manusia pada saat ini adalah energi yang murah, mudah dijumpai dan juga mudah diperbaharui. Kesukaran dalam memprediksi sumber-sumber energi tersebut, maka diperlukan sebuah piranti penyimpan energi yang baik. Beberapa contoh penyimpan energi seperti superkapasitor, kapasitor dan baterai. Supercapacitor merupakan salah satu penyimpan energi yang efektif dibandingkan

baterai dan kapasitor konvensional dikarenakan rapat energi superkapasitor 10-100 kali lebih besar dibandingkan dengan kapasitor konvensional dan rapat daya superkapasitor 1000 kali lebih besar dibandingkan dengan baterai [1].

Pembuatan elektroda superkapasitor salah satunya dikembangkan dari karbon aktif [2]. Karbon aktif adalah material yang paling banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena tersedia secara luas, harga yang murah dan metode preparasi yang lebih mudah dibandingkan dengan karbon lainnya [3].

Daun akasia (*Acacia mangium Wild*) merupakan salahsatu potensi biomassa karbon yang cukup tinggi yaitu sebesar 85,6% [4]. Penelitian ini berfokus kepada pemanfaatan limbah daun akasia sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon superkapasitor dengan variasi suhu aktivasi fisika. Variasi suhu aktivasi fisika dipilih karena memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dibandingkan dengan memvariasikan parameter lainnya seperti waktu aktivasi fisika. Hal tersebut didukung dengan data pada penelitian terdahulu seperti mahkota nanas yang divariasikan waktu aktivasi fisiknya menghasilkan kapasitansi spesifik sebesar 134 F g<sup>-1</sup> [5] sedangkan mahkota nanas yang divariasikan suhu aktivasi fisiknya menghasilkan nilai kapasitansi spesifik sebesar 150 F g<sup>-1</sup> [6]. Proses pembuatan elektroda karbon dari limbah daun akasiannya diharapkan selain mendapatkan sumber karbon yang murah, luas permukaan tinggi dan ditambah kandungan karbon yang cukup tinggi akan mempengaruhi performa superkapasitor.

## METODE PENELITIAN

### a. Pembuatan sampel

Biomassa yang digunakan sebagai sampel merupakan daun akasia. Daun akasia dikumpulkan sebanyak ±2 kg, kemudian dicuci dan di jemur di bawah sinar matahari selama 2 hari dan pengeringan didalam oven

pengeringan selama 2 hari. Setelah proses pengeringan, daun akasia dilanjutkan dengan pra-karbonisasi dilakukan dari suhu 50°C sampai 200°C (2 jam). sampel karbon daun akasia tersebut kemudian dilakukan penggilingan menggunakan mortal dan ballmiling selama 20 jam dan dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 53µm (*Laboratory Test Sieve*). Serbuk karbon daun akasia kemudian dilakukan aktivasi kimia menggunakan aktivator KOH 0,5 M dengan perbandingan 1:5. Setelah sampel selesai diaktivasi, sampel dicuci dengan Akuades sampai pHnya 7 dan dikeringkan kembali didalam oven pengeringan. Sampel yang sudah kering kemudian dilakukan penggilingan kembali menggunakan mortal dan *ballmiling* selama 20 jam dan diayak kembali menggunakan ayakan 53µm (*Laboratory Test Sieve*). Sampel yang sudah diayak dan berbentuk serbuk karbon tersebut siap untuk cetak pelet, dikarbonisasi dan aktivasi fisika. Pelet kemudian di poles untuk diuji CV. Proses pemolesan dilakukan dengan meletakkan pelet di atas kertas pasir P1200 dan dipoles secara perlahan sampai ketebalan 0,25 mm – 0,30 mm dan permukaan pelet yang terbentuk halus. Pelet yang selesai dipoles siap untuk digunakan sebagai elektroda superkapasitor dan pelet yang tidak di poles siap untuk karakterisasi.

### b. Karakterisasi sifat fisis

Karakterisasi sifat fisis pada penelitian ini terbagi menjadi densitas, *Scanning Electron Microscopy* (SEM), dan *Energy Dispersive X-ray* (EDX). Densitas merupakan ukuran kerapatan suatu bahan yang dinyatakan dengan massa persatuan volume. Pengukuran densitas dilakukan dengan mengukur diameter, tebal dan massa elektroda karbon menggunakan jangka sorong dan timbangan digital mettle Toledo. Pengukuran dilakukan untuk beberapa variasi yaitu setelah pencetakan pelet, setelah karbonisasi dan setelah aktivasi fisika. Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan Energi Dispersif Sinar-X (EDX) menggunakan alat *JEOL-JSM 6360LA*.

Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 1000 kali yang bertujuan untuk melihat tampilan morfologi permukaan karbon dari elektroda karbon sedangkan pengujian EDX bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan elektroda karbon.

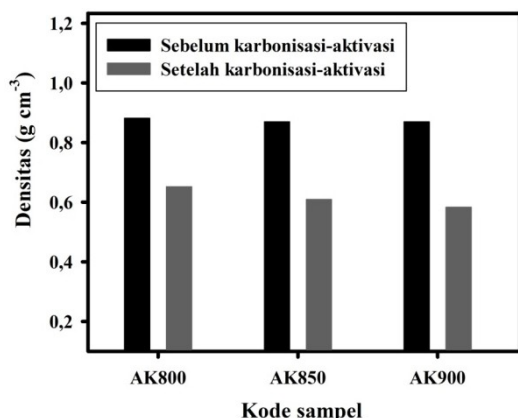
### c. Karakterisasi sifat elektrokimia

Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* (CV) merupakan salah satu teknik pengukuran yang dilakukan untuk memberikan informasi tentang sifat kapasitif sel elektrokimia seperti *voltage window*, kapasitansi dan waktu hidup (*cycle life*). Pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV) dilakukan di Laboratorium Fisika Material dan Nanoteknologi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau. Proses pengukuran menggunakan alat Physics CV UR Rad-Er 5841 yang dikontrol dengan *software cyclic voltammetry* CV v6 dengan lebar potensial 0 Volt - 0,5 Volt dan laju pemindaian 1 mV/s.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Densitas

Pengukuran densitas elektroda karbon sel superkapasitor dilakukan untuk memprediksi nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon.



**Gambar 1.** Diagram perbandingan nilai densitas elektroda karbon daun akasia sebelum dan setelah karbonisasi - aktivasi fisika

Gambar 1 memperlihatkan nilai densitas elektroda karbon sebelum karbonisasi - aktivasi fisika mengalami penurunan setelah dilakukan karbonisasi - aktivasi fisika. Penurunan densitas elektroda karbon setelah karbonisasi - aktivasi fisika dikarenakan

menguapnya bahan-bahan yang bukan karbon pada saat karbonisasi dan pada saat aktivasi fisika terjadi pemutusan rantai karbon dari senyawa yang lebih kompleks yang menyebabkan terbentuknya pori-pori baru [7]. Penguapan bahan-bahan yang bukan karbon dari elektroda menyebabkan terbentuknya lubang atau pori pada elektroda yang mengakibatkan terjadinya susut massa pada elektroda karbon. Susut massa yang disebabkan oleh lubang atau pori menyebabkan meningkatnya porositas dan menurunnya densitas elektroda karbon. Pori yang belum sempurna yang dihasilkan pada saat karbonisasi terjadi penyusunan ulang pada saat aktivasi fisika serta pemutusan rantai karbon dan terbentuk pori baru akibat pemanasan dengan suhu relatif tinggi.

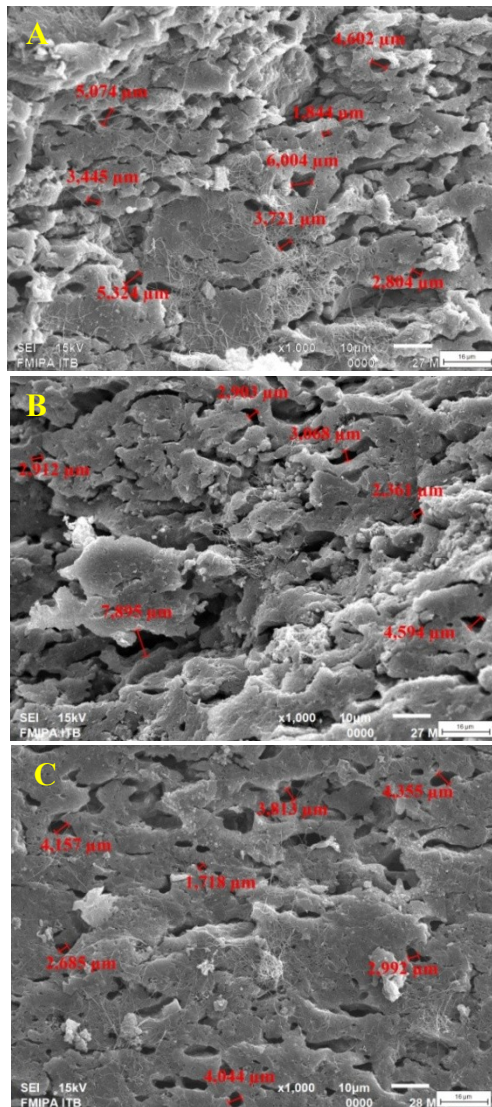
Densitas elektroda karbon setelah karbonisasi - aktivasi fisika pada suhu 800 °C, 850 °C dan 900 °C terlihat penurunan seiring dengan kenaikan suhu. analisa yang didapatkan dari data tersebut adalah pada suhu 900 °C merupakan pemanasan terbaik untuk mendapatkan nilai densitas yang rendah sehingga didapatkan nilai porositas yang cukup tinggi.

### b. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk menentukan dan mengetahui bentuk partikel, bentuk pori, bentuk struktur bahan, aglomerasi dan cacat pada elektroda karbon yang diuji.

Gambar 2 merupakan hasil pengujian SEM dengan perbesaran 1000 kali. secara umum, Gambar 2 memperlihatkan adanya bongkahan partikel, pori diantara partikel dan serat-serat karbon yang menumpuk dan menggumpal. Gambar 2a terlihat adanya bongkahan partikel yang memiliki pori rata-rata berukuran 4,10 nm dan terlihat adanya serat-serat karbon yang tersebar di permukaan dari bongkahan-bongkahan partikelnya. Gambar 2b memiliki pori rata-rata berukuran 3,95 nm dan serat-serat karbon yang menggumpal di permukaan elektroda. Gambar 2c memiliki pori rata-rata berukuran 3,39 nm dan serat-serat karbon yang

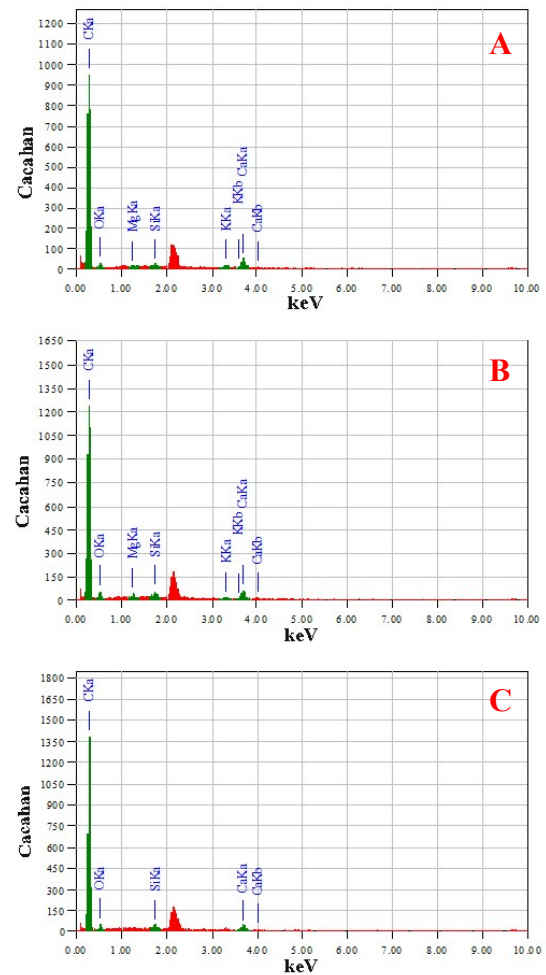
menggumpal serta menyebar di permukaan elektroda karbon. Dari gambar terlihat ukuran diameter pori yang semakin halus seiring dengan meningkatnya suhu aktivasi fisika yang diberikan. Pori yang semakin halus mengindikasikan luas permukaan yang semakin besar.



**Gambar 2.** Morfologi permukaan elektroda karbon daun akasia (*Acacia mangium Wild*) dengan perbesaran 1000 kali untuk kode elektroda a)AK800 b)AK850 c)AK900.

c. *Energy dispersive X-ray (EDX)*

Karakterisasi EDX bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur didalam sampel yang diuji.

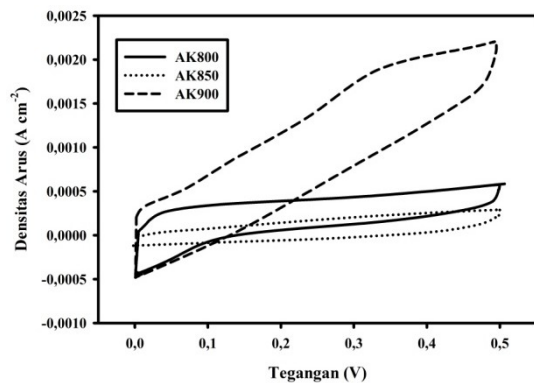


**Gambar 3.** Data spektroskopi EDS untuk sampel elektroda a)AK800 b)AK850 c)AK900.

Gambar 3 memperlihatkan kurva tingkat energi terhadap cacahan. Dari gambar terlihat jenis unsur berkurang seiring meningkatnya suhu aktivasi fisika yang diberikan. Dimana, unsur kalium dan silika menguap pada suhu aktivasi fisika 900°C. Jenis unsur berkurang seiring meningkatnya suhu aktivasi fisika yang diberikan mengindikasikan bahwa semakin murni elektroda karbon yang dihasilkan. Elektroda daun akasia memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi. Selain karbon kandungan unsur-unsur lain juga terdapat dalam elektroda daun akasia seperti: Magnesium, Silika, Kalium dan Kalsium. Kadar karbon tertinggi ke terendah masing-masing dimiliki oleh elektroda AcM900, AcM850 dan AcM800.

d. *Cyclic voltammetry (CV)*

Pengukuran CV bertujuan untuk mengetahui nilai kapasitansi spesifik elektroda sel superkapasitor.



**Gambar 4.** Kurva *cyclic voltammetry* (CV) elektroda sel superkapasitor dengan variasi suhu aktivasi fisika pada laju scan 1 mV/s.

Gambar 4 merupakan gambar plot antara densitas arus dan tegangan yang memperlihatkan bentuk kurva hampir menyerupai persegi panjang. Dari kurva terlihat bahwa arus meningkat seiring meningkatnya suhu aktivasi fisika yang diberikan. Nilai kapasitansi tertinggi ke terendah masing-masing dimiliki elektroda dengan kode sampel AK900, AK850 dan AK800 dengan nilai kapasitansi  $76 \text{ F g}^{-1}$ ,  $23 \text{ F g}^{-1}$  dan  $12,4 \text{ F g}^{-1}$ . Secara keseluruhan terlihat adanya hubungan kapasitansi spesifik sel superkapasitor yang dihasilkan dengan variable fisis seperti morfologi permukaan, dan kandungan karbon dalam elektroda karbon. Data densitas menunjukkan semakin tinggi suhu aktivasi fisika yang diberikan menyebabkan semakin kecil nilai densitas yang dihasilkan. Data morfologi permukaan menunjukkan semakin tinggi suhu aktivasi menyebabkan ukuran pori-pori elektroda semakin kecil, dan bila dikaitkan dengan data luas permukaan ukuran partikel yang semakin kecil menyebabkan luas permukaan yang semakin besar. Data kandungan karbon menunjukkan semakin tinggi suhu aktivasi fisika yang diberikan menyebabkan semakin besar kandungan karbon yang terkandung dalam sampel elektroda daun akasia. Semua variabel ini menyebabkan kapasitansi spesifik elektroda yang semakin besar.

## KESIMPULAN

Telah berhasil dibuat elektroda karbon superkapasitor berbahan dasar daun akasia dengan variasi suhu aktivasi fisika. Katakterisasi sifat fisis menunjukkan semakin tinggi suhu aktivasi fisika yang diberikan maka: data densitas menunjukkan semakin rendah nilai densitas yang dihasilkan, data morfologi permukaan menunjukkan ukuran pori partikel semakin kecil, data EDX menunjukkan peningkatan nilai kandungan karbon. Karakterisasi sifat elektrokimia menunjukkan semakin tinggi suhu aktivasi fisika yang diberikan maka semakin besar nilai kapasitansi yang dihasilkan. Hasil kapasitansi spesifik elektroda dengan kode sampel AK800, AK850, AK900 masing-masing adalah  $12,4 \text{ F g}^{-1}$ ,  $23 \text{ F g}^{-1}$ , dan  $76 \text{ F g}^{-1}$ .

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementrian Riset dan Teknologi atas bantuan pendanaan melalui proyek PDUPT tahun 2019 dengan nomor kontrak **759/UN.19.5.3/PT.01.03/2019**.

## REFERENSI

1. Kotz, R. & Carlen, M. (2000). Principles and application electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, **45**: 2483-2498.
2. Gamby, J., Taberna, P. L., Simon, P., Fauvarque, J. F., Chesneau, M. (2001). Studies and Characterisations of Various Activated Carbon Used for Carbon/ Carbon Supercapacitor. *Journal of Power Sources*, **101**, 109-116.
3. Ong, L. K., Kurniawan, A., Suwandi, A. C., Lin, C. X., Zhao, X. S., and Ismadji, S. (2012). A facile and green preparation of durian asheel-derived carbon electrodes for electrochemical double-layer capacitors. *Progress in natural Science: Materials International*, **22**(6), 624-630.
4. Hasfita, F. (2012). Studi pembuatan biosorben dari limbah daun akasia mangium (*Acacia mangium Wild*) untuk

- aplikasi penyisihan logam. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, **1**, 36-48.
5. Taslim, R., Dewi, T. R., Taer, E., Apriwandi, A., Agustino, A., Setiadi, R. N. (2018). Effect of physical activation time on the preparation of carbon electrodes from pineapple crown waste for supercapacitor application. *Journal of Physics: Conf. Series*, 1120 012084.
  6. Taer, E., Apriwandi, A., Ningsih, Y. S., Taslim, R., Agustino. (2019). Preparation of Activated Carbon Electrode from Pineapple Crown Waste for Supercapacitor Application. *Int. J. Electrochem. Sci*, **14**, 2462 – 2475.
  7. Sugeng. (2010). *Fabrikasi dan karakterisasi nanopartikel platinum pada elektroda karbon dari bahan serbuk kayu karet sebagai bahan sel superkapasitor*. Skripsi Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau.



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

## PENGARUH WAKTU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA SEL SUPERKAPASITOR DARI SABUT PINANG

Retno Handayani\*, Erman Taer

Jurusan Fisika, Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*The Carbon electrodes made from areca husk biomass materials have been successfully prepared and characterized. Preparation of carbon electrodes start with the pre-carbonization process, destruction of pre-carbon samples by using Ball Milling and sieving carbon powder for resulting particle size of  $<53 \mu\text{m}$ . Pre-carbonized powder is chemically activated using a 0.5 M KOH activator and continued by pellet forming by using Hydraulic Press. The carbonization process was carried out at a temperature of  $600^\circ\text{C}$  using  $\text{N}_2$  gas followed by physical activation by using  $\text{CO}_2$  gas with a temperature of  $900^\circ\text{C}$  for 1.5 hours, 2 hours and 2.5 hours. Physical properties analyzed include density, morphological structure and elemental content. The electrochemical properties were analyzed using the cyclic voltammetry (CV) method. The best density analysis result after carbonization-activation is 0.664 in SP-2.5 sample. The highest specific capacitance as high as  $17.9 \text{ F/g}$  found in the SP-1.5 sample.*

**Keywords:** Carbon electrode, Chemical activation, Areca husk

### ABSTRAK

*Elektroda karbon dari bahan biomassa sabut pinang telah berhasil dibuat dan dikarakterisasi. Pembuatan elektroda karbon dimulai dengan proses pra-karbonisasi, penghancuran sampel pra-karbon menggunakan mortar-Ball Milling dan pengayakan serbuk karbon dengan ukuran partikel  $<53 \mu\text{m}$ . Serbuk ter pra-karbonisasi diaktivasi kimia menggunakan aktivator KOH dengan konsentrasi 0,5M. Serbuk ter-prakarbonisasi yang telah diaktivasi kimia dicetak dengan menggunakan Hydraulic Press untuk membentuk pelet. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu  $600^\circ\text{C}$  menggunakan gas  $\text{N}_2$  dan aktivasi fisika menggunakan gas  $\text{CO}_2$  dengan suhu  $900^\circ\text{C}$  selama waktu 1,5 jam, 2 jam dan 2,5 jam. Sifat fisis yang dianalisa meliputi densitas, struktur morfologi dan kandungan unsur. Sifat elektrokimia dianalisa menggunakan metode cyclic voltammetry (CV). Hasil analisa densitas terbaik setelah karbonisasi-aktivasi adalah 0,664 pada sampel SP-2.5. Spesifik kapasitansi tertinggi adalah  $17,9 \text{ F/g}$  terdapat pada sampel SP-1.5.*

**Kata kunci:** Elektroda karbon, Aktivasi kimia, Sabut pinang

Diterima 08-07-2019 | Disetujui 25-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Superkapasitor atau kapasitor elektrokimia lapis ganda (EDLC) dapat dijadikan sebagai perangkat penyimpanan energi yang baru. Kelebihan edlc meliputi siklus hidup yang lama, waktu *charge-discharge* cepat, rapat daya tinggi, karakteristik temperatur yang bagus, dan aman digunakan [1]. Secara luas juga telah digunakan dalam berbagai bidang elektronik seperti system telekomunikasi

digital, computer, pulse laser system, hybrid electrical vehicle, dan sebagainya [2]. Performa dari material sangat bergantung pada material elektroda yang memiliki luas permukaan yang tinggi dan keseragaman pori [3], seperti bahan karbon. Salah satu bahan asal karbon yang mudah ditemui dengan harga yang relatif lebih murah adalah bahan-bahan biomassa seperti sisa-sisa pertanian dan perkebunan.



Buah pinang segar mengandung biomassa sabut pinang lebih dari setengah berat total massa yaitu 60% sampai 80%. Menurut data badan statistik tahun 2015 produksi buah pinang mencapai angka 47,1 ton setiap tahunnya dan akan meningkat pada tahun berikutnya. Secara kimia sabut buah pinang mengandung flavonoid, alkaloid, hemiselulosa, selulosa dan pektin [4]. Komposisi material selulosa yang terdapat dalam sabut pinang yaitu 70% [5]. Kandungan selulosa yang tinggi dapat mengindikasikan sabut pinang merupakan bahan asal pembuatan elektroda karbon yang baik.

Bahan asal pembuatan elektroda karbon aktif dari sabut pinang diperoleh dengan tahapan karbonisasi dan aktivasi bahan biomassa. Tahapan karbonisasi dilakukan dalam lingkup gas N<sub>2</sub> pada suhu 600°C. Tahapan aktivasi dilakukan dengan dua cara yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktifasi kimia pada penelitian menggunakan bahan pengaktif yaitu kalium hidroksida (KOH). Bahan pengaktif KOH dapat meningkatkan kekuatan serat dari sabut pinang [6]. Aktivasi fisika dilakukan dalam lingkup gas CO<sub>2</sub> pada suhu 900°C dengan waktu yang divariasikan.

## METODE PENELITIAN

Sabut pinang didapatkan dari pengumpul buah pinang. Sabut pinang dibersihkan dan ditumbuk-tumbuk agar serat yang didapatkan lebih bagus. Sampel sabut pinang kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari dan dilanjutkan pengeringan dengan oven pemanas bersuhu 110°C, masing-masing selama 2 x 24 jam. Sampel yang telah kering dilanjutkan ke proses pra-karbonisasi dengan memasukkan sampel kedalam oven selama 2,5 jam bersuhu 250°C. Sampel yang telah dipra-karbonisasi dihancurkan dengan *ball milling* dan diayak dengan ukuran partikel <53µm. Serbuk pra-karbonisasi kemudian diaktivasi kimia dengan bahan pengaktif KOH 0,5M selama 2 jam dan dikeringkan di oven pengering. Serbuk aktivasi yang telah kering kemudian dicetak

dengan *Hidraulic press* berbentuk monolit. Serbuk tang telah berbentuk monolit kemudian dikarbonisasi dan aktivasi fisika pada suhu 600°C dan 900°C dengan waktu yang divariasikan. Masing-masing sampel kemudian dilakukan pengujian sifat fisika dan elektrokimia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisa Sifat Fisis densitas

**Tabel 1.** Grafik perbandingan densitas elektroda

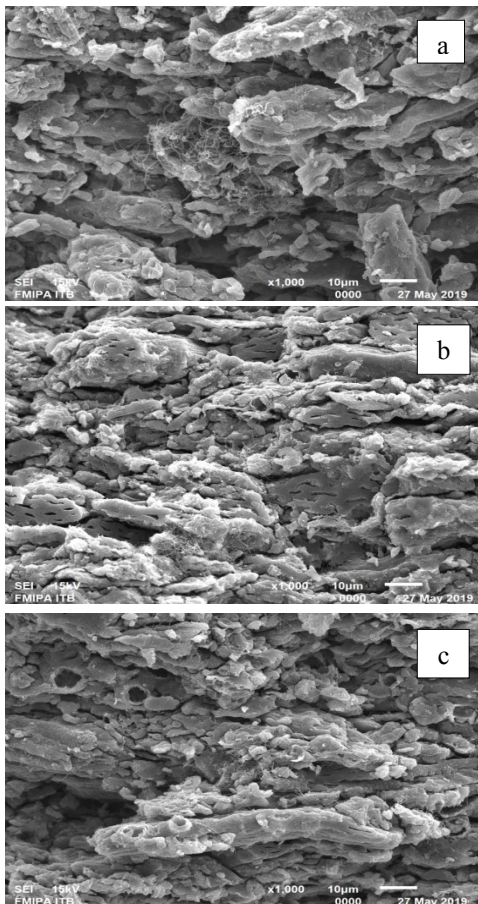
Kode sampel	Sebelum karbonisasi	Setelah karbonisasi
SP-1.5	1.107	0.82
SP-2.0	1.129	0.763
SP-2.5	1.081	0.664

Tabel 1 menunjukkan data perubahan densitas elektroda karbon sebelum dan setelah karbonisasi-aktivasi. Densitas elektroda karbon setelah karbonisasi-aktivasi jauh lebih kecil dibandingkan sebelum karbonisasi. Hal ini dikarenakan penambahan gas N<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> membuat partikel dari elektroda karbon rusak membentuk pori yang lebih halus. Penambahan waktu aktivasi fisika terhadap densitas elektroda karbon membuat densitas elektroda karbon semakin susut. Susut densitas paling tinggi terdapat pada sampel SP-2.5 sebesar 42% hampir setengah densitas awal. Susut densitas yang tinggi dikarenakan berkurangnya zat pengotor pada elektroda karbon. Susut densitas yang tinggi juga dipengaruhi waktu aktivasi, semakin lama aktivasi menyebabkan penguapan bahan selain karbon sehingga menyebabkan pembentukan pori-pori baru pada sampel. Pori-pori baru yang banyak terbentuk mengakibatkan porositas elektroda karbon semakin besar

### Analisa Sifat Fisis *Scanning electron Microscopy*

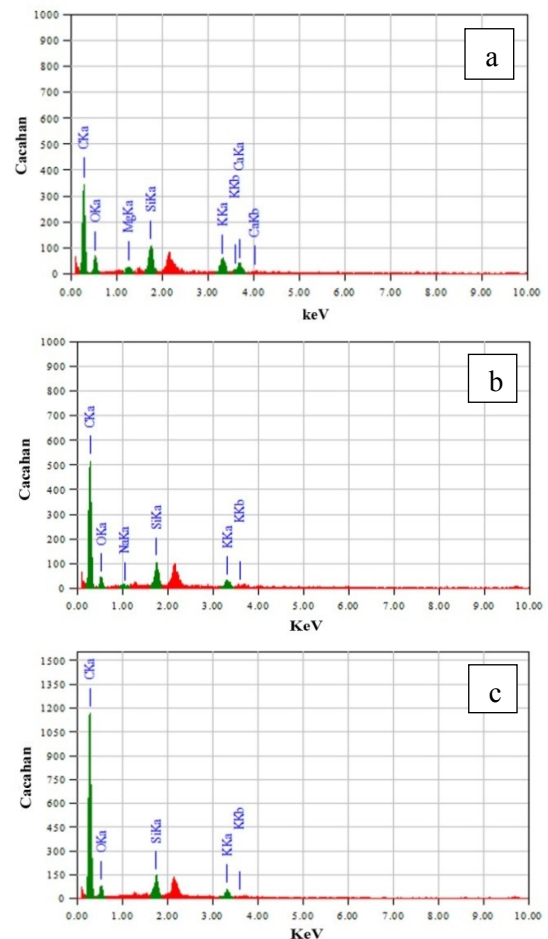
Karakterisasi struktur morfologi atau SEM untuk elektroda karbon masing-masing sampel pada perbesaran 1000 kali ditunjukkan pada Gambar 1. Morfologi permukaan sampel

terdiri dari partikel dan pori-pori dalam skala mikrometer dengan bentuk yang tidak teratur. Gambar 1.a menunjukkan sampel SP-1.5 dengan morfologi permukaan sampel didominasi oleh partikel-partikel yang berukuran besar dan tidak seragam. Gambar 1.b menunjukkan sampel SP-2.0 dengan morfologi permukaan sampel terdiri dari partikel-partikel dan juga terbentuk pori baru. Ukuran partikel yang terbentuk pada sampel ini lebih kecil dibanding sampel SP-1.5. Pori-pori baru yang terbentuk berukuran kecil sekitar 600-1100 nm. Gambar 1.c menunjukkan sampel SP-2.5 dengan morfologi permukaan sampel terdiri dari partikel yang lebih kecil dibanding sampel SP-1.5 dan SP-2.0. Pori-pori yang terbentuk pada sampel ini berukuran sekitar 3000-5000nm. Penambahan besar ukuran pori disebabkan karena terkikisnya permukaan pori karena lamanya waktu aktivasi.



**Gambar 1.** Hasil karakterisasi SEM sampel SP perbesaran 1000 kali untuk (a) SP-1.5 (b) SP-2.0 dan (c) SP-2.5.

### Analisa Sifat Fisis *Energy Dispersif X-Ray*

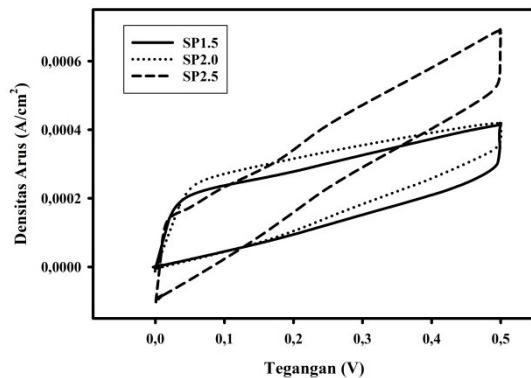


**Gambar 2.** Kurva karakterisasi energy dispersif sinar-x masing-masing sampel (a) SP-1.5 (b) SP-2.0 dan (c) SP-2.5.

Gambar 2 menunjukkan hasil karakterisasi dispersif sinar-x yang bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur yang ada pada sampel elektroda sabut pinang. Gambar 2.a menunjukkan banyaknya kandungan unsur selain karbon yang terdapat pada sampel, seperti oksigen, magnesium, silika, kalsium dan kalsium. Jumlah unsur karbon berkisar 350 cacahan. Gambar 2.b menunjukkan banyaknya kandungan unsur selain karbon yang sudah mulai berkurang, seperti oksigen, natrium, silika dan kalium. Jumlah kandungan karbon berkisar 500 cacahan lebih banyak dari sampel SP-2.0. Gambar 2.c menunjukkan banyaknya kandungan unsur selain karbon sudah berkurang, tidak sebanyak sampel SP-1.5 dan SP-2.0 yaitu oksigen, silika dan kalium. Semakin lama waktu aktivasi

membuat sampel selain karbon semakin berkurang. Jumlah kandungan karbon pada sampel SP-2.5 memiliki jumlah tertinggi yaitu 1150 cacahan, hal ini dikarenakan penambahan waktu aktivasi membuat kandungan unsur karbon semakin meningkat.

### Analisa sifat elektrokimia sel superkapasitor (*Cyclic Voltammetry*)



**Gambar 3.** Cyclic voltammetry elektroda karbon dari sabut pinang pada masing-masing sampel.

Metode *cyclic voltammetry* (CV) digunakan untuk melakukan pengukuran sifat elektrokimia sel superkapasitor. Gambar 3 menampilkan kurva hubungan antara tegangan terhadap arus. Sampel SP-1.5 memperlihatkan lebar daerah Ic-Id paling besar diantara sampel lainnya.

Kapasitansi spesifik yang dihasilkan sampel SP-1.5, SP-2.0 dan SP-2.5 yaitu 17,9 F/g, 16,7 F/g dan 16,47 F/g. Semakin lama waktu aktivasi kapasitansi yang dihasilkan semakin menurun. Penurunan kapasitansi dikarenakan lamanya waktu aktivasi sehingga membuat pori-pori yang terbentuk semakin terkikis dan lebar. Pori-pori ini juga menjadi rusak, sehingga kapasitansi yang dihasilkan menurun.

### KESIMPULAN

Hasil dan pembahasan menunjukkan waktu aktivasi 1,5 jam merupakan waktu terbaik

untuk pembuatan elektroda karbon dari sabut pinang. Penambahan waktu aktivasi meningkatkan persentase susut densitas dan jumlah kandungan karbon yang dihasilkan. Semakin lama aktivasi membuat bahan pengotor pada sampel berkurang.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi atas bantuan pendanaan melalui projek PD tahun 2019 dengan nomor kontrak **729/UN.19.5.1.3/PT.01.03/2019**.

### REFERENSI

- Zhang, C., Zhu, X., Cao, M., Li, M., Li, N et al (2016). Hierarchical Porous Carbon Materials Derived from Sheep Manure for High-Capacity Supercapacitor. *Chemsuschem*, 9, 932-937.
- Zhu, Z., Hu, H., Li, W., and Zhan, X., (2007). Resorcinol formaldehyde based porous carbon as an electrode material for supercapacitor. *Carbon* 5(1) : 160-165.
- Pang, E., Hao, Y., Sun, Y., and Lin, K. (2016). Differential variation patterns between hubs and bottlenecks in human protein-protein interaction networks. *BMC Evol. Biol.* 16:260.
- Cyriac, M., Pai, V., Varghese, I., Shantaram, M., Jose, M. (2012). Antimicrobial Properties of Areca Catechu (Areca Nut) Husk Extracts Against Common Oral Pathogens. *International Journal Research in Ayurvedic Pharmaceutical.* 3(1), 81-84
- Panjaitan, RR. 2008. Pengembangan Pemanfaatan Sabut Pinang untuk Pembuatan Asam Oksalat. *Berita Litbang Industri Media Publikasi dan komunikasi Peneliti Industri.* 39(1)
- Rekha, V. B., Ramachandralu, K., S. V. (2015). *International Journal of Pharmtech Research.* 8(4), 521-530



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

## SEGMENTASI CITRA PARU-PARU MENGGUNAKAN METODE KONTUR AKTIF DENGAN VALIDASI ROC

**Sintha Syaputri, Zulkarnain\***

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Riau Kampus Bina Widya  
Jl. Prof. Muchtar Luthfi Pekanbaru, 28293, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [zulkarnain22@gmail.com](mailto:zulkarnain22@gmail.com)

### ABSTRACT

*Segmentation is the process of separating parts of objects from the background by dividing images that have different object intensities with each other such as in imaging of body parts. Active contour segmentation was used for medical imaging that resistant to noise around objects. This study used 5 chest X-Ray images, specifically to the lungs with a grayscale format measuring 256 x 256 pixels, through the preprocessing process and filtering a Gaussian filter, each image was inputted to the R2015a version of the matlab GUI program. Then the segmentation had done by using the active contour method. In this method a curve in the form of a small circle was placed on the edge of object to be segmented. The curve will move according to the shape of the outer edge of the lung based on the values of active contour parameters such as Alpha, Beta, Gamma, Kappa, WEline, WEedge, WEterm and Iteration. Validation was done by using the ROC (Receiver Operating Characteristic) method and were obtained an average percentage with an accuracy value of 96.26%, a specificity of 96.47% and a sensitivity of 76.54%.*

**Keywords:** Active contour segmentation, Lung, X-ray thorax, ROC

### ABSTRAK

*Segmentasi merupakan proses pemisahan bagian objek terhadap latar dengan membagi citra yang memiliki intensitas objek yang berbeda antara satu dengan yang lain seperti pada pencitraan bagian-bagian tubuh. Segmentasi kontur aktif digunakan untuk citra medis yang tahan terhadap noise di sekitar objek. Penelitian ini menggunakan 5 buah citra X-Ray thorax khususnya bagian paru-paru dengan format grayscale berukuran 256 x 256 pixel, melalui proses awal (preprocessing) dan filter menggunakan tapis Gaussian, masing-masing citra diinput ke program GUI matlab versi R2015a. Selanjutnya dilakukan segmentasi dengan menggunakan metode kontur aktif. Pada metode ini kurva berupa lingkaran kecil diletakkan di bagian objek yang akan disegmentasi. Kurva akan bergerak sesuai dengan bentuk tepi luar paru-paru berdasarkan nilai parameter-parameter kontur aktif berupa Alfa, Beta, Gamma, Kappa, WEline, WEedge, WEterm dan Iterasi. Validasi dilakukan dengan metode ROC (Receiver Operating Characteristic) didapatkan hasil persentase rata-rata dengan nilai akurasi 96.26%, spesifitas 96,47% serta sensitifitas 76,54%.*

**Kata Kunci:** Segmentasi aktif kontur, Paru-paru, X-Ray thorax, ROC

*Diterima 12-07-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019*

### PENDAHULUAN

Teknik pengolahan citra digital merupakan salah satu produk pengembangan dari teknologi komputasi [1]. Pengolahan data citra medis berbasis komputer mempermudah

dokter mencermati suatu keabnormalan dengan cepat dan tepat, namun potensi ini belum banyak tergali baik untuk riset ataupun untuk keperluan rumah sakit di Indonesia [2]. Teknologi ini membantu tenaga medis untuk mendiagnosa yang lebih baik dan akurat

berdasarkan irisan anatomi yang direpresentasikan pada citra.

Citra *X-Ray thorax* adalah citra yang menampilkan penampang organ tubuh bagian dalam manusia khususnya pada bagian rongga dada [3]. *Thorax* (rongga dada) adalah daerah tubuh yang terletak diantara leher dan *abdomen* [4]. Dokter ahli penyakit dalam menyatakan bahwa paru-paru merupakan organ dalam yang paling rawan mengalami kerusakan, hal ini disebabkan fungsi paru-paru yang bersentuhan secara langsung dengan lingkungan luar, karena paru-paru berfungsi mengambil udara dari luar tubuh (lingkungan). Pemeriksaan yang lebih teliti diperlukan dari setiap perubahan pada organ-organ yang ada di rongga dada, terutama paru-paru [5].

Citra yang diamati secara manual kurang efektif dalam menentukan suatu diagnosa, sehingga menyebabkan analisis secara visual untuk objek jaringan atau organ yang menjadi perhatian sulit dilakukan.

Salah satu pengolahan citra digital adalah segmentasi. Keunggulan metode ini adalah tahan terhadap *noise* yang berada di sekitar objek, sehingga bentuk objek yang hendak diamati pada citra medis tertentu akan mudah dianalisa [6]. Segmentasi membagi citra ke dalam daerah intensitasnya masing-masing sehingga bisa membedakan antara objek dan *background*-nya. Pembagian ini tergantung pada masalah yang akan diselesaikan. Segmentasi harus dihentikan apabila masing-masing objek telah terisolasi atau terlihat dengan jelas. Kontur aktif berupa kumpulan titik yang bergerak mendekati batasan dari suatu objek.

## TINJAUAN PUSTAKA

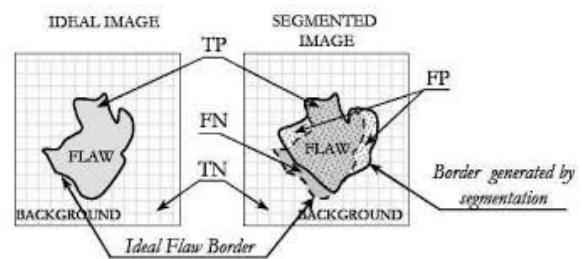
Fungsi energi yang digambarkan kontur aktif terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut [7].

$$E_{AK} = \int_0^1 \{E_{int}(v(s)) + E_{img}(v(s)) + E_{con}(v(s))\} . ds \quad (1)$$

dimana  $E_{AK}$  merupakan fungsi energi dari *active contour*,  $v(s)$  merupakan kumpulan dari  $x$  dan  $y$  koordinat dari kurva kontur aktif,  $E_{int}$  merupakan energi internal kontur aktif, energi ini mempengaruhi pergerakan dari kurva kontur aktif,  $E_{img}$  merupakan energi dari gambar digital yang menjadi input, dan  $E_{con}$  *high level*

*information* yang mempengaruhi pergerakan dari kurva kontur aktif [6].

ROC (*Receiver Operating Characteristics*) merupakan suatu pengukuran dalam uji diagnostik, dalam dunia medis pengukuran tersebut digunakan untuk evaluasi tes medis. Suatu aplikasi segmentasi harus memiliki akurasi yang cukup, untuk memenuhi persyaratan tersebut, peneliti menggunakan metode pengukuran ROC yaitu menghitung nilai akurasi, sensitifitas, dan spesifitas pada citra hasil segmentasi dengan membandingkan hasil segmentasi citra ujicoba pada citra asli [7].



**Gambar 1.** Perbedaan antara citra paru-paru asli dengan citra hasil segmentasi [8]

Gambar 1 merupakan pembagian daerah TP, TN, FP, dan FN pada citra paru-paru asli dengan citra hasil segmentasi. Keempat nilai tersebut dihitung berdasarkan jumlah *pixel* yang dilingkupi dan dihitung akurasi, sensitifitas serta spesifitasnya.

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

$$Sensitivitas = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

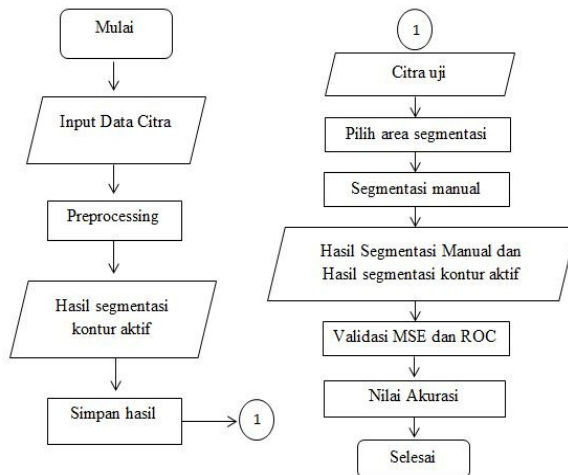
$$Spesifitas = \frac{TN}{TN + FP} \quad (4)$$

dimana TP adalah *true positif* (nilai kebenaran antara hasil gambar ujicoba dengan paru-paru), TN adalah *true negatif* (nilai kebenaran antara hasil gambar ujicoba dengan *background*), FP adalah *false positif* (nilai ketidaktepatan antara hasil gambar ujicoba dengan paru-paru), dan FN adalah *false negatif* (nilai ketidaktepatan antara hasil gambar ujicoba dengan *background*) [9].

## METODE PENELITIAN

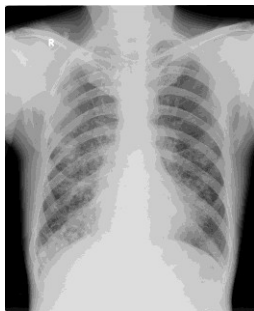
Pengolahan data citra medis *X-Ray thorax* ini dengan menggunakan program MATLAB

R2015a dengan sistem GUI. Penelitian ini dimulai input data citra. Hasil dari segmentasi dengan menggunakan metode kontur aktif dibandingkan dengan hasil segmentasi manual. Langkah-langkah penelitian dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir program seperti yang terlihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram alir program

Objek citra sebanyak 5 citra adalah file citra X-Ray thorax yang berformat JPG, berukuran 256 x 256 piksel. Gambar 3 adalah objek yang akan diteliti.



**Gambar 3.** Contoh data citra X-Ray thorax.

### Preprocessing (Tahapan Awal)

Proses ini merupakan kumpulan dari proses yang digunakan untuk dapat menghasilkan segmentasi yang terbaik. *Preprocessing* yang digunakan adalah konversi dan perbaikan citra (*Image Enhancement*). Proses konversi citra dilakukan dari citra RGB menjadi citra grayscale (gambar yang memiliki tingkat warna keabuan). Proses kedua yaitu perbaikan citra, dalam hal ini menggunakan filter atau tapis gaussian untuk menghaluskan citra dan mengurangi *noise* atau derau pada citra. Proses di atas dapat memudahkan dalam hal

segmentasi dengan menggunakan kontur aktif.

### Segmentasi Kontur Aktif

Segmentasi dapat digunakan dalam mendeteksi pinggiran suatu objek. Langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan inialisasi kurva apabila citra tersebut telah melalui proses *preprocessing*. Kurva inialisasi berbentuk lingkaran kecil dimana setiap lingkaran tersebut diletakkan di bagian objek yang akan disegmentasi khususnya pada bagian paru-paru.

Tahap ini selesai, selanjutnya memberikan nilai iterasi pada objek tersebut agar proses segmentasi bisa berjalan dan mendeteksi tepian dari gambar atau objek yang ingin disegmentasi. Hasil dari segmentasi tersebut kemudian menjadi citra biner karena dapat memudahkan proses perbandingan antara hasil segmentasi manual paru-paru dengan hasil segmentasi menggunakan kontur aktif.

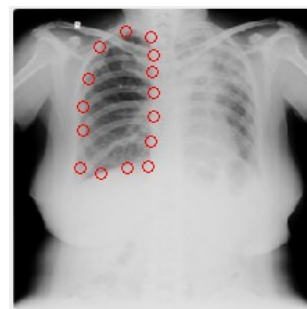
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Citra Thorax Img0211



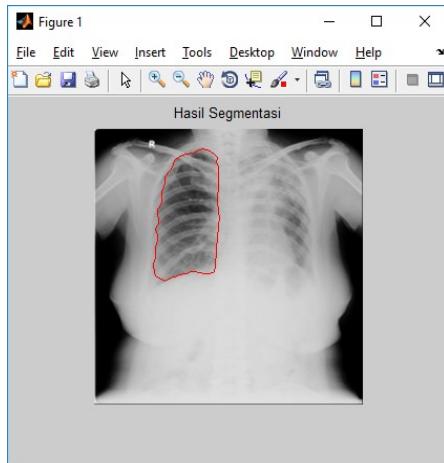
**Gambar 4.** Citra throax Img0211

Adapun penentuan posisi koordinat kontur aktif *snake* yang digunakan adalah sebagai berikut.



**Gambar 5.** Penentuan posisi *snake* citra thorax Img0211.

Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa penentuan posisi *Snake* dilakukan pada sisi kanan paru-paru. Selain itu, poisis koordinat kontur aktif *Snake* berada tepat di tepi-tepi objek. Berikut adalah hasil segmentasi citra *thorax* *Img0211* yang dilakukan pada pengujian ini.



**Gambar 6.** Hasil segmentasi citra *thorax* *Img0211*.

Hasil segmentasi dapat dilihat pada area paru-paru yang dibatasi garis warna merah. Berdasarkan Gambar 6 terlihat bahwa hasil segmentasi berada area paru-paru, dimana metode kontur aktif berhasil mendeteksi tepi dari area paru-paru.

#### Validasi ROC

**Tabel 1.** Pengujian akurasi hasil segmentasi kontur aktif terhadap segmentasi manual dengan menggunakan metode ROC.

Citra	ROC (%)		
	Akurasi	Sensitifitas	Spesifisitas
Img0207	97.5098	78.8143	97.2664
Img0208	93.4448	86.1401	90.5123
Img0210	96.6141	68.743	96.3434
Img0211	97.0764	70.4903	96.9219
Img0212	96.6583	78.5613	96.3218

Pengujian tingkat akurasi menggunakan metode ROC dilakukan terhadap hasil segmentasi kontur aktif dan hasil segmentasi manual dengan menggunakan data masukan sebanyak 5 citra. Hasil yang didapat merupakan hasil dari segmentasi paru-paru menggunakan metode kontur aktif, masing-masing citra dihitung nilai *true positif*, *true negatif*, *false positif*, dan *false negatif* sehingga

didapatkan presentase akurasi, sensitifitas, dan spesifitas dalam bentuk presentase.

Berdasarkan Tabel 1. tingkat akurasi hasil segmentasi kontur aktif memiliki rata-rata sebesar 96.26068%. Adapun tingkat sensitifitas dari hasil yang diperoleh memiliki rata-rata sebesar 76.5498%. Sedangkan tingkat spesifisitas hasil segmentasi memiliki rata-rata sebesar 96.47316%. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma kontur aktif mampu melakukan segmentasi citra paru-paru dengan sangat baik.

Penelitian yang dilakukan oleh Haryadi [10] tentang segmentasi citra X-Ray paru-paru menggunakan *Max-Tree* dan geometri kontur aktif, didapatkan hasil segmentasi dengan nilai akurasi sebesar 96.17%, nilai sensitifitas sebesar 93.36, dan nilai spesifisitas sebesar 97.78%. Apabila dibandingkan terhadap hasil yang diperoleh pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh memiliki tingkat akurasi, tingkat sensitifitas, dan tingkat spesifisitas yang hampir sama dan hasilnya tidak jauh berbeda [10].

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh dari segmentasi Paru-paru pada citra X-Ray *thorax* menggunakan metode kontur aktif didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Program untuk segmentasi paru-paru pada citra X-Ray *thorax* menggunakan metode kontur aktif berhasil dilakukan dengan sistem GUI yang terdapat pada Matlab. Segmentasi menggunakan kontur aktif berhasil mendeteksi tepi-tepi objek pada citra paru-paru X-Ray *thorax* sehingga pengamatan terhadap citra paru-paru menjadi lebih jelas.
2. Penentuan koordinat posisi kontur aktif sangat mempengaruhi hasil segmentasi, dimana posisi koordinat kontur aktif tidak boleh terlalu jauh dari area yang ingin disegmentasi. Apabila posisi koordinat kontur aktif terlalu jauh dari area yang disegmentasi maka ketika proses dilakukan kontur aktif cenderung menjauh dari tepi objek.
3. Pengujian menggunakan metode ROC, didapatkan hasil yang menunjukkan atas terlihat bahwa tingkat akurasi hasil segmentasi kontur aktif memiliki rata-rata yaitu 96.26%. Adapun tingkat spesifisitas

hasil segmentasi memiliki rata-rata sebesar 96.47 %. Sedangkan tingkat sensitifitas dari hasil yang diperoleh memiliki rata-rata sebesar 76.54%.

## REFERENSI

1. Efford, N. (2000). *Digital Image Processing: a Practical Introducing Using Java*. USA: Pearson Education Limited.
2. Alfiansyah. A.Ng. 2009. *Deformable Model for Serial Ultrasound Images Segmentation: Aplication to Computer Assisted Hip Athropasty*. Singapore:International Conference on Bio Medical Engineering.
3. Supriyanto. *Segmentasi Citra Secara Semi-otomatis Untuk Visualisasi Volumetrik Citra CT-Scan Pelvis Makara*. Teknologi vol. 13. no. 2. November 2009. pp.59-66.
4. Hartono, Wahyu. 2017. Segmentasi Paru-paru pada Citra X-Ray Thorax Menggunakan K-Means. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Evelyn CP. 2009. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: PT Gramedia.
6. Proklamasi, Bara. 2013. Segmentasi Tulang Selangka pada Citra X-Ray Thorax dengan Menggunakan Metode Active Contour. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Hariyadi, Mokhammad Amin. 2009. Segmentasi Paru-paru Menggunakan Level Sets. Electrical Engineering Department.
8. Hayati, Ratri Nur Kumala. 2013. Segmentasi Paru-paru pada Citra Digital Hasil X-Ray Thorax Menggunakan Metode Level Set untuk Menghitung Diameter Maksimal Paru-paru. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
9. Mardiyah, Ainatul dan agus Harjoko. 2011. Metode Segmentasi Paru-paru dan Jantung pada Citra X-Ray Thorax. IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation System).
10. Hariyadi, Mokhammad Amin dan Eviv Lailyana. 2011. Filtering dan Geometri Kontur Aktif untuk Menentukan Segmentasi Paru-paru pada Citra X-Ray Thorax. Berk Penel. 4E: 5-9.



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



## PENENTUAN KOMPOSISI KIMIAWI ATMOSFER DAN TEMPERATUR EFEKTIF PADA BINTANG VEGA ( $\alpha$ Lyr) DENGAN MENGGUNAKAN METODE SPEKTROKOPI ABSORPSI

Fitri Yuliana<sup>1</sup>, Zulkarnain<sup>1,\*</sup>, Hakim Luthfi Malasan<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Jurusan Astronomi, Institut Teknologi Bandung

\*E-mail korespondensi: [zulkarnain22@gmail.com](mailto:zulkarnain22@gmail.com)

### ABSTRACT

*The star spectrum is an information which is thought to be a map of the star. The shape of the spectral line actually shows the nature of the star atmosphere, which is the only part researcher can be reached. The intensities of spectral lines will determine the chemical composition of the stars contained in the atmospheres of the stars. The approach used to determine the chemical composition and the effective temperature of the star is spectroscopy. The spectroscopy method had been done in this study using the GAO-ITB RTS telescope system which consisting of the Celestron C11 telescope, NEO-R 1000 spectrograph and CCD SBIG ST-8 camera. The object studied is Vega ( $\alpha$  Lyr) star which has a magnitude of 0.00 that the main sequence star of the A0 spectrum class. The image data obtained then be processed using IRAF software to obtain the final spectrum graph with the y-axis representing the flux in  $\text{erg cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  and the x-axis representing the wavelength in units of  $\text{\AA}$ . Furthermore, we match the absorption wavelength on the final spectrum graph to the existing wavelength of the Atomic Spectra Database (ASD) to identify the atmospheric chemical composition of the Vega star. Effective temperature can be calculated by using the Wien shifting laws by find out the maximum wavelength of the final spectrum graph. The most found element in the atmosphere of Vega star was hydrogen (H) that consist of  $H\epsilon$ ,  $H\delta$ ,  $H\gamma$ ,  $H\beta$ , and  $H\alpha$ . The value of effective temperature of the Vega star is 7136 K that has difference percentage of 22.85 % from the mean temperature of A type star.*

**Keywords:** Chemical composition, Effective temperature, Star, Spectroscopy, IRAF

### ABSTRAK

*Spektrum bintang merupakan informasi yang dianggap sebagai peta cahaya dari bintang. Bentuk garis spektrum yang sesungguhnya memperlihatkan sifat dari atmosfer bintang tersebut, yang merupakan satu-satunya bagian dari bintang yang dapat dijangkau oleh peneliti. Kuat dan lemahnya garis spektrum akan menentukan unsur kimia penyusun bintang yang terkandung pada atmosfer bintang. Pendekatan yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia dan temperatur efektif dari bintang adalah spektroskopi. Metode spektroskopi telah dilakukan pada penelitian ini dengan menggunakan sistem teleskop GAO-ITB RTS yang terdiri dari teleskop Celestron C11, spektograf NEO R-1000, kamera CCD SBIG ST-8. Objek yang diteliti adalah bintang Vega ( $\alpha$  Lyr) yang memiliki magnitudo sebesar 0,00 yang merupakan bintang deret utama dari kelas spektrum A0. Data citra yang diperoleh diolah menggunakan software IRAF untuk mendapatkan grafik spectrum akhir dengan sumbu-y mewakili fluks dalam  $\text{erg cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  dan sumbu-x mewakili panjang gelombang dalam satuan  $\text{\AA}$ . Selanjutnya dilakukan pencocokan antara panjang gelombang garis absorpsi pada grafik spektrum akhir terhadap panjang gelombang yang telah ada pada Atomic Spectra Database (ASD) untuk mengidentifikasi unsur-unsur penyusun atmosfer bintang Vega. Temperatur efektif dapat dihitung menggunakan hukum pergeseran Wien dengan mengetahui panjang gelombang maksimum dari grafik spektrum akhir. Unsur yang paling banyak ditemukan pada atmosfer bintang Vega adalah hidrogen (H) yaitu  $H\epsilon$ ,  $H\delta$ ,  $H\gamma$ ,  $H\beta$ , dan  $H\alpha$ . Temperatur efektif bintang Vega yang telah dihitung adalah sebesar 7136 K yang memiliki persentase perbedaan sebesar 22,85 % dari temperatur rata-rata bintang kelas spektrum A.*

**Kata kunci:** Komposisi kimia, Temperatur efektif, Bintang, Spektroskopi, IRAF

Diterima 17-07-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

## PENDAHULUAN

Bintang adalah salah satu objek langit yang bisa memancarkan cahayanya sendiri. Sebagai komponen dasar penyusun alam semesta, bintang merupakan objek paling fundamental yang perlu dipahami sebelum membahas satuan yang lebih luas seperti galaksi, gugus galaksi maupun alam semesta itu sendiri [1]. Bintang memiliki cahaya yang bersifat polikromatik yaitu terdiri dari banyak panjang gelombang yang biasanya disebut sebagai radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik inilah yang dipancarkan bintang ke alam semesta melalui atmosfer bintang tersebut.

Atmosfer bintang merupakan satu-satunya bagian dari bintang yang dapat dijangkau oleh para peneliti, oleh karena itu atmosfer bintang merupakan penghubung antara pengamat dengan parameter lain dari astrofisika bintang seperti interior dan evolusi bintang [2]. Bagian terluar bintang akan memancarkan radiasi secara langsung dengan membawa informasi tentang sifat-sifat fisis bintang seperti temperatur efektif ( $T_{\text{eff}}$ ), percepatan gravitasi permukaan ( $g$ ), kecepatan mikroturbulensi ( $v_{\text{turb}}$ ), metalisitas ( $[\text{Fe}/\text{H}]$ ), tekanan serta komposisi unsur kimia penyusun bintang itu sendiri [3].

Radiasi yang dipancarkan oleh atmosfer bintang merupakan spektrum bintang tersebut. Untuk mempelajari spektrum dari bintang diperlukan sebuah metode atau cara. Studi yang membahas tentang interaksi antara cahaya dengan materi terdiri atas tiga buah metode yaitu fotometri, spektroskopi, dan astrometri, tetapi yang paling populer digunakan hanya dua diantaranya yaitu spektroskopi dan fotometri. Spektroskopi merupakan metode mengenai interaksi cahaya terhadap materi sebagai fungsi gelombang dengan menggunakan hukum-hukum absorpsi, emisi, dan hamburan radiasi elektromagnetik untuk mendapatkan *Spectral Energy Distribution* (SED) dari bintang yang diamati [4].

Komponen dasar dari spektroskopi terdiri dari sebuah spektograf dan kisi difraksi [1]. Alat tambahan seperti lampu pembanding dan kamera CCD juga dapat ditemukan dalam sistem teleskop yang akan digunakan. Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimen di Observatorium Bosscha menggunakan sistem teleskop GAO-ITB RTS yang terdiri dari teleskop, spektograf, kamera CCD, lampu dan komputer. Sistem teleskop akan mengukur spektrum bintang sampel yang terdiri dari masing-masing kelas spektrum yaitu O, B, A, F, G, dan M dengan ketentuan magnitudo lebih kecil dari 4. Citra spektrum dari bintang sampel yang telah direkam oleh kamera CCD akan diolah dengan menggunakan program IRAF dan langkah terakhir adalah mensinkronkan dengan indeks unsur kimia yang telah ada secara manual sehingga komposisi atmosfer dari bintang dapat ditentukan.

Temperatur efektif akan dihitung menggunakan hukum pergeseran Wien setelah panjang gelombang maksimum dari grafik spektrum akhir bintang Vega diketahui. Kemudian akan dihitung besar persentase perbedaan antara nilai temperature efektif dan temperatur rata-rata untuk bintang kelas spektrum A. Langkah terakhir akan diperoleh kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

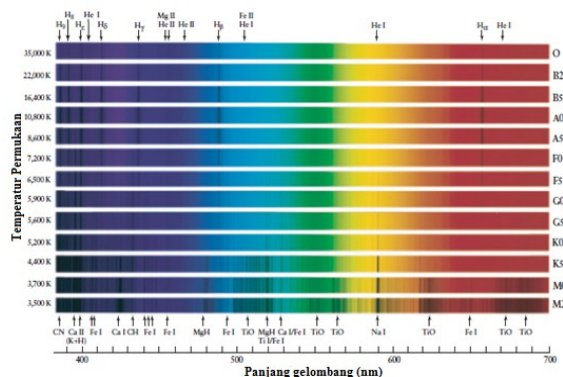
## TINJAUAN PUSTAKA

Warna dari bintang telah membantu para astronom untuk menentukan temperatur permukaannya. Guna menentukan sifat-sifat lain dari bintang, para astronom harus menganalisis spektrum cahaya secara lebih rinci. Teknik spektroskopi bintang dimulai sekitar tahun 1817 oleh Joseph Fraunhofer, seorang pembuat instrumen dari Jerman, dengan menggabungkan sebuah spektroskop ke teleskop dan mengarahkannya ke bintang-bintang. Sebelumnya Fraunhofer juga mengamati bahwa Matahari memiliki garis spektrum absorpsi yaitu spektrum kontinu dengan garis absorpsi. Dia menemukan fakta

bahwa bintang-bintang memiliki tipe spektrum yang sama, yang memperkuat gagasan bahwa matahari juga merupakan sebuah bintang. Selain itu Fraunhofer juga menemukan fakta bahwa pola garis absorpsi akan berbeda untuk bintang yang berbeda.

Tahun 1920-an, Cecilia Payne seorang astronom Harvard dan Meghnad Saha seorang fisikawan India menunjukkan bahwa urutan spektrum OBAFGKM sebenarnya merupakan urutan temperatur. Bintang terpanas adalah bintang O dan bintang M merupakan bintang terdingin. Garis absorpsi hanya bisa terjadi jika bintang memiliki temperatur permukaan diatas 25.000 K. Fitur spektrum dari bintang M sesuai dengan bintang yang memiliki temperatur permukaan sekitar 3.000 K.

Deret Balmer hidrogen patut diperhitungkan untuk melihat mengapa tampilan bintang sangat dipengaruhi oleh temperatur permukaan bintang. Hidrogen merupakan elemen yang paling melimpah di alam semesta, terhitung tiga per empat massa bintang. Namun deret Balmer tidak selalu muncul pada setiap spektrum bintang. Bintang yang memiliki temperatur permukaan lebih besar dari 10.000 K, atom hidrogennya tidak dapat menghasilkan garis absorpsi. Maka dari itu garis Balmer akan relatif lemah pada tipe bintang panas seperti bintang kelas O dan B2.

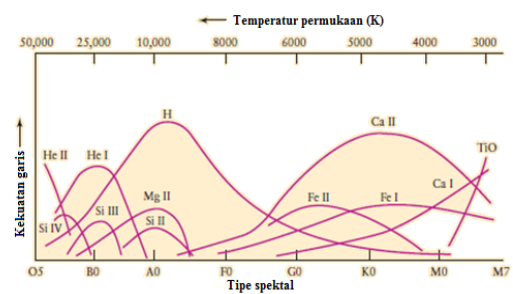


Gambar 1 Pembagian kelas spektrum bintang [5].

Sebaiknya jika atmosfer bintang jauh lebih dingin dari 10.000 K, hanya sedikit dari atom-atom hidrogen yang dapat menyerap foton dari deret Balmer. Akibatnya deret ini hampir tidak dapat ditemui pada spektrum bintang

yang dingin seperti bintang kelas M. Spektrum bintang yang memiliki deret Balmer yang menonjol harus cukup panas untuk merangsang elektron dari keadaan dasar namun tidak terlalu panas sehingga semua atom hidrogen menjadi terionisasi. Temperatur permukaan bintang sekitar 9.000 K akan menghasilkan garis hidrogen terkuat untuk kasus bintang kelas A. Seluruh unsur pada garis spektrum bintang dapat dilihat pada Gambar 1.

Para astronom menggunakan istilah logam untuk mengacu pada semua elemen selain hidrogen dan helium. Penggunaan istilah logam ini sangat berbeda dengan definisi yang digunakan oleh ahli kimia dan ilmuannya. Bagi seorang ahli kimia sodium dan besi adalah logam sedangkan oksigen dan karbon bukan, tetapi bagi seorang astronom semua zat tersebut adalah logam. Logam mendominasi spektrum bintang yang memiliki temperatur permukaan kurang dari 10.000 K. logam terionisasi menonjol antara temperatur 6.000 dan 8.000 K, sedangkan logam netral paling kuat antara temperatur 5.500 dan 4.000 K.



Gambar 2 Profil kekuatan garis absorpsi [5].

Temperatur bintang yang memiliki nilai lebih kecil dari 4.000 K, atom tertentu di atmosfer bintang akan bergabung membentuk molekul (pada temperatur yang lebih tinggi atom bergerak sangat cepat sehingga saat bertabrakan atom-atom tersebut saling memantul sama lain daripada saling menempel untuk membentuk molekul). Molekul-molekul tersebut saling bergetar dan berputar sehingga menghasilkan pita garis spektrum yang mendominasi spektrum bintang [5].

## METODE PENELITIAN

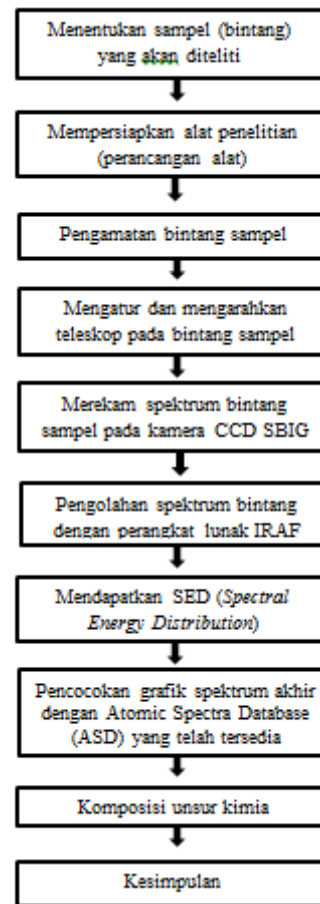
Penelitian dilaksanakan secara eksperimen terhadap objek yang diteliti. Penelitian akan dilakukan di Observatorium Bosscha dengan instrumen khusus dan objek eksperimen yang telah ditentukan sebelumnya yaitu bintang Vega.

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sistem dari teleskop GAO-ITB, yaitu Celestron C11, Spektograf NEO R-1000, kamera CCD SBIG ST-8, lampu Fluorescent Philips Genie Warm White 5W, selain itu terdapat juga komputer. Program komputer seperti IRAF, *Losmandy Gemini System*, CCDops5 dan TheSky dipasang pada komputer. Prosedur dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Penelitian diawali dengan menentukan bintang yang akan diamati. Langkah berikutnya merupakan kalibrasi dan setting alat, langkah ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat-alat yang akan digunakan berada dalam kondisi prima.

Langkah selanjutnya adalah penyetelan sistem teleskop GAO-ITB dapat dimulai dengan mempersiapkan sistem teleskop itu sendiri. Teleskop ini memiliki penutup berupa atap geser yang berguna untuk melindungi sistem teleskop tersebut, maka langkah kerja awal yang dilakukan adalah membukanya, dilanjutkan dengan mengaktifkan komputer, kamera CCD, spektograf, lampu pembanding dan *Losmandy Gemini System*. Pengaktifan kamera CCD sedikit berbeda, yaitu dibutuhkan program CCDops5.

Langkah selanjutnya adalah mengatur dan mengarahkan teleskop kepada bintang-bintang sampel. Langkah ini disebut dengan pointing. Proses ini memastikan bahwa bintang yang diamati terletak tepat ditengah-tengah bidikan teleskop. Setelah objek yang diamati terbidik dengan tepat langkah selanjutnya adalah merekam spectrum yang dihasilkan pada kamera CCD SBIG ST-8. Proses ini dinamakan *grabbing*, dimana pada proses ini kamera CCD nantinya akan merekam semua citra spektrum bintang sampel yang diamati.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

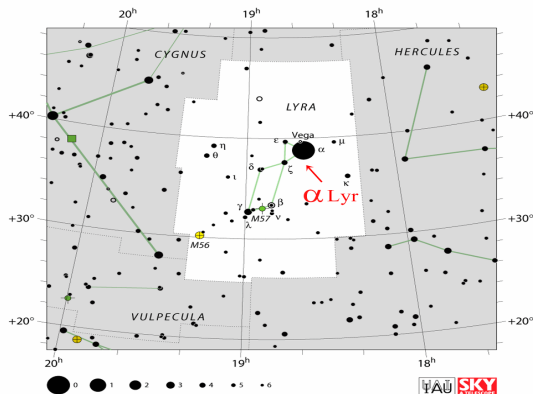
Langkah kelima merupakan pengolahan citra spektrum dengan menggunakan program IRAF. Terdapat tiga buah proses pada langkah kerja ini, pertama yaitu reduksi citra spektrum, dilanjutkan dengan kalibrasi panjang gelombang dan diakhiri dengan kalibrasi fluks. Reduksi citra spektrum adalah proses aritmatika pada program IRAF yang memerlukan dua buah spektrum, yaitu spektrum datar dan spektrum gelap. Reduksi citra spektrum perlu dilakukan agar gambar citra spektrum yang dihasilkan terbebas dari *noise*.

Proses pengolahan spektrum yang kedua adalah kalibrasi panjang gelombang. Proses ini bertugas untuk mengubah satuan skala *pixel* pada spektrum satu dimensi tadi menjadi satuan panjang gelombang. Pengolahan citra IRAF diakhiri dengan proses kalibrasi fluks. Proses ini merupakan langkah kerja untuk memperoleh fluks sebenarnya dari bintang sampel.

Pengolahan citra spektrum menggunakan IRAF akan menghasilkan grafik akhir dengan sumbu-y mewakili fluks dalam  $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  dan sumbu-x mewakili panjang gelombang dalam satuan  $\text{\AA}$ . Grafik ini akan dicocokkan dengan Atomic Spectra Database (ASD) yang telah ada dimana database ini memuat informasi unsur-unsur kimia beserta dengan panjang gelombang yang telah diuji di laboratorium. Langkah terakhir adalah mencari panjang gelombang maksimum untuk menghitung temperatur efektif dari objek yang diamati dengan menggunakan hukum Wien. Selanjutnya akan diperoleh kesimpulan dari penelitian.

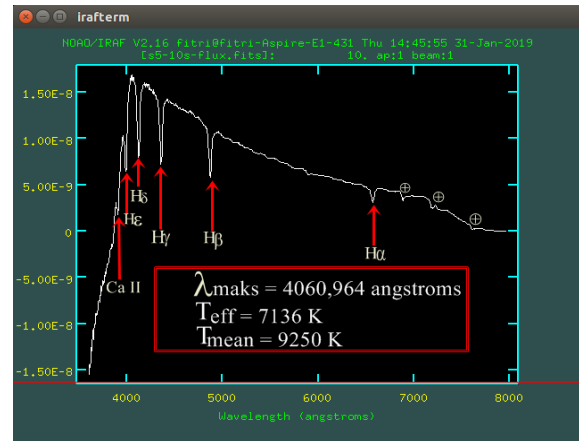
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bintang Vega ( $\alpha$  Lyr) adalah bintang tercerah di konstelasi *Lyra* dan bintang tercerah kedua di langit malam belahan utara yang memancarkan spektrum biru keputihan-putihan. Posisi  $\alpha$  Lyr terhadap bintang-bintang lainnya dalam langit malam dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Letak bintang Vega ( $\alpha$  Lyr) di konstelasi Lyra [6].

Pengamatan  $\alpha$  Lyr dilakukan pada tanggal 28 Juli 2018 dengan waktu pengamatan pada pukul 23.54 WIB dengan waktu bukaan lensa selama 10 detik dimana objek  $\alpha$  Lyr memiliki magnitudo 0,00. Spektrum yang diperoleh selanjutnya akan diolah melalui perangkat lunak IRAF hingga diperoleh grafik spektrum akhir. Grafik spektrum akhir  $\alpha$  Lyr dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik spektrum akhir dari bintang Vega ( $\alpha$  Lyr).

Gambar 5 menunjukkan informasi tentang komposisi kimia yang terkandung dalam atmosfer bintang beserta panjang gelombang maksimum, temperatur efektif, dan temperatur mean dari bintang  $\alpha$  Lyr. Bintang ini merupakan bintang kelas spektrum A yang memiliki ciri khas garis hidrogen terkuat.

Bintang golongan A juga mulai menunjukkan sejumlah garis spektral lainnya, seperti yang diketahui dari percobaan laboratorium adalah unsur-unsur yang lebih berat seperti besi (Fe), kalium (Ca) dan banyak unsur lainnya. Garis-garis yang terlihat terbentuk dari ion-ion unsur elemen yang telah kehilangan salah satu elektronnya, diperlukan sekitar 8 eV untuk mengionisasi elemen-elemen tersebut [7]. Garis H-Balmer paling kuat pada bintang kelas A2, selain itu garis H + K Fraunhofer (Ca II) menjadi lebih kuat, garis logam netral juga terlihat sedangkan garis helium (He I) menghilang [8].

Unsur-unsur hidrogen mendominasi sebagian besar komposisi atmosfer bintang kelas A, diantaranya adalah H $\epsilon$ , H $\delta$ , H $\gamma$ , H $\beta$ , dan H $\alpha$ . Perbedaan garis-garis ini berhubungan dengan transisi antara tingkat-tingkat energi atom hidrogen. Berdasarkan tingkatannya bila  $n_f = 2$  dan  $n_i \geq 3$  maka seluruh garis-garis jatuh di daerah cahaya tampak membentuk deret yang dinamakan deret Balmer. Garis dengan panjang gelombang terbesar terletak di daerah merah, disebut H $\alpha$  yang bersesuaian dengan  $n_i = 3$ . Selanjutnya H $\beta$  bersesuaian dengan  $n_i = 4$  dan H $\gamma$  bersesuaian dengan  $n_i =$

5 masing-masing terletak di daerah biru dan hijau, demikian seterusnya dan yang paling kecil berada pada daerah UV [9].

Tanda  $\oplus$  pada grafik spektrum akhir mewakili absorpsi telurik yaitu penyerapan oleh atmosfer Bumi, jadi tidak termasuk ke dalam fitur intrinsik dari spektrum bintang [10]. Absorpsi telurik sendiri merupakan fitur-fitur absorpsi akibat molekul-molekul di atmosfer Bumi dan dapat diamati pada rentang panjang gelombang visual dan inframerah. Atmosfer Bumi yang mengandung gas alami ozon, oksigen, dan uap air akan menyerap cahaya bintang melewatinya sehingga mengakibatkan kesalahan pada pengukuran panjang gelombang dan kuat garis pada metode spektroskopi. Meskipun begitu, garis absorpsi telurik merupakan acuan untuk mengetahui komposisi atmosfer Bumi bagi sains atmosfer [11].

Faktor lain yang mempengaruhi kualitas citra adalah seeing (turbulensi atmosfer). Seeing dalam astronomi merupakan istilah yang digunakan untuk menunjukkan tingkat penurunan resolusi gambar yang diakibatkan oleh turbulensi atmosfer Bumi. Selain mengandung partikel gas alami, atmosfer Bumi juga terdiri dari beberapa lapisan. Oleh karena itu, cahaya bintang akan melewati beberapa rintangan, sehingga mempengaruhi jalur optiknya. Fluktuasi indeks bias udara sebagai fungsi posisi dan waktu di atas lokasi pengamatan mengakibatkan penurunan kualitas gambar dan bintang terlihat menari-nari [12].

Garis-garis spektrum absorpsi teridentifikasi tidak 100 % berada pada unsur kimia teridentifikasi, terdapat 0,0 % perbedaan antara garis teridentifikasi terhadap garis referensi. Alasan dari tidak terdeteksinya beberapa garis spektral unsur dan perbedaan persentase antara panjang gelombang teridentifikasi terhadap panjang gelombang referensi tidak selalu berarti bahwa unsur tersebut tidak ada. Pertama-tama berdasarkan [13] daftar ASD yang telah ada perlu bertahun-tahun kerja laboratorium untuk menentukan panjang gelombang yang tepat di

mana gas panas dari masing-masing unsur memiliki garis spektrumnya. Kedua, suhu dan tekanan di atmosfer bintang akan menentukan jenis atom apa yang akan menghasilkan garis serapan, hanya jika kondisi fisik dalam atmosfer bintang sedemikian rupa sehingga garis-garis unsur harus (menurut perhitungan) ada di sana maka dapat disimpulkan bahwa tidak adanya garis spektral yang dapat diamati menyiratkan kelimpahan unsur tersebut rendah. Ketiga, spektrum bintang memiliki banyak garis dari sejumlah unsur, dan peneliti harus berhati-hati untuk memilahnya dengan benar karena terkadang alam menempatkan garis-garis dari unsur yang berbeda memiliki panjang gelombang yang sama. Keempat, gerakan bintang dapat mengubah panjang gelombang yang diamati dari masing-masing garis. Sehingga, panjang gelombang yang diamati tidak sama persis dengan pengukuran laboratorium.

Perhitungan telah dilakukan untuk mengetahui besar persentase perbedaan dari nilai tempertur efektif dan temperatur mean untuk  $\alpha$  Lyr adalah 22,85 %.

## KESIMPULAN

Komposisi atmosfer bintang yang diamati hampir sesuai dengan komposisi atmosfer bintang referensi dengan terdapat beberapa unsur yang diamati jika dilihat dari spektrum referensi. Unsur yang paling banyak adalah hidrogen. Temperatur efektif yang diperoleh adalah sebesar 7136 K dengan persentase perbedaan terhadap temperatur mean bintang kelas spektrum A sebesar 22,85 %.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada kedua orangtua atas kasih saying yang tak pernah pudar. Kepada kedua pembimbing yang selalu membimbing, seluruh keluarga Observatorium Bosscha beserta seluruh pihak yang telah berkontribusi atas penelitian ini.

## REFERENSI

1. Arifyanto, M. I. 2015. *Buku Sakti Olimpiade Astronomi*. Bandung: Yrama Widya.
2. Gray, David. F. 2005. *The Observation and Analysis of Stellar Photospheres Third Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
3. Malasan, Hakim L dan Djoni N. Dawanas. 2003. Klasifikasi Spektrum Bintang Digital Berbantuan Komputer Kinerja Rendah: 1. Bintang Deret Utama. *Jurnal Sains Dirgantaraan* 1(1): 1 – 22.
4. Robinson, Keith. 2007. *Spectroscopy : The Key to the Stars, Reading the Lines in Stellar Spectra*. Scotforth, Lancaster, UK: Springer.
5. Freedman, Roger A and Kauffmann III, William J. 2008. *Universe 8<sup>th</sup> edition*. New York: W.H Freeman and Company
6. <http://www.iau.org>.
7. Bohm-Vitense, E. 1997. *Introduction to Stellar Astrophysics Vol 1: Stellar Atmospheres*. Springer.
8. Apriliyanti, Ferlia. *Deret Balmer dari Spektrum Atom Hidrogen*. Melalui [https://www.academia.edu/15159219/DERET\\_BALMER\\_DARI\\_SPEKTRUM\\_ATOM\\_HIDROGEN](https://www.academia.edu/15159219/DERET_BALMER_DARI_SPEKTRUM_ATOM_HIDROGEN) [June/14/19]
9. Gray, Richard O and Corbally, Christopher J. 2009. *Stellar Spectra Classification*. Woodstock, Oxfordshire, UK: Princeton University Press.
10. Puspitaningrum, E. Puspitarini, L. Malasan, H.L. Ikbal, M.I. dan Aprilia. 2017. Pengukuran Transmisi Atmosferik Berdasarkan Pengamatan Spektroskopik Di Observatorium Bosscha. Seminar Nasional Sains Antariksa, LAPAN, Bandung: 59-65 .
11. Muztaba, R. Putri, A.N.I. Putro, W.S. Birastrri, W. Pratiwi, N. Ramadhan, D.G. dan Malasan, H.L. 2017. Pengukuran Parameter Seeing Pada Situs Pembangunan ITERA Astronomical Observatory (IAO). Seminar Nasional Sains Antariksa, LAPAN, Bandung: 66-72.
12. Fraknoi, A., et al. 2019. *Using Spectra to Measure Stellar Radius, Composition, and Motion*. Melalui [Http://openstax.org/details/books/astronomy](http://openstax.org/details/books/astronomy) [April/11/19]



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

## STUDI AWAL GRADING BUAH SAWIT DENGAN BANTUAN INJEKSI TEGANGAN LISTRIK SEARAH

Andri Saputra, Wahyu Candra, Yan Soerbakti, Romi Fadli Syahputra, Defrianto, Saktioto\*

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau  
Jl. HR Soebrantas KM 12,5, Pekanbaru, Indonesia

\*E-mail korespondensi: [saktioto@yahoo.com](mailto:saktioto@yahoo.com)

### ABSTRACT

*Maturity progress of palm fruit is greatly depending on the availability of nutrients and environments. Determining maturity level of palm fruit is important to evaluate the quality of palm oil fruits. The younger or too mature fruits will produce poor quality of crude palm oil (CPO). An appropriate devices are needed that can measure the level of fruit maturity so that uniformity of maturity grade can be carried out to obtain high quality CPO. This research provides a preliminary study of voltage change on the surface of oil palm seeds which subjected by electric potential. The low directional voltage (DC) injection treatment, ~ 10V, was applied to investigate the impact of applied voltage on palm oil seeds with three different levels of maturity, i.e. immature (young), ripe and over ripe . The results shown that oil palm fruit quite quickly responds to injection of DC applied voltage with different responding voltage. This responding voltage tends to increase with increasing maturity levels, but decreases for over ripe fruit which has falling down and starting to dry out.*

**Keywords:** Palm oil fruit, Electrical characteristics, Voltage injection, Maturity grading

### ABSTRAK

*Perkembangan kematangan buah sawit sangat bergantung pada ketersediaan nutrisi dan faktor lingkungan. Pengukuran tingkat kematangan buah sawit sangat penting untuk menentukan kualitas buah sawit yang dihasilkan. Buah yang terlalu muda atau terlewat matang akan menghasilkan crude palm oil (CPO) yang berkualitas buruk. Dibutuhkan instrumen yang dapat mengukur tingkat kematangan buah sehingga penyeragaman tingkat kematangan dapat dilakukan untuk memperoleh CPO yang berkualitas. Penelitian ini memberikan studi awal tentang perubahan potensial listrik pada biji sawit yang diberi beda potensial listrik searah . Perlakuan injeksi tegangan listrik searah (DC) yang rendah, ~10V, diaplikasikan untuk menyelidiki tegangan imbas pemberian beda potensial listrik pada biji sawit dengan tiga tingkat kematangan berbeda, yaitu, belum matang (muda), matang dan lewat matang. Hasilnya menunjukkan buah sawit cukup cepat merespon injeksi tegangan listrik DC yang diaplikasikan dengan respon tegangan terukur yang berbeda. Tegangan respon ini cenderung meningkat dengan kenaikan level kematangan, namun menurun untuk buah sawit yang telah jatuh dan mulai mengering.*

**Kata kunci:** Buah sawit, Karakteristik kelistrikan, Injeksi voltase, Grading kematangan

Diterima 5-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Perkebunan sawit di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1848 ketika Hindia Belanda membawa bibit sawit dari Mauritius dan Amsterdam untuk diuji coba tanam di Bogor [1]. Industri sawit telah berkembang

pesat dan telah menjadi komunitas ekspor utama, bahkan pada tahun 2018 kontribusi ekspor *crude palm oil* (CPO) mencapai 12% [2]. Disamping luas perkebunannya yang ditingkatkan, produktivitas sawit juga dikembangkan melalui berbagai teknik budidaya.



Produk turunan kelapa sawit telah banyak diedarkan di pasar, seperti minyak nabati, sabun, hingga produk kosmetik dan farmasi. Bahkan produk limbahnya telah dimanfaatkan untuk pakan ternak dan pupuk organik. Kualitas produk turunan sawit sangat bergantung pada kualitas CPO yang diolah, yang tentunya juga bergantung pada tingkat kematangan buah sawit yang menjadi bahan bakunya. Memang, produk olahan makan ini masih bisa diperbaiki, salah satunya dengan perlakuan pulsa listrik [3]. Namun, indentifikasi kualitas kematangan sejak dari bahan baku merupakan pilihan terbaik untuk menekan biaya produksi.

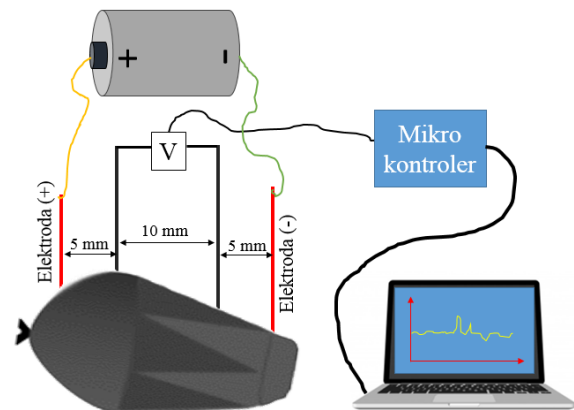
Ketiadaan sistem ukur tingkat kematangan buah sawit membuat kualitas CPO rendah, bahkan berimplikasi pada kuantitas rendemen yang dihasilkan karena penyeragaman kualitas bahan baku yang tidak terukur. Muaranya adalah nilai ekonomis produk sawit yang akan tergerus. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan langkah awal pengkajian untuk mengukur tingkat kematangan buah sawit dengan cara menganalisis perubahan potensial listrik searah (DC) yang diinjeksikan pada buah sawit. Prinsipnya serupa dengan pengukuran *four-poin-probe* maupun teknik geolistrik [4,5]. Namun, dalam penelitian ini hanya diobservasi perubahan potensial listriknya saja.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan persiapan komponen ukur, seperti perakitan modul pengukuran tegangan, dan modul baterai 10 V. Modul pengukuran tegangan terdiri atas jarum berukuran 1 mm sebagai elektroda, sensor tegangan ACS712 dan mikrokontroler Arduino. Modul ini langsung terhubung dengan PC/Laptop untuk akuisisi data melalui kabel USB.

Buah sawit yang uji ada tiga jenis, yaitu buah yang belum matang (buah muda), sudah matang dan lewat matang dengan ukuran yang relatif seragam. Cukup sulit menemui pohon sawit yang memiliki buah dengan tiga kriteria

kematangan di atas. Oleh karena itu, buah diambil dari dua pohon yang berbeda, namun memiliki umur tanam yang sama. Buah yang akan diamati dipilih agar memiliki ukuran yang seragam.



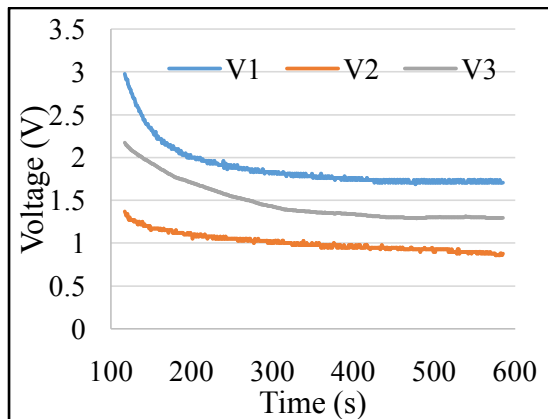
**Gambar 1.** Skema penelitian. Catatan: ukuran objek bukan ukuran sebenarnya.

Pengukuran tegangan yang timbul karena injeksi tegan DC pada buah sawit dilakukan dengan skema pada Gambar 1. Jarak elektroda injeksi ditetapkan 20 mm dan jarak elektroda pengukuran beda potensial listriknya adalah 10 mm. Pemberian injeksi potensial listrik berlangsung selama 5-10 menit. Potensial listrik yang terukur direkam oleh komputer untuk selanjutnya dianalisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran tegangan respon dari injeksi tegangan DC 10 V untuk dua kali pengujian, seperti ditunjukkan Gambar 2. Ketiga kelompok uji menunjukkan respon tegangan yang berbeda. Buah sawit yang belum matang menghasilkan respon voltase yang paling tinggi yaitu berkisar 3.5 – 2.5 V. Hasil yang hampir serupa, namun dengan besar voltase yang lebih rendah, juga ditunjukkan oleh sampel buah lewat matang. Sementara buah yang matang justru memberikan tegangan respon yang paling rendah, namun cenderung stabil dalam rentang 0.8-1 V. Respon tegangan yang berbeda ini menggambarkan perbedaan kematangan dari semua sampel yang berguna untuk *grading* kematangan buah sawit [6].

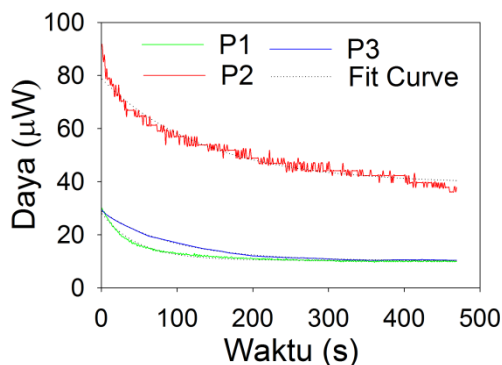
Secara umum tegangan semua sampel berubah terhadap lama waktu penginjeksian. Voltase yang cenderung menurun terhadap waktu menunjukkan adanya disipasi energi listrik dan kapasitansi pada tandan buah sawit [7]. Banyak peneliti yang telah memanfaatkan tandan buah sawit sebagai superkavasiator yang mampu menghasilkan kapasitansi spesifik hingga  $65.84 \text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$  [8].



**Gambar 2.** Tegangan hasil pengujian sampel. V1 buah sawit muda, V2 buah sawit matang dan V3 buah sawit lewat matang. Hambatan awal  $R$  tiap sampel terukur sebesar 295.98, 20.45 dan 161.14  $\text{k}\Omega$ .

Terdapat relasi penurunan eksponensial antara daya disipasi dan waktu diberikan oleh

$$P(t) = P_0 \exp(-at) + b \quad (1)$$



**Gambar 3.** Disipasi energi listrik pada sampel buah sawit.

Besarnya daya disipasi ini ditunjukkan pada Gambar 3. Sementara parameter *fitting curve*-nya diberikan pada Tabel 1. Parameter ini digunakan untuk menentukan nilai disipasi

energi listrik pada sampel yang dihitung menggunakan persamaan 3.

**Tabel 1.** Parameter *fitting curve* daya disipasi setiap sampel.

Sampel	$P_0$ ( $\mu\text{W}$ )	$a$ ( $\text{s}^{-1}$ )	$b$ ( $\mu\text{W}$ )	$R^2$
P1	17.9052	0.0210	10.3534	0.9818
P2	39.7820	0.0074	39.1500	0.9621
P3	18.7641	0.0106	10.1385	0.9985

$$E = \int P(t)dt \quad (2)$$

$$E = -\frac{P_0}{a} \exp(-at) + bt + E_0 \quad (3)$$

Analisis lebih lanjut menunjukkan adanya kandungan bahan disipatif, terutama minyak dan lipid, yang lebih tinggi pada buah sawit yang matang. Hal ini ditandai dengan besarnya disipasi energi yang terjadi pada buah sawit matang seperti ditampilkan pada Gambar 3. Dalam waktu 469 detik waktu injeksi telah terdisipasi energi listrik masing-masing sebesar 5.68, 23.49 dan 6.48 mW. Indikasi lainnya diperoleh dari buah yang matang memiliki mesokarp lebih tebal dan kaya kandungan minyak dan lemak [9]. Ini menandakan buah sawit tersebut alam kondisi matang optimum. Setelah masa ini terlewati, buah sawit akan rontok (atau membusuk dalam tandannya) dan mulai mengalami proses dehidrasi cairan yang berujung degradasi buah tersebut. Perbedaan yang cukup nyata pada besaran daya disipasi pada ketiga sampel membuktikan bahwa injeksi tegangan DC dalam riset ini dapat digunakan untuk klasifikasi atau *grading* kematangan buah sawit.

## KESIMPULAN

Buah sawit dengan level kematangan berbeda memberikan respon voltase yang berbeda ketika diinjeksikan tegangan listrik DC. Buah sawit yang belum matang memberikan respon voltase terbesar, sekitar 3.5 – 2.5 V. Sementara buah yang matang memberikan respon voltase yang terendah. Namun, disipasi energi listrik buah matang lebih besar daripada sampel buah

lainnya, yaitu sebesar 23.49 mW untuk 469 detik penginjeksian. Hal ini diduga berkorelasi langsung dengan kandungan minyak dan lipid di dalam buah sawit yang matang. Temuan ini mendukung gagasan penggunaan injeksi tegangan listrik DC untuk menentukan grading kematangan buah sawit.

## REFERENSI

1. Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Satyawibawa, I., dan Paeru, R. H. (2012). *Kelapa Sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya, hlm. 5-7.
2. Afriyanti, D., Kroeze, C., Saad, A. (2016). Indonesia palm oil production without deforestation and peat conversion by 2050. *Science of the Total Environment*, **557-558**: 562-570.
3. Tylewicz, U., Aganovic, K., Vannini, M., Toepfl, S., Bortolotti, V., Rosa, M. D., Oey, & Heinz, V. V. (2016). Effect of pulsed electric field treatment on water distribution of freeze-dried apple tissue evaluated with DSC and TD-NMR techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, **37**: 352-358
4. Ahmad, Z, Ghazali, M.S.M., Salleh H., Zakaria, A., Ghazali, S.A., Zulkifli M.A., and Khamsan, M.E.A. (2016). The Conductivity Study of Hybrid Solar Cells of TiO<sub>2</sub> and Doped with Bixa Orellana for Solar Cells Application. *Jurnal Teknologi*. **78**(3): 331–335.
5. Celano, G., Palese, A.M., Ciucci, A., Martorella, E., Vignozzi, N., & Xiloyannis, C. (2011). Evaluation of soil water content in tilled and cover-cropped olive orchards by the geoelectrical technique. *Geoderma*. **163**(3-4): 163-170.
6. Nandi, C. S., Tudu, B., & Koley, C. (2014). A machine vision-based maturity prediction system for sorting of harvested mangoes. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **63**: 1722-1730.
7. Aziz, R. A., Misnon, I. I., Chong, K. F., Yusoff, M. M., & Jose, R. (2013). Layered sodium titanate nanostructures as a new electrode for high energy density supercapacitors. *Electrochimica Acta*, **113**: 141-148.
8. Nor, N. S. M., Deraman, M., Omar, R., Taer, E., Awitdrus, Farma, R., Basri, N. H., & Dolah, . N. M. (2014). Nanoporous Separators for Supercapacitor Using Activated Carbon Monolith Electrode from Oil Palm Empty Fruit Bunches. *AIP Conference Proceedings*, **1586**: 68-73.
9. Ngalle, H.B., Bell, J.M., Ebongue, G.F.N., Nyobe, L., Ngangnou, F.C., & Ntsomboh, G.N. (2013). Morphogenesis of Oil Palm Fruit (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Mesocarp and Endocarp Development. *Journal of Life Sciences*, **7**(2): 153-158.



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

## ANALISIS SIFAT MAGNETIK DAN STRUKTUR PARTIKEL PASIR BESI PANTAI ARTA PARIAMAN SUMATERA BARAT MENGGUNAKAN BALL MILLING

Wita Yulia<sup>1</sup>, Erwin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Fisika, Universitas Riau

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Fisika, Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [witayulia15@gmail.com](mailto:witayulia15@gmail.com)

### ABSTRACT

*Analysys of magnetic properties and structure of particles of iron sand of Arta, Pariaman beach West Sumatra. Has been conducted the iron sand samples were dried, then the iron sand separation process was carried out using Iron Sand Separator (ISS). Next, the sample was milled for 30, 60 and 90 hours. The separation between magnetic particles and non magnetic particles was done using Neodymium Iron Boron (NdFeB) magnet. Magnetic induction measurements were carried out using Pasco PS-2162 Magnetic Probe which measured the total magnetic induction of solenoid (solenoid with core sample and milled sample(consentrate II)) as a function of electric current of 1-8 A for a fixed distance of 1 mm. Identification of the content of elements contained in iron sand before and after processing with Ball Milling for 90 hours was carried out using X-Ray Fluorescence (XRF). The phase of magnetic particles processed by Ball Milling was determined using X-Ray Diffraction (XRD). The calculation results show that the magnetic susceptibility of the sample increases with increasing Ball Milling time, from  $(69426,19 \times 10^{-5} - 80332,13 \times 10^{-5})$ . These values are in the interval  $220 - 380.000 \times 10^{-5}$  of the Ilmenite mineral. The magnetite phase appears more than the maghemite phase and the hematite phase after Ball Milling for 90 hours. The particle size of magnetik particle decreases as milling time increase, this trend is confirmed by the result of XRD.*

**Keywords:** Iron sand, Ball Milling, Mass susceptibility, X-Ray Diffraction (XRD)

### ABSTRAK

*Telah dilakukan penelitian mengenai analisis sifat magnetik dan struktur partikel pasir besi pantai Arta Pariaman Sumatera Barat. Sampel pasir besi yang sudah diambil tersebut dikeringkan, kemudian dilakukan proses pemisahan pasir besi menggunakan Iron Sand Separator (ISS). Selanjutnya sampel di Ball Milling selama 30 jam, 60 jam dan 90 jam kemudian dilakukan pemisahan kembali menggunakan magnet Neodymium Iron Boron (NdFeB). Pengukuran induksi magnetik solenoida dilakukan menggunakan Probe Magnetic Pasco PS-2162 yang diukur nilai induksi magnetik total solenoid (solenoida dengan inti sampel dan konsentrat II) sebagai fungsi arus listrik untuk jarak yang tetap yaitu 1 mm. Identifikasi kandungan elemen yang terdapat dalam pasir besi dan sesudah diproses dengan Ball Milling selama 90 jam dilakukan dengan menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Fase dari partikel magnetik yang diproses Ball Milling ditentukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik bertambah seiring dengan bertambahnya waktu Ball Milling, dari  $(69426,19 \times 10^{-5} - 80332,13 \times 10^{-5})$ . Nilai ini berada dalam interval  $220 - 380.000 \times 10^{-5}$  yang merupakan interval mineral Ilmenite. Fase magnetite muncul lebih banyak dibandingkan dengan fase maghemite dan fase hematite setelah di Ball Milling selama 90 jam. Partikel semakin kecil ukurannya dibuktikan dengan hasil XRD dengan bertambah lebarnya ukuran dari pola difraksi masing-masing puncak apabila proses Ball Milling lebih lama.*

**Kata kunci:** Pasir besi, Ball Milling, Suseptibilitas massa, X-Ray Diffraction (XRD)

Diterima 18-07-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

## PENDAHULUAN

Pasir besi merupakan bahan magnetik yang bersifat feromagnetik. Pasir besi memiliki komposisi yang terdiri dari fase magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) hematite ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan maghemite ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [1]. Maghemite dan hematite, kedua bahan tersebut memiliki komposisi yang sama tetapi memiliki struktur kristal yang berbeda [2].

Pasir besi apabila disintesis hingga ukuran nanometer akan memiliki sifat super-paramagnetik [3]. Sifat super-paramagnetik yang mana tidak akan ada pada bahan ukuran besar (bulk material). Super-paramagnetik bahan yang mempunyai magnetisasi saturasi tinggi dan koersivitas sangat kecil ketika bahan tersebut tidak dipengaruhi oleh medan magnet dari luar. Sifat-sifat ini muncul hanya saat bahan feromagnetik atau ferrimagnetik dalam ukuran yang sangat kecil (nanometer), sehingga fenomena ini telah menarik banyak peneliti menggunakan bahan ini dalam berbagai aplikasi, seperti pengiriman obat ke tempat tertentu didalam tubuh manusia dengan menggunakan medan magnet luar [4], pengobatan hipertermia, magnetik resonansi pencitraan [5], agen peningkatan, memanipulasi membran sel, biosensor, bio-label [6] dan adsorpsi ion logam [7]. Pasir besi juga merupakan bahan baku pembuatan baja yang banyak digunakan diberbagai bidang industri.

Metode yang digunakan untuk sintesis oksida besi yaitu metode fisika, kimia dan biologi [8]. Khususnya metode fisika yang digunakan metode *Ball milling*. Metode ini mengubah ukuran partikel magnetik hingga berukuran lebih kecil dengan mentransfer momentum pada bola-bola kecil yang berada di dalam tabung yang bergabung dengan sampel.

Penelitian ini akan dilakukan dimana pasir besi yang sudah dikeringkan akan dipisahkan menggunakan ISS (Iron Sand Separator) untuk memisahkan material magnetik dan non-magnetik lalu digunakan metode milling untuk

mendapatkan partikel ukuran kecil (nanomaterial) kemudian untuk menentukan struktur kristal dari partikel besi dikarakterisasi menggunakan difraksi sinar-X (XRD).

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu untuk penggunaan metode ball milling untuk mendapatkan nanopartikel magnetik.

### Pengambilan Sampel

Bahan atau sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan pasir pantai yang diambil langsung dari pantai Arta Pariaman Sumatera Barat dengan 5 lokasi berbeda yang terdiri dari titik A, B, C, D dan E. Tiap titik memiliki jarak sejauh 50 m masing-masing sampel dan 10 m dari bibir pantai yang diambil sebanyak 0,5 kg. Cara pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode zig-zag.

### Proses Pengeringan dan Pemisahan Sampel

Proses pengeringan sampel menggunakan sinar matahari, kemudian sampel ditimbang untuk mendapat nilai massanya dan diukur nilai  $X_m$  dengan menggunakan Sensor *Probe Pasco*, selanjutnya pemisahan dilakukan dengan menggunakan *Iron Sand Separator* (ISS) di laboratorium Instrumentasi dan Kemagnetan Jurusan Fisika Universitas Riau dengan satu kali pemisahan.

### Pengukuran Induksi Magnetik

Pengukuran induksi magnetik solenoid tanpa inti dan dengan inti dilakukan pada solenoid yang terbuat dari 2000 lilitan, panjang 10 cm dan diameter 3 cm yang terhubung dengan computer. Pengukuran tanpa inti diukur pada jarak antara ujung tengah solenoid dengan ujung sensor sejauh 1 mm dan arus yang diberikan yaitu 1, 2, 4, 6, 8 A, dan diukur pada arus yang konstan dan jarak yang bervariasi yaitu 1, 2, 3, 4, 5 mm.

Pengukuran induksi magnetik solenoid dengan inti dilakukan pada jarak antara ujung tengah solenoid dengan ujung sensor sejauh 1 mm dan arus yang diberikan yaitu 1, 2, 4, 6, 8 A.

### Metode *Ball Milling*

Proses ball milling dalam penelitian ini diberikan perlakuan waktu yang berbeda yaitu 30 jam, 60 jam dan 90 jam yaitu gabungan sampel A, B, C, D dan E untuk mendapatkan konsentrat yang lebih kecil dan halus.

### Menentukan Suseptibilitas Magnetik

Nilai suseptibilitas magnetik ( $\chi_m$ ) dapat ditentukan dengan cara nilai induksi magnetik pada konsentrat II pada proses ball milling ( $B_T$ ) dikurangi dengan induksi magnetik total yang tanpa inti ( $B_0$ ), dan di bagi dengan nilai induksi magnetik total tanpa inti ( $B_0$ ).

### Uji Kandungan Mineral Magnetik

Sampel penelitian dibawa ke laboratorium Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas untuk diuji kandungan mineral magnetiknya menggunakan alat *X-Ray Fluorescence (XRF)*. Sampel yang diuji ada 2 keadaan yaitu sampel pasir yang belum melalui proses pemisahan ISS kemudian pasir yang telah melalui proses pemisahan dan penghancuran dengan *ball milling* (konsentrat 2).

### Uji Difraksi Sinar-X

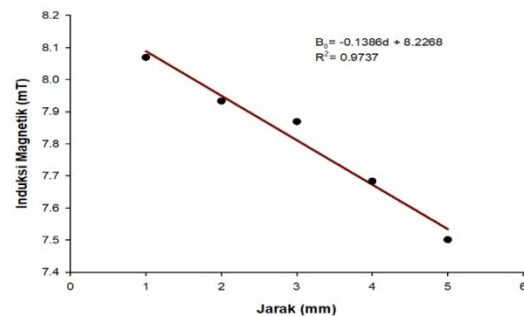
Struktur dari sampel maka digunakan alat yaitu difraktometer sinar-x. Alat ini terdiri dari komponen utama yaitu sinar-x. Detektor sinar-x dalam sistem penggerak sampel ketika sinar-x ditembakkan ke arah sampel maka sinar-x dihamburkan ke arah detektor akan merekam sinar-x yang dihamburkan sebagai fungsi  $2\theta$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Induksi Magnetik Solenoid Tanpa Inti

Pengukuran induksi magnetik pada solenoid tanpa inti dengan arus konstan yaitu 8 A sebagai fungsi jarak terjadi perubahan pada nilai yang diperoleh. Nilai induksi magnetik

pada jarak 1 mm dari solenoid dengan arus 8 A yaitu 8,069 mT. Nilai induksi magnetik diukur sebagai fungsi jarak yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm adalah 7,933, 7,869, 7,683, 7,501 mT. Perubahan tersebut terjadi karena terjadi perubahan fluks magnetik di setiap jarak yang diberikan, semakin jauh dari solenoid maka fluks magnetik semakin tidak rapat sehingga mengakibatkan nilai induksi magnetik yang diperoleh berubah semakin kecil terlihat pada Gambar 1.

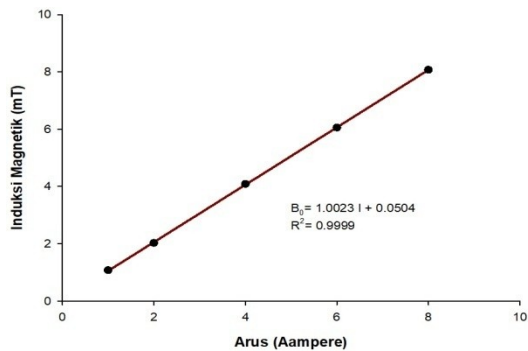


**Gambar 1.** Grafik hubungan jarak dengan induksi magnetik solenoid tanpa inti sebagai fungsi jarak arus tetap

Pengukuran induksi magnetik pada solenoid tanpa inti dengan arus konstan yaitu 8 A sebagai fungsi jarak terjadi perubahan pada nilai yang diperoleh. Nilai induksi magnetik pada jarak 1 mm dari solenoid dengan arus 8 A yaitu 8,069 mT. Nilai induksi magnetik diukur sebagai fungsi jarak yaitu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm adalah 7,933, 7,869, 7,683, 7,501 mT. Perubahan tersebut terjadi karena terjadi perubahan fluks magnetik di setiap jarak yang diberikan, semakin jauh dari solenoid maka fluks magnetik semakin tidak rapat sehingga mengakibatkan nilai induksi magnetik yang diperoleh berubah semakin kecil terlihat pada Gambar 1.

Pengukuran induksi magnetik menggunakan solenoid tanpa inti dengan jarak konstan 1 mm sebagai fungsi arus yaitu 1, 2, 4, 6, 8 A. Nilai induksi magnetik pada arus 1 A yaitu 1,069 nilai ini berubah semakin meningkat sesuai dengan bertambahnya arus yaitu berturut-turut dengan nilai 2,023, 4,083, 6,057, 8,069 mT. Perubahan nilai tersebut dapat dilihat dalam grafik pada Gambar 2.

Perubahan nilai ini menunjukkan semakin meningkat arus semakin meningkat juga nilai induksi magnetik, nilai induksi magnetik sebanding dengan arus yang diberikan.



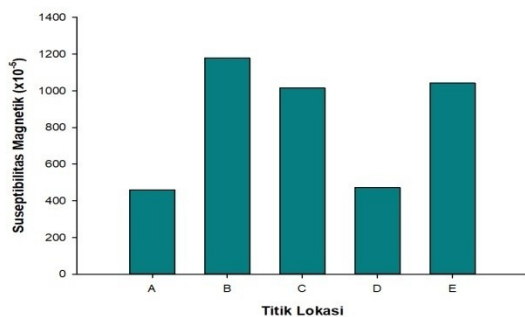
**Gambar 2.** Grafik hubungan arus dengan induksi magnetik solenoid sebagai fungsi arus jarak tetap 1 mm.

### Suseptibilitas Magnetik

Nilai suseptibilitas magnetik diperoleh setelah dilakukan pengukuran nilai induksi magnetik solenoid tanpa inti dan dengan inti.

#### *Suseptibilitas magnetik pasir besi*

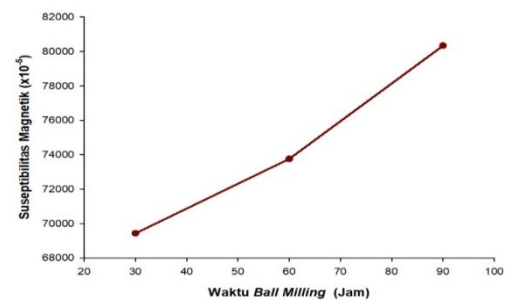
Gambar 1 menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik berada pada interval  $458,54 \times 10^{-5}$  dan  $1177,34 \times 10^{-5}$ . Sifat magnetik dari sampel sebelum pemisahan termasuk dalam golongan sifat magnetik hematite (antiferromagnetik) yaitu dalam rentang  $50-4000 \times 10^{-5}$  [9] nilai yang diperoleh masih kecil disebabkan karena pasir pantai masih banyak mengandung mineral non magnetik. Grafik nilai suseptibilitas magnetik pasir besi dari setiap titik lokasi dapat dilihat pada gambar berikut:



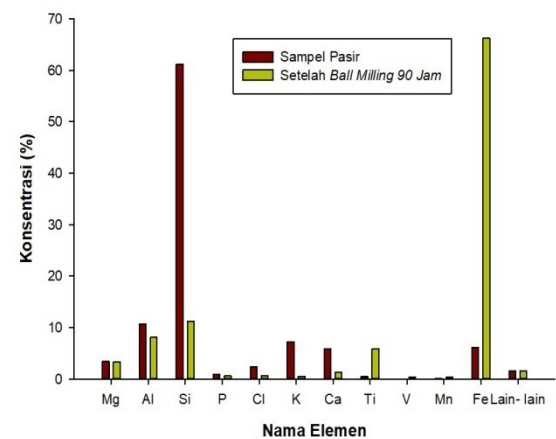
**Gambar 3.** Grafik nilai suseptibilitas magnetik pasir besi sebelum pemisahan setiap lokasi

#### *Suseptibilitas Magnetik Konsentrat II*

Gambar 4 menunjukkan nilai suseptibilitas magnetik pada waktu 90 jam *Ball Milling* dengan nilai  $80332,13 \times 10^{-5}$ , suseptibilitas magnetik pada waktu 60 jam dengan nilai  $73751,39 \times 10^{-5}$  dan suseptibilitas magnetik pada waktu 30 jam dengan nilai  $69426,19 \times 10^{-5}$ . Nilai suseptibilitas magnetik pada konsentrat II dimasukkan kedalam golongan ilmenite (anti-ferromagnetik) dalam rentang  $220 - 380.000 \times 10^{-5}$  [9].



**Gambar 4.** Grafik hubungan nilai suseptibilitas magnetik setelah proses *Ball Milling* dan setelah dipisahkan menggunakan magnet dengan arus 8 A.



**Gambar 5.** Grafik perbandingan elemen-elemen pasir besi dengan konsentrat II dari hasil XRF.

Nilai suseptibilitas magnetik konsentrat II lebih tinggi dibandingkan dengan nilai suseptibilitas magnetik pasir besi, hal ini disebabkan karena konsentrat II sudah melalui dua tahapan proses yaitu pemisahan menggunakan ISS dan *Ball Milling* dengan variasi waktu 30, 60 dan 90 jam kemudian dipisahkan kembali menggunakan magnet

permanen sehingga memiliki konsentrasi mineral magnetik yang jauh lebih tinggi seperti ditampilkan hasil XRF pada Gambar 5.

#### Data Hasil X-Ray Fluorescence (XRF)

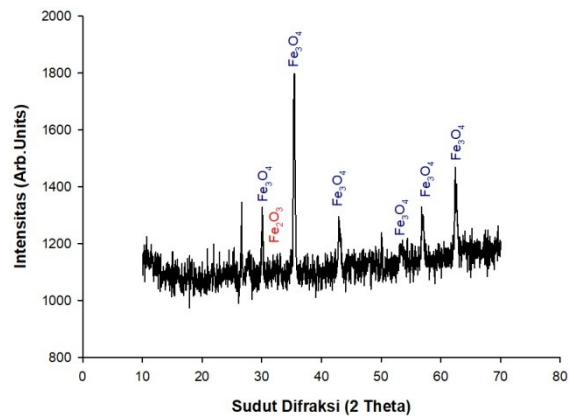
Identifikasi yang dilakukan untuk mengetahui komposisi dari pasir besi yaitu dengan menggunakan XRF di Pantai Arta Pariaman Sumatera Barat. Hasil identifikasi kandungan elemen-elemen yang diperoleh dari hasil pengukuran sampel.

Gambar 5 menunjukkan perbedaan komposisi yaitu adanya penambahan dan pengurangan dari elemen – elemen tertentu. Komposisi dari konsentrat dipengaruhi oleh waktu *Ball Milling*. Grafik tersebut menunjukkan bahwa kandung Fe meningkat sangat signifikan setelah dilakukan proses *Ball Milling* namun untuk beberapa unsur mengalami penurunan seperti Si, K, Ca, kemudian untuk unsur lain seperti Ti, V dan Mn meningkat. Ini menunjukkan bahwa proses penggilingan pada bola didalam tabung *Ball Milling* memecah butiran pasir besi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sehingga butiran non-magnetik dan magnetik dipisahkan selama proses penggilingan terjadi. Selain itu, pada Fe dan Si terjadi perbedaan komposisi setelah terjadinya *Ball Milling* hal ini dapat disimpulkan bahwa proses *Ball Milling* mampu menghancurkan sampel sehingga terpisah partikel magnetik dari non magnetik. Grafik ini menunjukkan bahwa pengaruh induksi dari sampel dan konsentrat II untuk 90 jam terjadi peningkatan dapat dikatakan karena meningkatnya kadar Fe menjadi 66,23% dan berkurangnya unsur-unsur non magnetik.

#### Data Hasil Difraksi Sinar-X (XRD)

Karakterisasi fase partikel magnetik dari pasir besi yang sudah diproses dengan *Ball Milling* menggunakan difraksi sinar-x (XRD). Fase magnetik untuk pasir besi yang diproses dengan *Ball Milling* 90 jam penggilingan. Partikel dari oksida besi dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffractometer dengan tabung Cu yang sinar-x dengan panjang

gelombang 1,5406 Angstrom. Tabung Cu eksperimen ini digunakan sumber tegangan sekitar 40kV dan arus 30 mA . Pola difraksi sinar-x dari pasir besi yang disintesis setelah 90 jam waktu *Ball Milling* pada gambar berikut:



**Gambar 6.** Pola difraksi sinar-x pada konsentrat setelah *Ball Milling* selama 90 jam.

Gambar 6. menunjukkan dua pola XRD untuk pasir besi yang diproses dengan *Ball Milling* 90 jam. Hasil dari XRD dapat dilihat bahwa puncak difraksi pada sampel setelah penghancuran 90 jam pada nilai  $2\theta$  yaitu  $30,04^\circ$ ,  $32,47^\circ$ ,  $35,47^\circ$ ,  $43,00^\circ$ ,  $53,45^\circ$ ,  $57,02^\circ$  dan  $62,70^\circ$  sepenuhnya cocok dengan bidang (220), (311), (400), (422), (511), (440).

Pola difraksi semakin melebar ketika ukuran partikel berkurang dengan meningkatnya waktu *Ball Milling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Fase magnetite pada pasir besi setelah melalui proses *Ball Milling* 90 lebih banyak dibandingkan dengan fase pada 30 jam hal ini disebabkan karena pengaruh *Ball Milling* pada sampel 90 jam memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel yang 30 jam. Perbedaan ukuran ini dapat dilihat dari nilai lebar dari setengah puncak (FWHM) yang diperoleh dari sampel 90 jam karena besar nilai FWHM berbanding terbalik dengan ukuran partikel magnetik sesuai dari persamaan *Scherrer*.

#### KESIMPULAN



Proses *Ball Milling* telah berhasil memisahkan sebagian besar partikel non magnetik dengan partikel magnetik dengan menggunakan waktu maksimum 90 jam. Fase magnetite muncul lebih banyak dibandingkan dengan fase maghemite dan fase hematite setelah di *Ball Milling* selama 90 jam. Partikel semakin kecil ukurannya dibuktikan dengan hasil XRD dengan bertambah lebarnya ukuran dari pola difraksi untuk 90 jam *Ball Milling*. Komposisi dari konsentrat menunjukkan bahwa kandungan Fe meningkat 66,23% setelah proses *Ball Milling* selama 90 jam dibandingkan dengan 30 jam, Namun beberapa elemen lain untuk Si, Al, K, dan Ca mengalami penurunan. Nilai suseptibilitas magnetik pasir besi pantai Arta Pariaman Sumatera Barat yang telah diproses dengan *Ball Milling* selama 90 jam berada dalam interval  $(220-380.000) \times 10^{-5}$  yang merupakan interval mineral *Ilmenite* (antiferromagnetik) yaitu sebesar  $80332,13 \times 10^{-5}$ .

## REFERENSI

1. Kurniawan,C., AS, Eko., YS, Ayu., Shite, PTA., Ginting, M., Simamora,P dan Sebayang,P. 2017. Synthesis and Characterization of Magnetic Elastomer Based PEG- Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> From Natural Iron Sand. *Materials Science and Engineering*. 202 ,1-7
2. Dunlop, D.J and O, Ozdemir. 1997. Rock Magneism: Fundamental and Frontiers. *Cambridge University Press*. Vol.135 .278- 300.
3. Setiadi,E.A, P. Sebayang, M. Ginting, A.Y.Sari, C. Kusniawan, C.S. Saragih dan P. Simamora. 2016. The Synthesization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Magnetic Nanoparticles Baesed on Natural Iron Sand By Co-Presipitation Method The Adsorbtion of Cu and Pb Ions. *Journal of Physics* . 776. 1-6.
4. Arias,J.L., Gallardo,V., Ruiz,M.A., Delgado,A.V. 2008. Magnetite/ poly (alkylcyanoacrylate)( core/shell) nanoparticles as 5-Fluouracil delivery systems for active targeting. 2008. *Eur.J.Pharm. Biopharm*. Vol,69, 54-63
5. Feng B, Hong R Y, Wang L S, Guo L, Li H Z Ding J Zheng Y and Wei D G. 2008. Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp. 328 52
6. Anbarasu M, Anandan M, Chinnasamy E, Gopinath V and Balamurugan K2015 *Spectrochim.ACTA Part A Mol. Biomol. Spectrosc*. 135 536
7. Larraza I, López-gonzalez M, Corrales T, and Marcelo G, 2012 *J. Colloid Interface Sci*. 385 24
8. Dave, Paragnesh. N and Chopda, Lakhan.V .2014. Aplicatio of Iron Oxide Nanomaterial for The Removal of Heavy Metals, *Journal of Nnanotechnology*. ID.398569
9. Hunt, C.P., Moskowitz, B.M., Banerjee, S.K. 1995. *Magnetic Properties of Rokcs and Minerals*.



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

## PENENTUAN DENSITAS SPESIES PLASMA HIDROGEN PADA KESETIMBANGAN TERMODINAMIK TEKANAN ATMOSFIR MENGGUNAKAN MATLAB

Reeky Fardinata, Saktioto

Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,

Universitas Riau Kampus Bina Widya

Jl. Prof. Muchtar Lutfi Pekanbaru, 28293, Indonesia

\*E-mail korespondensi: reekyfardi@gmail.com

### ABSTRACT

*Thermal equilibrium hydrogen plasma at atmospheric pressure were simulated using the software matrix laboratory (MATLAB). Runge Kutta method numerical method as a settlement of differensial model equations of chemical kibetik with the arrhenius equation approach and continuity equations so that the equilibrium density values for each species were obtained. Equilibrium hydrogen plasma at atmospheric pressure and density rate review every reaction involved. Parameter of ionizing  $nH^+/nH_2^+ \approx 0,2$  and disosiasi  $nH/nH_2 \approx 1$  as a reference equilibrium plasma. Equilibrium plasma is found in time interval  $10^{-6} - 10^{-3}$  s thermal hydrogen plasmas with temperatures of 1 eV. The density of hydrogen plasma thermal equilibrium overall are in the interval of  $10^{14} m^{-3} - 10^{20} m^{-3}$ . The reaction rate of each species varies based on the type of collision and rate of change of species.*

**Keywords:** Plasma hydrogen thermal, Simulation, Equilibrium, The reaction rate

### ABSTRAK

*Kesetimbangan plasma hidrogen termal pada tekanan atmosfer disimulasikan menggunakan perangkat lunak Matrix Laboratory (MATLAB). Metode numerik Runge Kutta sebagai langkah penyelesaian persamaan differensial dari model kibetik kimia dengan pendekatan persamaan arrhenius dan persamaan kontinuitas sehingga nilai densitas kesetimbangan untuk setiap spesies diperoleh. Kesetimbangan plasma hidrogen pada tekanan atmosfer meninjau kerapatan spesies hidrogen serta laju dari setiap reaksi yang terlibat. Parameter ionisasi  $nH^+/nH_2^+ \approx 0,2$  dan disosiasi  $nH/nH_2 \approx 1$  sebagai acuan kesetimbangan plasma. Kesetimbangan plasma didapati dalam interval waktu  $10^{-6} - 10^{-3}$  s dengan temperatur plasma hidrogen termal sebesar 1 eV. Densitas kesetimbangan plasma hidrogen termal keseluruhan berada dalam interval  $10^{14} m^{-3} - 10^{20} m^{-3}$ . Laju reaksi dari setiap spesies bervariasi berdasarkan jenis tumbukan dan laju perubahan spesies*

**Kata kunci:** Plasma Hidrogen Termal, Simulasi, Kesetimbangan, densitas, laju reaksi

Diterima 30-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Spesies plasma terdiri dari spesies atomik, molekul, ion dan elektron. Spesies plasma ditinjau untuk menentukan kesetimbangan dalam plasma. Plasma hidrogen tekanan atmosfer pada penelitian, meninjau beberapa spesies yang terdiri dari elektron, H, H<sub>2</sub>, H<sup>+</sup>, H<sup>-</sup> dan H<sub>2</sub><sup>+</sup>. Spesies-spesies tersebut akan

saling bertumbukan di dalam system hingga mencapai kondisi setimbang. Tumbukan antar spesies - spesies tersebut disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah temperatur. Tumbukan yang terjadi antar spesies yang semakin banyak akan mempengaruhi jumlah densitas setiap spesies hidrogen. Gas hidrogen dimanfaatkan dalam plasma diantaranya adalah teknologi *micro*

plasma[8], pencegah korosi[2] plasma *etching* [1], pemanfaatan bidang medis[10] dan pendeteksi tingkat keasaman lingkungan [9]. Plasma hidrogen pada tekanan atmosfer dapat dianalisa dengan meninjau kesetimbangan densitas spesies yang terdapat pada plasma.

## TINJAUAN PUSTAKA

Plasma merupakan percampuran kuasi netral dari elektron, radikal, ion positif dan ion negatif. Kondisi kuasinetral merupakan daerah dimana terdapat kerapatan ion ( $n_i$ ) yang hampir sama dengan kerapatan elektron ( $n_e$ ) sehingga dapat dikatakan  $n_i \approx n_e \approx n$ , dengan  $n$  menyatakan kerapatan secara umum yang disebut kerapatan plasma.

Temperatur Plasma dinyatakan dalam satuan eV dengan mengkonversi satuan kelvin.

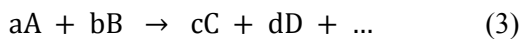
$$kT(K) \equiv eT'(eV) \quad (1)$$

Persamaan kontinuitas tanpa dimensi digunakan sebagai model kinetik kimia hidrogen

$$\frac{\partial n}{\partial t} = S \quad (2)$$

Persamaan 2 menyatakan perubahan densitas terhadap waktu hanya bergantung pada laju produksi spesies per satuan volume (S).

Suatu reaksi dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [3]:



Sedangkan, laju reaksi maju diberikan oleh:

$$R_f = k_f (n_A)^a (n_B)^b \quad (4)$$

Laju reaksi balik diberikan oleh :

$$R_r = k_r (n_C)^c (n_D)^d \dots \quad (5)$$

Persamaan Arrhenius modifikasi didefinisikan untuk memperjelas kebergantungan faktor pra-eksponensial pada suhu [3]. Persamaan Arrhenius modifikasi dapat ditulis dalam bentuk

$$k = \alpha \left(\frac{T}{300}\right)^\beta \exp\left(\frac{-\gamma}{T}\right) \quad (6)$$

Konstanta  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  dalam persamaan (5), merupakan parameter Arrhenius, yang nilainya bergantung pada hasil eksperimen.

Laju produksi spesies C persatuan volume untuk setiap reaksi dalam persamaan reaksi (5), diberikan oleh:

$$S_C = (R_f \times c) - (R_r \times 0) \quad (7)$$

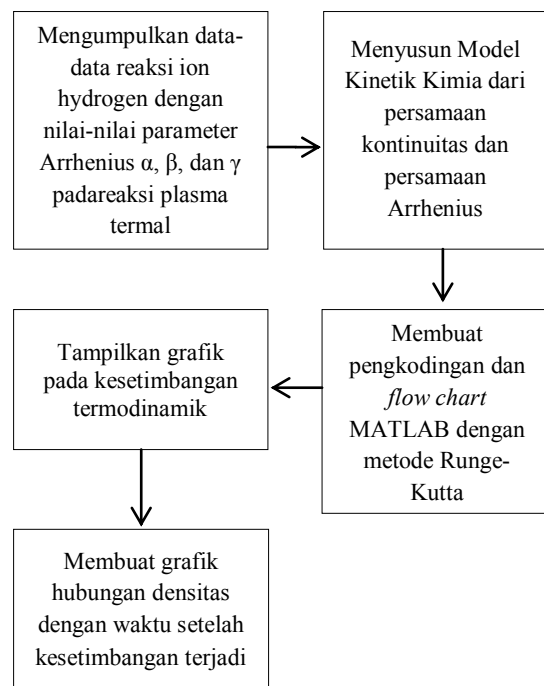
Secara umum, laju produksi spesies per satuan volume untuk setiap reaksi dapat dihitung menurut persamaan berikut:

$$S = (M_r - N_f)(R_f - R_r) \quad (8)$$

Dimana  $M_r$  dan  $N_f$  berturut turut adalah jumlah molekul spesies hasil reaksi dan pereaksi [3].

## METODE PENELITIAN

Gambar 1. dapat dilihat proses keseluruhan dari penelitian hingga akhir



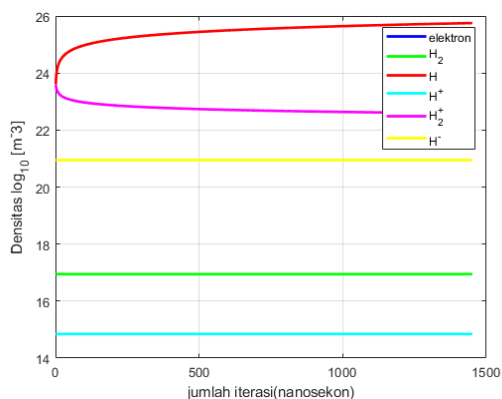
**Gambar 1.** Diagram alir penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

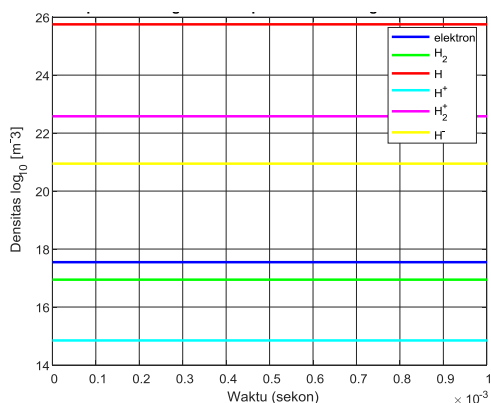
Spesies plasma hidrogen termal mengalami kesetimbangan pada saat  $1,451 \times 10^{-6}$  s. Densitas spesies hidrogen yang signifikan dialami oleh spesies hidrogen monoatomik (H) dan spesies ion positif hidrogen atomik ( $H^+$ ) yang mengalami penurunan sepanjang waktu tumbukan. Gambar 2 menunjukkan perubahan densitas spesies saat mencapai kondisi setimbang.

**Tabel 1.** Reaksi spesies hidrogen termal

No. Reaksi	Reaksi	$\alpha$ ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )	$\beta$	$\gamma$ (K)
1	$\text{H} + \text{e}^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{e}^- + \text{e}^-$	$1,14 \times 10^{-15}$	0,21	169000
2	$\text{H}^+ + \text{e}^- + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{e}^-$	$7,08 \times 10^{27}$	-4,5	0
3	$\text{H} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}$	$6,3 \times 10^5$	0,5	4000
4	$\text{H}_2 + \text{H} \rightarrow \text{H} + \text{H}_2$	$6,3 \times 10^5$	0,5	4000
5	$\text{H}_2 + \text{H} \rightarrow \text{H} + \text{H} + \text{H}$	$4,49 \times 10^{-14}$	-0,1	52530
6	$\text{H} + \text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}$	$8,8 \times 10^{-45}$	0	0
7	$\text{H}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{H} + \text{H} + \text{H}_2$	$1,43 \times 10^{-12}$	-0,7	52530
8	$\text{H} + \text{H} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}_2$	$2,8 \times 10^{-43}$	-0,6	0
9	$\text{H}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{H} + \text{e}^-$	$1,91 \times 10^{-1}$	1,0	116045
10	$\text{H}_2^+ + \text{H}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}_2$	$6,07 \times 10^{-34}$	-2,5	0
11	$\text{H}^+ + \text{H}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{H}$	$6,07 \times 10^{-34}$	-2,5	0
12	$\text{H} + \text{H}_2^+ + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{H}_2$	$1,66 \times 10^{-35}$	-2,5	0
13	$\text{H}^+ + \text{H} + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{H}$	$1,66 \times 10^{-35}$	-2,5	0
14	$\text{H} + \text{H} \rightarrow \text{H}^+ + \text{H} + \text{e}^-$	$6,5 \times 10^3$	-3,8	159000
15	$\text{H}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2^+ + \text{e}^- + \text{e}^-$	$9,53 \times 10^{-19}$	0,9	145000
16	$\text{H}^- + \text{H} \rightarrow \text{H}_2 + \text{e}^-$	$7,83 \times 10^2$	0	0
17	$\text{H}^+ + \text{H}^- \rightarrow \text{H} + \text{H}$	$1,3 \times 10^6$	-0,5	0



**Gambar 2.** Perubahan densitas spesies plasma.



**Gambar 3.** Densitas spesies hidrogen termal pada kesetimbangan termodinamik (1 atm).

Waktu kesetimbangan plasma terjadi dalam rentang waktu  $10^{-6} - 10^{-3}$  s [2].

Kesetimbangan plasma diperlihatkan oleh gambar 2.

**Tabel 2.** Densitas spesies hidrogen termal pada kesetimbangan termodinamik.

No	Spesies	Densitas spesies dalam Log10 ( $\text{m}^{-3}$ )
1	Elektron	17.5471
2	H2	16.9440
3	H	25.7517
4	H <sup>+</sup>	14.8471
5	H <sup>2+</sup>	22.5804
6	H <sup>-</sup>	20.9461

Tabel 2. menyajikan nilai kesetimbangan densitas spesies plasma hidrogen termal. Nilai densitas kesetimbangan elektron yang berhasil dicatat oleh matlab adalah  $3.5245 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ . Elektron dalam penelitian ini telah memenuhi karakteristik plasma sehingga elektron dianggap bergerak bebas dan tanpa mengalami gangguan medan dari luar. Densitas elektron yang diperoleh masih dalam kategori yang sesuai dengan karakteristik plasma laboratorium yaitu tidak melebihi  $10^5$  sampai  $10^{15} \text{ m}^{-3}$  dengan rentang suhu 11604 Kelvin [2].

Spesies hidrogen diatomik ( $\text{H}_2$ ) dan hidrogen monoatomik (H) yang disebabkan oleh proses disosiasi dapat dianalisa dengan membandingkan kedua

spesies tersebut ( $nH/nH_2 \approx 1$ )[6]. Spesies ion plasma hidrogen dihasilkan dari proses ionisasi pada saat reaksi, produksi spesies ion plasma  $H^+$  dan  $H_2^+$  sama sama dihasilkan oleh spesies atom hidrogen, oleh karena kedua spesies ini dihasilkan proses yang sama, maka dapat dibuat perbandingan antara kedua spesies ion positif ini.  $nH^+/nH_2^+ \approx 0,2$  parameter perbandingan menunjukkan bahwa produksi spesies ion plasma dari proses ionisasi dan disosiasi ion terhadap spesies molekul hidrogen telah memenuhi tingkat ionisasi pada plasma [6].

**Tabel 3.** Nilai laju reaksi spesies hidrogen

No.	Reaksi	Laju Reaksi ( $m^{-3} s^{-1}$ )
1	$H + e^- \rightarrow H^+ + e^- + e^-$	$2,313 \times 10^{22}$
2	$H^+ + e^- + e^- \rightarrow H + e^-$	$1,138 \times 10^{72}$
3	$H + H_2 \rightarrow H_2 + H$	$1,377 \times 10^{49}$
4	$H_2 + H \rightarrow H + H_2$	$1,377 \times 10^{49}$
5	$H_2 + H \rightarrow H + H + H$	$1,672 \times 10^{27}$
6	$H + H + H \rightarrow H_2 + H$	$1,188 \times 10^{31}$
7	$H_2 + H_2 \rightarrow H + H + H_2$	$9,251 \times 10^{18}$
8	$H + H + H_2 \rightarrow H_2 + H_2$	$9,464 \times 10^{22}$
9	$H_2 + e^- \rightarrow H + H + e^-$	$1,039 \times 10^{31}$
10	$H_2^+ + H_2 + e^- \rightarrow H_2 + H_2$	$1,785 \times 10^{18}$
11	$H^+ + H_2 + e^- \rightarrow H_2 + H$	$7,691 \times 10^{19}$
12	$H + H_2^+ + e^- \rightarrow H + H_2$	$3,135 \times 10^{25}$
13	$H^+ + H + e^- \rightarrow H + H$	$1,351 \times 10^{27}$
14	$H + H \rightarrow H^+ + H + e^-$	$1,922 \times 10^{49}$
15	$H_2 + e^- \rightarrow H_2^+ + e^- + e^-$	$2,967 \times 10^{12}$
16	$H^+ + H \rightarrow H_2 + e^-$	$3,108 \times 10^{43}$
17	$H^+ + H^- \rightarrow H + H$	$5,594 \times 10^{42}$

Nilai laju reaksi ditunjukkan oleh tabel 3, dengan nilai reaksi tertinggi adalah reaksi rekombinasi (reaksi 2)  $1,138 \times 10^{72} m^{-3} s^{-1}$ , laju reaksi terkecil dicapai oleh ionisasi (reaksi 16), yaitu  $2.967 \times 10^{12} m^{-3} s^{-1}$ . Laju reaksi ionisasi plasma hidrogen termal lebih rendah dibandingkan dengan laju rekombinasi. Plasma hidrogen termal bergantung pada temperatur elektron yang nilainya hampir sama dengan temperatur spesies lainnya [5].

## KESIMPULAN

Kesetimbangan plasma hidrogen termal mencapai kestabilan  $1,451 \times 10^{-6}$  s dan berlangsung selama  $10^{-6} - 10^{-3}$  s. Densitas dari masing masing spesies elektron, H,  $H_2$ ,  $H^+$ ,  $H_2^+$  dan H berturut-turut adalah  $10^{17,5471} m^{-3}$ ,  $10^{16,9440} m^{-3}$ ,  $10^{25,7517} m^{-3}$ ,  $10^{14,8471} m^{-3}$ ,  $10^{22,5804} m^{-3}$  dan  $10^{20,9461} m^{-3}$ . Parameter ionisasi plasma diperoleh  $nH^+/nH_2^+ \approx 0,2$  dan parameter disosiasi adalah  $nH/nH_2 \approx 1$ . Kesetimbangan dalam plasma akan meningkatkan disosiasi dan berlangsung secara cepat dan dalam fraksi yang kecil. Laju reaksi tertinggi adalah reaksi rekombinasi (reaksi 2)  $1,138 \times 10^{72} m^{-3} s^{-1}$ , laju reaksi terkecil dicapai oleh ionisasi (reaksi 16), yaitu  $2.967 \times 10^{12} m^{-3} s^{-1}$ .

## REFERENSI

1. Germaschewski, K. *et al.* (2016) 'The Plasma Simulation Code: A modern particle-in-cell code with patch-based load-balancing', *Journal of Computational Physics*. Elsevier Inc., 318, pp. 305–326. doi: 10.1016/j.jcp.2016.05.013.
2. Inui, H. *et al.* (2010). *Measurement of Hydrogen Radical Density and Its Impact on Reduction of Copper Oxide in Atmospheric-Pressure Remote Plasma Using H<sub>2</sub> and Ar Mixture Gases*. Applied Physics Express 3, 126101.
3. Ismail, F. D. *et al.* (2011) 'Optik Thermodynamic equilibrium for nitrogen species discharge: Comparison with global model', *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*. Elsevier GmbH., 122(5), pp. 455–458. doi: 10.1016/j.ijleo.2010.03.006.
4. J. Henriques, N. *et al.*, (2011). *Microwave plasma torches driven by surface wave applied for hydrogen production*. Hydrogen Energy. 36:345-354.
5. J. Jolly and J.-P. Booth. (2005). *Atomic hydrogen densities in capacitively coupled very highfrequency plasmas in H<sub>2</sub>: Effect of excitation frequency*. J. Appl. Phys. 97, 103305 (6pp).

6. M. Sode, *et al.* (2013). 'Ion chemistry in H<sub>2</sub>-Ar low temperature plasmas', 063302. doi: 10.1063/1.4817526
7. Narendra Singh, *et al.* (2018). *Characterization of hot dense plasma with plasma parameters*. Radiation Physics and Chemistry 146, 105-114.
8. Parigger, C. G. *et al.* (2014) 'Spectrochimica Acta Part B Asymmetric hydrogen beta electron density diagnostics of laser-induced plasma', *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. Elsevier B.V., 99(September 2013), pp. 28–33. doi: 10.1016/j.sab.2014.06.013.
9. Rauscher, H. *et al.* (2010). *Plasma Technology for Hyperfunctional Surfaces*. Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
10. Rossi, F. *et al.* (2008). *Use of a low-pressure plasma discharge for the decontamination and sterilization of medical devices*. Pure Applied Chemistry Vol. 80, No. 9, 1939–1951



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

## KEBERGANTUNGAN TEMPERATUR PLASMA HIDROGEN DALAM TEKANAN RENDAH

Siti Nurul Alifah, Saktioto\*

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [saktioto@yahoo.com](mailto:saktioto@yahoo.com)

### ABSTRACT

*The density and reaction rate values of plasma are physical quantities needed to produce plasma hydrogen. Both are needed to estimate the heat and the operating time of plasma generator. Density and reaction rate of plasma values are obtained by computational modeling using the continuity and Arrhenius equation. Five species of hydrogen are used in this research i.e electron,  $H_2$ ,  $H^{2+}$ ,  $H$  and  $H^+$ . The pressure used was 9.7 mTorr and the temperature of electron used is higher than the temperatures of the hydrogen species. The temperatures scale used in high at 34812 Kelvin for electron and 9283.2 for other species. The study resulted that hydrogen gas can be plasma when it reaches the time span  $3.8 \times 10^{-7}$  second. The equilibrium conditions last for  $10^{-3}$  second after the time limit be returned as plasma gas. The result of density for each species at range  $10^{16}$  until  $10^{18} m^{-3}$ . The value of the fastest reaction rate equal to  $7,3 \times 10^{53} m^{-3} s^{-1}$ .*

**Keywords:** Plasma hydrogen nonthermal, Density, Reaction rate, Plasma generator

### ABSTRAK

*Nilai densitas dan laju reaksi plasma adalah besaran fisika yang dibutuhkan untuk memproduksi plasma hidrogen. Keduanya diperlukan agar jumlah energy panas dan waktu pengoperasian alat pembangkit plasma dapat diketahui. Nilai densitas dan laju reaksi plasma diperoleh dengan pemodelan komputasi menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Arrhenius. Lima spesies hidrogen digunakan dalam penelitian ini, yaitu elektron,  $H_2$ ,  $H^{2+}$ ,  $H$  dan  $H^+$  Tekanan yang digunakan sebesar 9.7 mTorr dan suhu elektron lebih tinggi daripada suhu spesies hidrogen yang lain. Suhu yang digunakan dalam skala yang tinggi yaitu 34812 kelvin untuk elektron dan 9283.2 untuk spesies lainnya. Hasil yang didapatkan adalah gas hidrogen dapat menjadi plasma ketika mencapai rentang waktu  $3,8 \times 10^{-7}$  sekon. Kondisi kesetimbangan bertahan selama  $10^{-3}$  sekon setelah melewati batas waktu kesetimbangan plasma akan kembali menjadi gas. Densitas untuk masing masing spesies didapatkan berkisar  $10^{16}$  sampai  $10^{18} m^{-3}$ . Nilai laju reaksi yang paling cepat didapatkan sebesar  $7,3 \times 10^{53} m^{-3}$ .*

**Kata Kunci :** Plasma hidrogen nontermal, Densitas, Laju reaksi, Pembangkitan plasma

Diterima 03-09-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Plasma tekanan rendah telah digunakan dalam kehidupan sehari-hari secara meluas terutama dibagian medis dan industri [1]. Plasma tekanan rendah memiliki keuntungan dibandingkan plasma tekanan atomsfir. Plasma tekanan rendah memiliki laju reaksi yang tinggi dengan daerah tumbukkan yang luas [2].

Penggunaan plasma yang semakin banyak membuat peneliti berusaha membangkitkan plasma dalam skala laboratorium [1]. Proses pembangkitan plasma dapat dilakukan dengan macam-macam cara dan biasanya menggunakan gas mulia [3]. Salah satu jenis gas mulia tersebut adalah hidrogen.

Penggunaan gas mulia disebabkan karena sifat dari gas mulia itu sendiri yang mudah untuk terbakar dan bereaksi dengan zat

lainnya. Pembangkitan plasma membutuhkan nilai densitas dan laju reaksi. Densitas digunakan untuk menghitung jumlah energi panas yang dibutuhkan dalam proses pembangkitan plasma sedangkan laju reaksi dibutuhkan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk membangkitkan plasma. Densitas dan laju reaksi diketahui agar pengoperasian alat pembangkit plasma bisa dioptimalkan sehingga, selama proses pembangkitan tidak terjadi kontaminasi atau pencampuran plasma dengan zat-zat lain yang ada disekitarnya [3].

Penentuan densitas dan laju reaksi plasma dengan menggunakan cara eksperimen dianggap tidak efisien karena membutuhkan waktu yang lama untuk mencari nilai yang membuat plasma dalam keadaan setimbang dan biaya yang cukup besar. Maka dari itu, penentuan nilai densitas dan laju reaksi dilakukan dengan cara komputasi dengan menggunakan metode Runge Kutta yang dimodelkan melalui software MATLAB (Matrix Laboratory). Persamaan yang digunakan adalah persamaan kontinuitas yang bergantung pada waktu dan persamaan Arrhenius.

Plasma berdasarkan temperatur dibagi atas plasma termal dan nontermal. Plasma termal adalah plasma yang mempunyai nilai temperatur elektron dan temperatur ion sama sedangkan plasma nontermal mempunyai nilai temperatur elektron yang lebih tinggi daripada ionnya [4]. Sebuah gas dikatakan plasma

apabila terjadi kesetimbangan muatan negatif dan muatan positif. Kesetimbangan muatan ini disebut sebagai kuasinetral [4]. Plasma tekanan rendah sangat sulit untuk mempertahankan kesetimbangan, maka digunakan temperatur elektron yang lebih tinggi daripada temperatur ion.

Simulasi komputasi ini menggunakan nilai tekanan sebesar 1,3 Pascal (10 miliTorr) dengan nilai temperatur ion hidrogen sebesar 9283,2 Kelvin dan nilai temperatur elektron sebesar 34812 Kelvin.

### METODE PENELITIAN

Reaksi kimia digunakan untuk menggambarkan keadaan dalam plasma. Reaksi kimia menunjukkan spesies hidrogen yang saling bertumbukkan dan menghasilkan spesies lain yang akan diubah menjadi plasma. Tumbukkan antar spesies plasma dipengaruhi nilai temperatur dan tekanan yang digunakan sehingga akan menghasilkan energi kinetik.

Reaksi kimia kinetik digambarkan dengan menggunakan persamaan kontinuitas untuk masing-masing spesies seperti persamaan [2]:

$$dn/dt + \nabla(nv) = S \quad (1)$$

pada saat kesetimbangan termodinamik tercapai nilai  $n$  konstan sehingga persamaan dinyatakan sebagai :

$$dn/dt = S \quad (2)$$

Suatu reaksi dapat ditulis dalam bentuk [6]:



**Tabel 1.** Data reaksi plasma hydrogen.

No. Reaksi	Reaksi	$\alpha$ ( $m^3 s^{-1}$ )	$\beta$	$\gamma$ (K)
1	$H + e^- \rightarrow H^+ + e^- + e^-$	$1,51 \times 10^{31}$	-3,0	158000
-1	Data reaksi balik tidak tersedia			
2	$H_2 + e^- \rightarrow H + H + e^-$	$2,23 \times 10^{12}$	0,5	46600
-2	Data reaksi balik tidak tersedia			
3	$e^- + H_2 \rightarrow H_2^+ + e^- + e^-$	$3,11 \times 10^{-14}$	0	219324
-3	Data reaksi balik tidak tersedia			
4	$e^- + H_2 \rightarrow H + H^+ + 2 e^-$	$3,07 \times 10^{-16}$	0	203078
-4	Data reaksi balik tidak tersedia			



sehingga nilai laju reaksi maju dan laju reaksi balik dapat kita hitung dengan persamaan :

$$R_f = k_f (n_A)^a (n_B)^b \quad (4)$$

$$R_r = k_r (n_C)^c (n_D)^d \quad (5)$$

Nilai koefisien laju reaksi diselesaikan dengan persamaan :

$$k = k = \frac{(n_c)^2 (n_D)^2}{(n_a)^2 (n_D)^2} \quad (6)$$

Persamaan Arrhenius digunakan untuk menggambarkan ketergantungan laju  $k$  (konstan) dari tumbukan pada temperatur absolut. Persamaan Arrhenius dibentuk seperti persamaan :

$$k = A e^{\left(\frac{-E}{RT}\right)} \quad (7)$$

modifikasi lain juga ditulis :

$$k = \alpha (T/300)^\beta e^{\left(\frac{-\gamma}{T}\right)} \quad (8)$$

Konstanta  $\alpha$ ,  $\beta$ , dan  $\gamma$  di dalam persamaan diatas disebut dengan parameter Arrhenius yang nilainya tergantung kepada data eksperimen dalam setiap reaksi. Reaksi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Reaksi dibuat dan dibentuk dalam bentuk model kinetik kimia dan nilai nilai parameter Arrhenius diketahui. Reaksi dan nilai nilai tersebut dimasukkan kedalam pengkodean yang terdiri dari dua program utama dan dua program masukan. Program masukan bernama phycon.m dan nthdata.m pada lampiran 1 dan 2. Program phycon berisi nilai nilai fisika yang akan digunakan dalam penelitian seperti muatan listrik elektron dan konstanta Boltzmann sedangkan program nthdata.m berisi parameter Arrhenius ( $\alpha, \beta$ , dan  $\gamma$ ) hidrogen non termal, nilai tekanan dan temperatur kinetik masing masing spesies hidrogen yang digunakan dalam penelitian. Program masukan diberi nama dlndt.m dan nthequilb.m. Program dlndt.m berisi fungsi dan persamaan untuk menentukan nilai laju reaksi plasma hidrogen nontermal sedangkan program nthequilb.m berisi fungsi dan persamaan yang akan digunakan untuk mengolah data nthdata.m sehingga nilai densitas plasma hidrogen nontermal pada kesetimbangan termodinamik tekanan rendah.

Keempat program tersebut di jalankan secara terpisah pada software MATLAB dengan menggunakan metode runge kutta yang mempunyai bentuk umum :

$$y_{i+1} = y_i + h(a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n) \quad (9)$$

$$k_1 = f(x_i, y_i) \quad (10)$$

$$k_2 = f(x_i + p_1 h, y_i + q_1 k_1 h) \quad (11)$$

$$k_n = f(x_i + p_{n-1} h, y_i + q_{n-1} k_1 h + \dots + q_{n-1} k_{n-1} h) \quad (12)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai hasil densitas dan nilai laju reaksi dapat dilihat pada tabel 2 dan 3. Tabel 2 memperlihatkan nilai densitas plasma yang telah setimbang. Densitas elektron mengalami penurunan ketika mencapai kesetimbangan sedangkan keempat spesies lain mengalami kenaikan. Penurunan dan kenaikan ini disebabkan karena densitas banyaknya spesies tersebut dalam reaksi yang terjadi.

**Tabel 2.** Hasil nilai densitas plasma hidrogen nontermal.

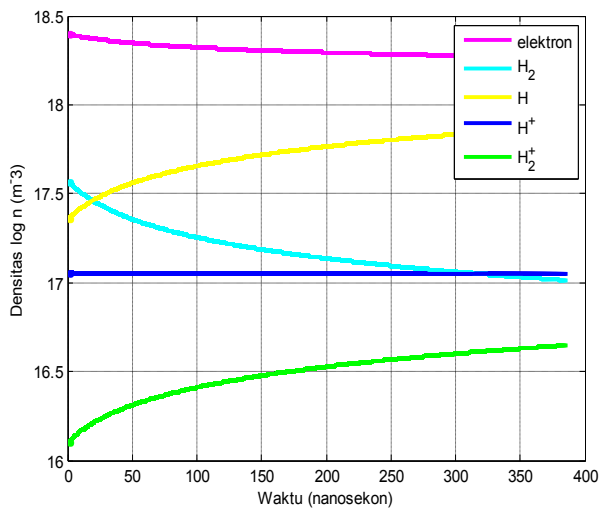
Spesies	Densitas log	Densitas ( $m^{-3}$ )
elektron	$10^{18.2661}$	$1,8 \times 10^{18}$
H <sub>2</sub>	$10^{17.0123}$	$1,03 \times 10^{17}$
H	$10^{17.8766}$	$7,53 \times 10^{17}$
H <sup>+</sup>	$10^{17.0460}$	$1,11 \times 10^{17}$
H <sub>2</sub> <sup>+</sup>	$10^{16.6479}$	$4,44 \times 10^{16}$

Kondisi kesetimbangan hanya terjadi pada plasma termal sedangkan plasma nontermal tidak bisa mencapai kondisi kesetimbangan. Plasma nontermal hanya dapat mencapai kondisi optimal saja dimana nilai densitas baik dari elektron maupun gas hanya akan setimbang. Coding phycon.m, dlndt.m, nthdata.m dan nthequilb.m dijalankan dan didapatkan waktu dan nilai densitas plasma hidrogen nontermal dalam kondisi kesetimbangan.

Gambar 1 adalah grafik hasil tentang kesetimbangan densitas plasma hidrogen

nontermal. Kelima spesies plasma hidrogen memiliki kesetimbangan densitas yang berbeda. Gambar menunjukkan bahwa kesetimbangan densitas tercapai pada waktu 380 nanosekon. Hal ini menunjukkan bahwa plasma akan terbentuk setelah waktu 380 nanosekon atau setara dengan  $3,8 \times 10^{-7}$  sekon.

Proses kesetimbangan densitas berlangsung dan dapat ditemukan plasma dalam selang waktu ini namun, kesetimbangan ini hanya berlangsung selama 10-3 saja seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Kelima spesies



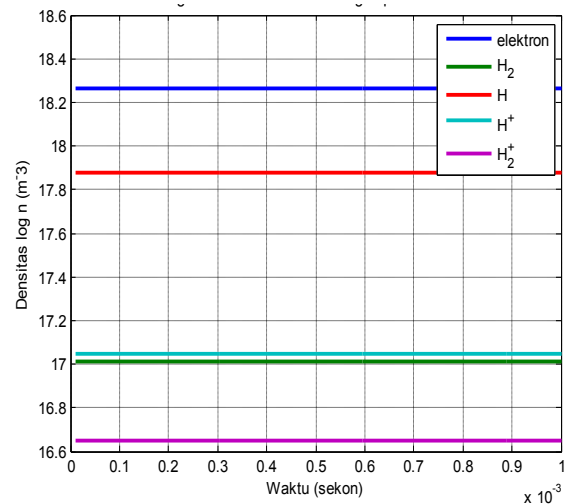
**Gambar 1.** Kesetimbangan densitas plasma hidrogen nontermal.

Nilai laju reaksi didapatkan dengan memasukkan reaksi pada *coding* nthdata.m kemudian perasmaan laju reaksi pada *coding* yang berjudul nthdata.m akan diselesaikan oleh MATLAB dan nilai laju reaksi ditampilkan pada MATLAB melalui *coding* nthequilb.m. Semakin tinggi nilai laju reaksi maka nilai densitas juga akan semakin besar.

Nilai laju reaksi dipengaruhi oleh nilai  $\alpha$  yang terdapat pada persamaan Arrhenius yang didapatkan berdasarkan hasil eksperimen oleh Mendes et al. tahun 2006 pada tabel 3.1.  $\alpha$  adalah nilai *cross section* atau tampang melintang dari tumbukan yang terjadi pada suatu reaksi. Nilai *cross section* yang besar akan membuat suatu spesies dapat lebih mudah bertumbukan sehingga laju reaksi yang

hidrogen mengalami perubahan densitas terhadap waktu.

Spesies  $H^+$  adalah spesies yang paling cepat mencapai kesetimbangan densitas karena spesies tersebut telah berbentuk ion sedangkan keempat spesies lainnya harus mengalami proses ionisasi yang lebih lama untuk memecah partikel berat menjadi partikel yang lebih ringan kemudian akan diionisasi. Densitas plasma pada saat iterasi ke 400 tidak lagi mengalami perubahan sampai iterasi ke 1000.



**Gambar 2.** Waktu kesetimbangan densitas plasma hidrogen nontermal.

terjadi akan semakin besar begitu pula sebaliknya [7].

Nilai  $\beta$  adalah nilai yang memiliki hubungan dengan temperatur. Nilai  $\beta = 1$  maka semua atom hidrogen pada saat mencapai keadaan kesetimbangan akan hilang hal inilah yang menyebabkan nilai  $\beta$  tidak pernah lebih dari 1.  $\gamma$  adalah nilai energi aktivasi yang mempengaruhi nilai koefisien reaksi ( $k$ ). Nilai  $k$  yang tinggi akan menyebabkan suatu reaksi memiliki nilai medan magnet dan medan listrik yang besar [7] namun ini tidak ditinjau dalam penelitian ini. Nilai laju reaksi pada tabel 4.3 dapat digunakan untuk membangkitkan plasma dalam skala laboratorium.

**Tabel 3.** Daftar reaksi dan nilai laju reaksi plasma hidrogen nontermal

No. Reaksi	Reaksi	Laju Reaksi ( $\text{m}^{-3} \text{s}^{-1}$ )	Jenis Reaksi
1	$\text{H} + \text{e}^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{e}^- + \text{e}^-$	$7,331 \times 10^{53}$	Ionisasi
-1	Data reaksi balik tidak tersedia		
2	$\text{H}_2 + \text{e}^- \rightarrow \text{H} + \text{H} + \text{e}^-$	$3,836 \times 10^{46}$	Disosiasi
-2	Data reaksi balik tidak tersedia		
3	$\text{e}^- + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2^+ + \text{e}^- + \text{e}^-$	$7,992 \times 10^{11}$	Ionisasi Disosiasi
-3	Data reaksi balik tidak tersedia		
4	$\text{e}^- + \text{H}_2 \rightarrow \text{H} + \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$	$4.540 \times 10^{10}$	Ionisasi
-4	Data reaksi balik tidak tersedia		

## KESIMPULAN

Penelitian telah berhasil dilakukan dan diperoleh kesimpulan. Kesimpulan yang diperoleh antara lain :

1. Pemodelan plasma hidrogen nontermal diperoleh nilai densitas setimbang pada tekanan rendah untuk spesies elektron, H, H<sub>2</sub>, H<sup>+</sup> dan H<sub>2</sub><sup>+</sup> berturut turut dalam satuan m<sup>-3</sup> adalah  $1,8 \times 10^{18}$ ,  $7,53 \times 10^{17}$ ,  $1,03 \times 10^{17}$ ,  $1,11 \times 10^{17}$ ,  $4,44 \times 10^{16}$ . Rasio perbedaan nilai densitas elektron dan spesies yang lainnya dalam orde 10<sup>2</sup> dimana nilai densitas untuk elektron pada plasma hidrogen nontermal tidak jauh berbeda dengan densitas spesies lainnya.
2. Laju reaksi yang dominan pada pemodelan plasma hidrogen nontermal ini adalah ionisasi. Laju reaksi terbesar dengan nilai  $7,331 \times 10^{53}$  dan laju reaksi terkecil dengan nilai  $4.540 \times 10^{10}$ . elektron pada plasma hidrogen nontermal lebih banyak mengalami ionisasi sehingga densitasnya menurun dalam proses mencapai waktu optimal.

## REFERENSI

1. Santos, M.A., Perito, R.C., Muzart,

J.L.R., Maliska, A.M. 2003. Plasma Dewaxing and Sintering of Compacted Unalloyed Iron. *Materials Science Forum* Vols. 416-418, 329.

2. Ismail, F.D., Saktioto, T., Fadhali, M., Yupapin, P.P., Qindeel, R., Ali, J. 2011. Thermodynamic Equilibrium of Nitrogen Species Discharge: Comparison with Global Model. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics* 122 5, 455–458.
3. Yohannes, Hendra. 2013. *Pemodelan Densitas Plasma Hidrogen pada Keseimbangan Termodinamik Tekanan Atmosfer*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Fisika Universitas Riau.
4. Bittencourt J.A. 2004. *Fundamentals of Plasma Physics Third Edition*. Springer Science: New York.
5. Saktioto. 2000. *Studies of Atmospheric Pressure Plasma Sources* Thesis. University of Manchester, Manchester.
6. Vojnovic, M., Popovic M., Ristic M.M., Vivic M.D., Popanic G.B., 2015. *Rate Coefficients for Electro Impact Excitation of N<sub>2</sub>*. Elsevier Journal Vols 463, 38-46.



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

## FABRIKASI SENSOR SERAT OPTIK PLASTIK UNTUK DETEKSI ION LOGAM MERKURI DALAM AIR

Ida Vaeruza, Kukuh Eka Kurniansyah, Faqih Darma, Ian Yulianti\*

Jurusan Fisika, Universitas Negeri Semarang, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang

\*E-mail korespondensi: [ianyulianti@mail.unnes.ac.id](mailto:ianyulianti@mail.unnes.ac.id)

### ABSTRACT

*The presence of mercury ions is a serious threat to human health and environment. Water consumption containing mercury is very dangerous for human health. The purpose of this work is to design a heavy metal sensor ion using plastic optical fiber to detect mercury ions in water. The sensor was fabricated by coating the optical fiber by chitosan through dip-coating technique. There are three diameter of optical fiber sensor that was fabricated, which are 1087.64  $\mu\text{m}$  (sensor A), 1691.64  $\mu\text{m}$  (sensor B) and 1736.33  $\mu\text{m}$  (sensor C). Sensor characterization was done by connected the tip of plastic optical fiber to an LED and the other tip was connected to a photodiode. The results show that sensitivity of sample A is 0.32 mA/ppm, sample B is 0.56 mA/ppm and sample C is 0.64 mA/ppm. In terms of response time, it is shown that the response time for sensor A, B and C are 22 s, 42.5 s and 86 s respectively.*

**Keywords:** Plastic optical fiber, Chitosan, Mercury, Sensitivity

### ABSTRAK

*Merkuri adalah salah satu kontaminan yang memiliki sifat racun tinggi. Karena sifatnya yang beracun, konsumsi air minum yang terkontaminasi merkuri akan menimbulkan efek yang berbahaya bagi kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sensor ion logam berat dengan menggunakan serat optik plastik untuk mengukur kadar merkuri dalam air. Fabrikasi sensor dilakukan dengan melapisi serat optik plastik menggunakan kitosan melalui teknik dip-coating. Sensor difabrikasi dengan tiga variasi diameter yaitu 1087,64  $\mu\text{m}$  (sensor A); 1691,64  $\mu\text{m}$  (sensor B) dan 1736,33  $\mu\text{m}$  (sensor C). Karakterisasi sensor dilakukan dengan menghubungkan ujung serat optik pada Light Emitting Diode (LED) dan ujung lainnya dihubungkan dengan fotodiode. Hasil karakterisasi menunjukkan sensitivitas sensor A sebesar 0,32 mA/ppm, sensor B sebesar 0,56 mA/ppm dan sensor C sebesar 0,64 mA/ppm. Sementara untuk waktu respon sensor A sebesar 22 s, sensor B 42,5 s dan sensor C 86 s.*

**Kata kunci:** Sensor serat optik, Kitosan, Merkuri, Sensitivitas

Diterima 29-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Keberadaan ion logam berat merupakan ancaman yang cukup serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan [1]. Hal ini dikarenakan sifat ion logam berat yang beracun cenderung mengalami bioakumulasi dan tidak mudah terurai dalam tubuh manusia [2]. Ion logam berat yang paling banyak ditemukan adalah kadmium, timbal dan merkuri. Menurut baku mutu yang ditetapkan pemerintah, kadar merkuri dalam air yang diizinkan adalah 0,001 mg/liter. Konsumsi

logam merkuri dapat menyebabkan berbagai dampak buruk diantaranya merusak bayi dalam kandungan, mengganggu kerja sistem syaraf pusat manusia, mengganggu kerja organ reproduksi dan kekebalan tubuh.

Penelitian tentang pendeteksian dan penyerapan ion logam berat telah banyak dilakukan. Metode yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi ion logam berat adalah metode spektroskopi seperti spektroskopi emisi optik plasma induktif (ICP-OES), spektrometri massa plasma induktif,

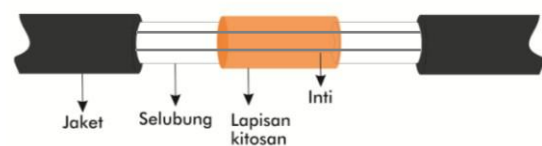
spektrometri massa atom (ATP), spektrofotometer serapan atom (ATP) dan spektrometri fluoresensi sinar-X [3]. Metode-metode tersebut dianggap tidak efisien karena metodenya rumit, membutuhkan instrumentasi yang mahal dan pengambilan data tidak dapat dilakukan secara real time. Untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka dikembangkan sistem sensor serat optik yang mudah fabrikasinya, menggunakan rangkaian instrumentasi yang sederhana, biaya rendah dan mendukung untuk dilakukan pengambilan data secara real time, on-line dan terdistribusi. Pemakaian serat optik mempunyai beberapa kelebihan diantaranya sederhana, murah, ringan, beroperasi pada cahaya tampak, lebih fleksibel dan tahan terhadap derau elektromagnetik.

Sensor serat optik untuk deteksi ion logam berat telah dikembangkan dengan berbagai metode seperti reflektansi [4], [5], *surface plasmon resonance* (SPR) [6], [7] dan floresensi [8], [9]. Metode yang telah dikembangkan memiliki kelemahan dan keunggulan. Metode reflektansi memiliki desain yang rumit sehingga tidak cocok digunakan dalam sistem sensor termultipleks. Metode floresensi memiliki keunggulan tingkat sensitivitas yang tinggi namun proses fabrikasinya rumit dan biaya yang tinggi. Dibandingkan dengan metode yang telah disebutkan di atas, metode adsorpsi memiliki kelebihan terutama pada kemudahan proses fabrikasi.

Prinsip sensor serat optik dengan metode adsorpsi ini didasarkan pada fenomena adsorpsi gelombang evanescent pada batas inti dan selubung serat optik. Perubahan material selubung menyebabkan adsorpsi pada selubung berubah sehingga indeks biasnya berubah pula. Perubahan indeks bias selubung menentukan kedalaman penetrasi medan evanescent. Penurunan indeks bias selubung akan meningkatkan kedalaman penetrasi sehingga intensitas medan evanescent akan menurun. Sensor serat optik berbasis gelombang evanescent untuk deteksi ion logam berat telah dibuat dengan menggunakan

serat optik silika U-bend [10]. Namun, karena diameter intinya kecil ( $\sim 50\mu\text{m}$ ), sensor serat optik silika menjadi sangat rapuh. Untuk mengatasi kelemahan ini serat optik silika diganti dengan serat optik plastik yang memiliki diameter inti lebih besar ( $\sim 980\mu\text{m}$ ). Sensor serat optik berbasis gelombang evanescent difabrikasi dengan mengganti material selubung yang berbahan fluorinated polymer menggunakan material yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap adanya merkuri di dalam air. Salah satu material yang sensitif terhadap ion logam berat merkuri adalah kitosan. Kitosan dapat digunakan sebagai adsorben yang dapat menyerap logam-logam berat.  $\text{NH}_3^+$  dalam kitosan mampu mengadsorpsi logam berat melalui mekanisme pembentukan chelate dan pertukaran ion [11]. Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini dilakukan fabrikasi dan karakterisasi sensor serat optik plastik untuk mendeteksi ion logam berat merkuri di dalam air dengan teknik adsorpsi gelombang evanescent dengan menggunakan kitosan sebagai material pengganti selubung.

## METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Skema sensor serat optik plastik dengan selubung kitosan.

Sensor serat optik plastik berdasarkan prinsip gelombang evanescent terdiri dari serat optik yang dimodifikasi menjadi transduser sehingga dapat mendeteksi adanya perubahan konsentrasi merkuri pada air. Modifikasi yang dilakukan adalah dengan mengganti sebagian dari selubung serat optik plastik menggunakan material kitosan yang sensitif terhadap ion logam berat. Skema sensor serat optik plastik dengan selubung kitosan ditunjukkan pada Gambar 1. Fabrikasi sensor serat optik plastik dilakukan dengan memvariasikan ketebalan

lapisan selubung termodifikasi pada daerah pengindra. Pengaruh ketebalan lapisan selubung dikaji untuk mendapatkan sensor serat optik plastik yang optimal dengan sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cukup singkat.

Sensor serat optik plastik untuk mendeteksi konsentrasi merkuri dibuat dengan memotong kabel serat optik plastik sepanjang 20 cm. Pada bagian tengah serat optik plastik sepanjang 2 cm dilakukan pengupasan jaket pelindung sehingga tersisa bagian inti dan selubung saja. Bagian tersebut selanjutnya dietsa selama 90 detik untuk menghilangkan lapisan selubung serat optik plastik. Proses etsa dilakukan menggunakan larutan aseton 99 % [12]. Besarnya kecepatan etsa ( $e$ ) dapat dihitung melalui persamaan berikut:

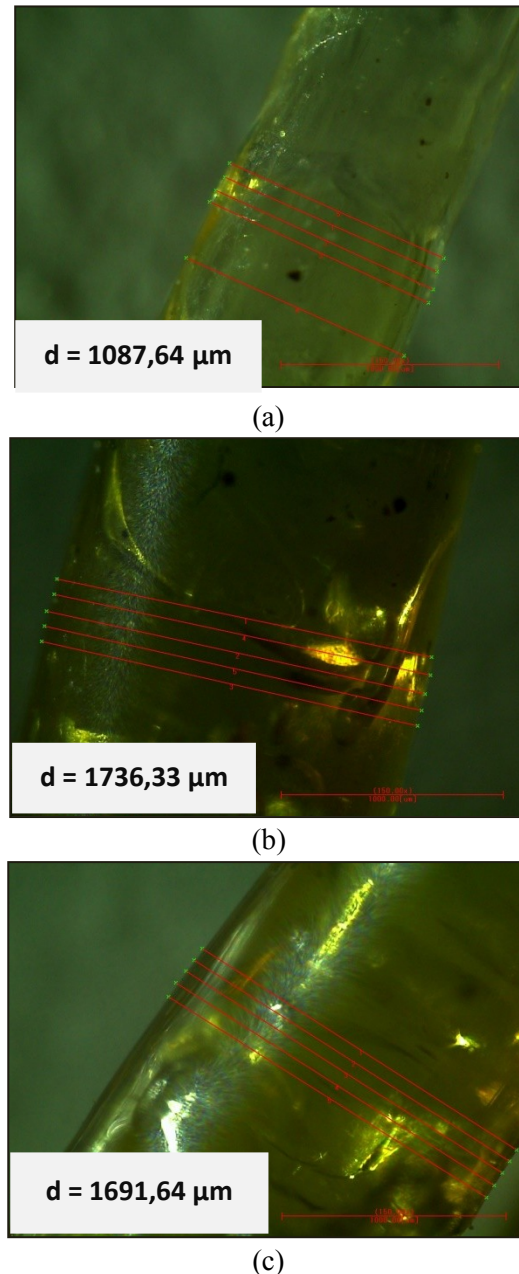
$$e = \frac{(g_1 - g_2)}{t} \quad (1)$$

dengan  $g_1$  adalah diameter serat optik plastik sebelum etsa,  $g_2$  adalah diameter serat optik plastik sesudah etsa dan  $t$  adalah waktu etsa.

Untuk melapisi serat optik plastik, sebanyak 5 gram serbuk kitosan dicampurkan dengan larutan asam asetat 1% sebanyak 150 ml. Campuran dipanaskan dan diaduk pada suhu 90°C selama 4 jam. Serat optik plastik selanjutnya dilapisi menggunakan teknik dip-coating yaitu dengan cara serat optik dicelupkan pada larutan kitosan panas dan ditahan selama 10 detik, kemudian ditarik perlahan dan dibiarkan mengering pada suhu ruang. Pelapisan dilakukan berulang sebanyak 4 kali untuk sensor A, 8 kali untuk sensor B dan 12 kali untuk sensor C. Diameter akhir untuk sensor A sebesar 1087,64  $\mu\text{m}$ , untuk sensor B diameter akhirnya sebesar 1691,64  $\mu\text{m}$  dan sensor C sebesar 1736,33  $\mu\text{m}$  ditunjukkan pada Gambar 2.

Pengujian respon sensor dilakukan dengan dengan menghubungkan salah satu ujung serat optik plastik dengan light emitting diode (LED) merah dengan panjang gelombang 650 nm sebagai sumber cahaya dan ujung lainnya dihubungkan pada fotodioda. Pengambilan

data dilakukan dengan mencatat nilai arus setiap 5 sekon hingga nilai arus stabil. Pengujian sensor dilakukan pada konsentrasi merkuri 0,1 ppm sampai dengan 1 ppm dengan interval 0,1.

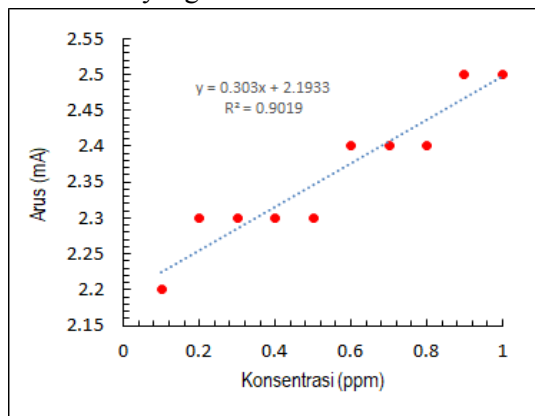


**Gambar 2.** Hasil pengukuran diameter serat optik plastik dengan mikroskop CCD untuk sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

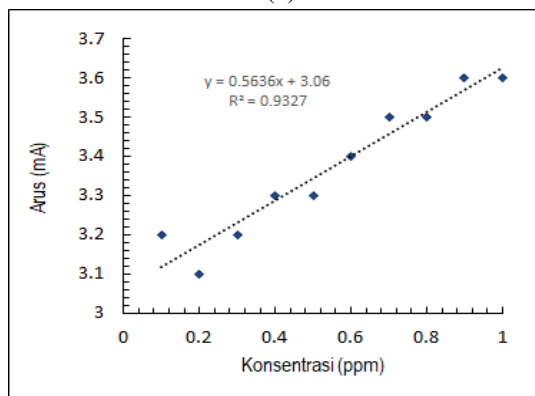
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan grafik hasil karakterisasi sensor serat optik plastik pada sensor A, sensor B dan sensor C. Grafik hubungan konsentrasi larutan merkuri dengan

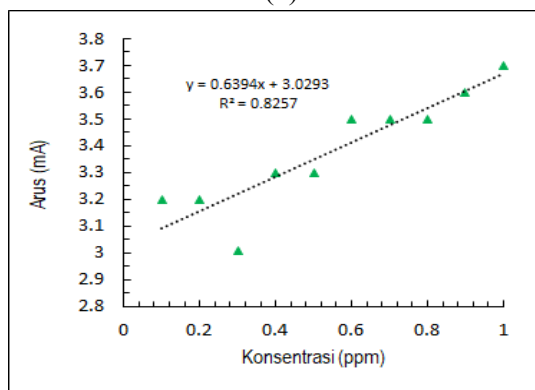
arus pada ketiga sensor menunjukkan gradien positif, yang artinya setiap kenaikan konsentrasi larutan mengakibatkan kenaikan arus. Kenaikan arus ini mengindikasikan adanya kenaikan intensitas cahaya yang ditransmisikan. Kenaikan intensitas cahaya dipengaruhi oleh perubahan indeks bias selubung. Ketika kitosan menyerap merkuri, ion merkuri menempel pada rantai polimer sehingga terbentuk struktur chelates dengan indeks bias yang lebih rendah.



(a)



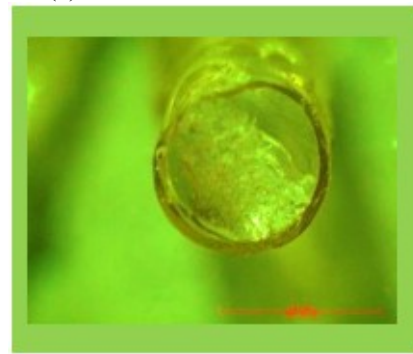
(b)



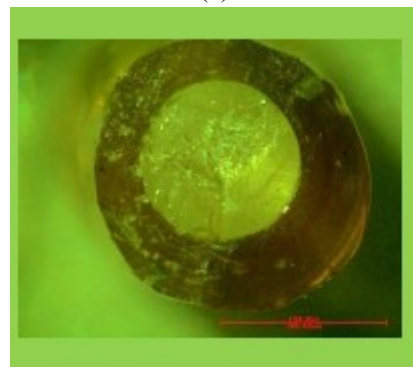
(c)

**Gambar 3.** Hubungan antara konsentrasi merkuri terhadap arus pada sensor serat optik

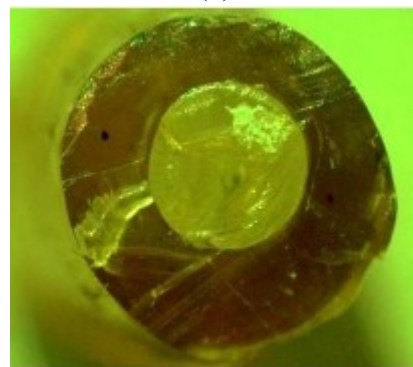
plastik untuk sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).



(a)



(b)

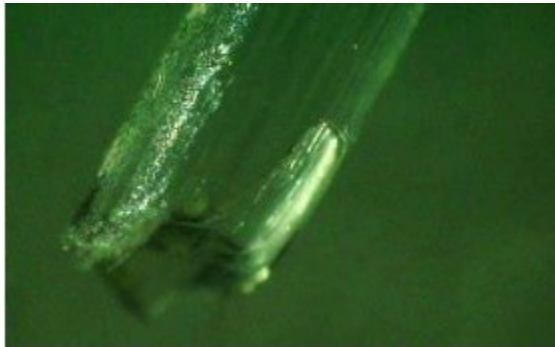


(c)

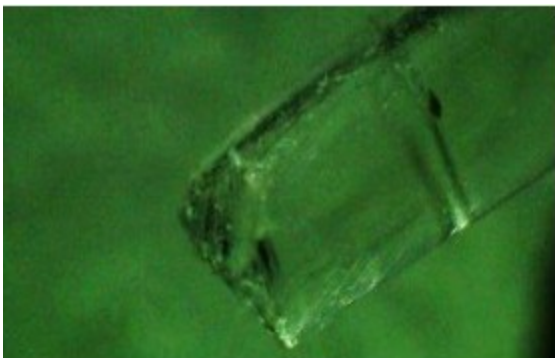
**Gambar 4.** Struktur melintang sensor serat optik plastik pada sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

Nilai sensitivitas sensor tampak meningkat seiring dengan peningkatan ketebalan selubung. Sensor C dengan ketebalan paling tinggi memiliki nilai sensitivitas paling tinggi pula yaitu sebesar 0,64 mA/ppm. Sementara sensor A sensitivitasnya paling rendah yaitu sebesar 0,32 mA/ppm dan sensor B sensitivitasnya sebesar 0,56 mA/ppm. Nilai sensitivitas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya diameter inti serat optik dan homogenitas lapisan kitosan. Untuk diameter

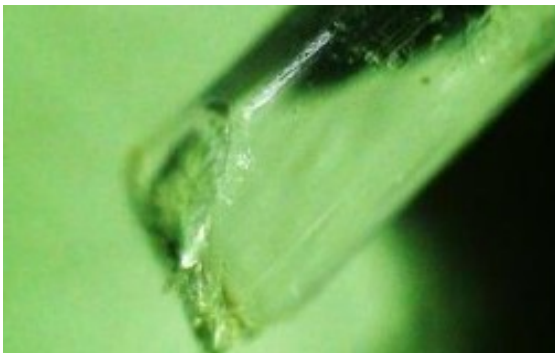
inti, serat optik dari ketiga sensor besarnya sama sehingga pada kasus ini ditinjau homogenitas lapisan kitosan melalui gambar penampang melintang serat optik yang ditunjukkan pada Gambar 4.



(a)



(b)

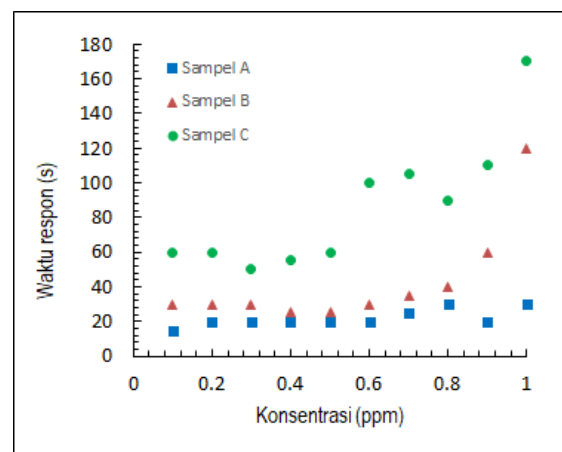


(c)

**Gambar 5.** Hasil pengamatan struktur morfologi ujung pemotongan serat optik plastik pada sensor A (a), sensor B (b) dan sensor C (c).

Dari Gambar 4 tampak bahwa pada sensor A terdapat bagian yang tidak homogen, pada sensor B juga tampak perbedaan ketebalan antara dua sisi yang berlawanan. Sementara sensor C tampak homogen di setiap sisinya sehingga nilai sensitivitas sensor C paling tinggi.

Ditinjau dari besarnya intensitas cahaya yang ditunjukkan oleh besarnya arus, dari Gambar 3 diperoleh data bahwa nilai arus paling tinggi terdapat pada sensor C yaitu 3,0mA - 3,7mA. Sementara nilai arus sensor B berkisar antara 3,1mA – 3,6mA dan untuk sensor A berkisar antara 2,2mA – 2,5mA. Semakin tinggi nilai arus artinya semakin besar intensitas cahaya yang berhasil ditransmisikan. Namun, apabila nilai arus rendah maka cahaya yang berhasil ditransmisikan semakin sedikit dan besarnya rugi daya meningkat. Rugi daya terbesar terdapat pada sensor A. Beberapa faktor yang mempengaruhi besarnya rugi daya adalah kesalahan pemotongan dan macrobending. Kesalahan pemotongan berhubungan erat dengan sudut datang cahaya sebelum masuk ke dalam serat optik. Apabila sudut ini lebih besar dari nilai numerical aperture (NA) serat optik maka cahaya tidak akan ditransmisikan melalui inti serat optik. Keadaan ini sesuai dengan Gambar 5 yang menunjukkan permukaan sensor B dan C yang lebih halus dibanding sensor A.



**Gambar 6.** Perbandingan waktu respon sensor serat optik plastik pada sensor A, sensor B dan sensor C.

Gambar 6 menampilkan perbandingan waktu respon sensor pada sensor A, sensor B dan sensor C. Waktu respon sensor adalah waktu yang dibutuhkan sensor untuk mencapai keadaan stabil. Ketika proses karakterisasi, lapisan kitosan menyerap ion merkuri. Saat itulah ion masuk ke dalam lapisan kitosan dan



mengisi rongga-rongga pada struktur kitosan. Konsentrasi yang rendah, waktu respon sensor relatif lebih singkat dibanding pada konsentrasi di atasnya. Ketebalan lapisan kitosan juga berpengaruh pada lamanya waktu respon sensor. Semakin tebal lapisan kitosan, maka banyaknya rongga yang akan diisi ion merkuri semakin bertambah. Oleh karena itu, waktu yang diperlukan untuk memenuhi rongga-rongga tersebut akan semakin lama. Sensor C dengan ketebalan paling tinggi memerlukan waktu respon yang paling lama dan sensor A dengan ketebalan paling rendah memiliki waktu respon yang paling rendah. Waktu respon rata-rata sensor A, B dan C berturut-turut sebesar 22 s, 42,5 s dan 86 s.

## KESIMPULAN

Sensor serat optik plastik berdasarkan metode absorpsi gelombang evanescent dengan modifikasi selubung untuk deteksi ion merkuri telah berhasil di fabrikasi. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan sensor maka sensitivitasnya semakin tinggi. Besarnya sensitivitas dipengaruhi oleh homogenitas lapisan kitosan dan diameter inti serat optik. Sementara besarnya arus dipengaruhi oleh keadaan permukaan pemotongan serat optik. Dalam hal waktu respon sensor menunjukkan semakin tebal lapisan kitosan maka waktu respon sensor semakin lama.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Negeri Semarang atas bantuan dana selama penelitian, kepada staff Jurusan Fisika UNNES atas saran dan diskusinya dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

## REFERENSI

1. Tharakeswar, Y., Kalyan, Y., Gangadhar, B., Kumar, K. S. and Naidu, G R. (2012). Optical Chemical Sensor for Screening Cadmium (II) in Natural Waters. *J. Sens. Technol.* 2(2), 68–74.

2. Unagolla, J. M. and Adikary, S. U. (2015). Adsorption characteristics of cadmium and lead heavy metals into locally synthesized Chitosan Biopolymer. *Trop. Agric. Res.* 26(2),395–401.
3. Ho, T. C., Jafri, M. Z. M., San, L. H. and Chong, M. Y. (2012). Detection of heavy metal ions in aqueous solution using fiber optic sensor. *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, 267–270.
4. Filik, H. and Yanaz, Z. (2009). A sensitive method for determining total vanadium in water samples using colorimetric-solid-phase extraction-fiber optic reflectance spectroscopy. *J. Hazard. Mater.* 172(2–3), 1297–1302.
5. Choudhary, R., Bowser, T. J., Weckler, P., Maness, N. O. and McGlynn, W. (2009). Rapid estimation of lycopene concentration in watermelon and tomato puree by fiber optic visible reflectance spectroscopy. *Postharvest Biol. Technol.* 52(1), 103–109.
6. Verma, R. and Gupta, B. D. (2015). Detection of heavy metal ions in contaminated water by surface plasmon resonance based optical fibre sensor using conducting polymer and chitosan. *Food Chem.* 166, 568–575.
7. Halkare, P., Punjabi, N., Wangchuk, J., Nair, A., Kondabagil, K. and Mukherji, S. (2019). Bacteria functionalized gold nanoparticle matrix based fiber-optic sensor for monitoring heavy metal pollution in water. *Sensors Actuators B Chem.* 281, 643–651.
8. Ruan, S., Ebendorff-Heidepriem, H. and Ruan, Y. (2018). Optical fibre turn-on sensor for the detection of mercury based on immobilized fluorophore. *Measurement*, 121, 122–126.
9. Zhou, M., Guo, J. and Yang, C. Ratiometric fluorescence sensor for Fe<sup>3+</sup> ions detection based on quantum dot-doped hydrogel optical fiber. *Sensors Actuators B Chem.*, 264, 52–58.
10. Yulianti, I., Edy, S. S., Saputra, B. A.,

- Aji, M. P., Susanto, and Kurdi, O. (2017). Detection of Cadmium Ion by Evanescent Wave Based Chitosan Coated Optical Fiber Sensor. *J. Phys. Conf. Ser.*, 824, 012002.
11. Rosa, S., Laranjeira M. C. M., Riela, H. G. and Fávere, V. T. (2008). Cross-linked quaternary chitosan as an adsorbent for the removal of the reactive dye from aqueous solutions. *J. Hazard. Mater.*, 155 (1). 253–260.
12. Qiu, H.W., Xu, S.C., Jiang, S.Z., Li, Z., Chen, P.X., Gao, S.S., Zhang, C., Feng, D.J.H. (2015). A novel graphene-based tapered optical fiber sensor for glucose detection. *Appl. Surf. Sci.*, 329, 390–395.



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

## EFEK GELOMBANG TSUNAMI ACEH 2004 PADA GANGGUAN IONOSFER BERGERAK SKALA MENENGAH DARI PENGAMATAN JARINGAN GPS SUMATRA

Asnawi Husin\*, Buldan Muslim

Pusat Sains Antariksa LAPAN

\*E-mail korespondensi: [asnawi@lapan.go.id](mailto:asnawi@lapan.go.id)

### ABSTRACT

*Medium Scale Travelling Ionospheric Disturbance (MSTID), thought to be manifestation of atmospheric gravity wave (AGW) in the ionospheric altitude that propagates horizontally and effects on in the electron density structure of ionosphere. These atmospheric gravity waves sourced from lower atmospheric activities such as typhoons, volcanic eruptions and tsunamis. Wave energy by its coupling induction process can travel to the ionosphere region. It has been understood that the TID's wave structure have an impact on the propagation of radio waves in the ionosphere so that it will affect the performance of navigation satellite-based positioning measurements. Based on Aceh tsunami in December 2004, this study aimed to investigation of the induction of atmospheric gravity waves in the ionosphere using total electron content (TEC) data from the Sumatra GPS network (Sumatra GPS Array, SUGAR). The detection technique of TEC changes due to AGW induction with a filter to separate medium scale disturbance at the ionospheric pierce point at an altitude of 350 km (IPP, Ionospheric Pierce Point). The results show the horizontal wavelength of a medium-scale TID around  $180 \pm 12$  Km with a velocities of around  $376 \pm 9$  ms<sup>-1</sup>. Based on two-dimensional map, the TID moves to the southeast.*

**Keywords:** AGW, Ionosfer, MSTID, Tsunami, TEC

### ABSTRAK

*Gangguan ionosfer bergerak skala menengah (Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbances, MSTID) skala menengah adalah manifestasi gelombang gravitasi atmosfer (AGW, Atmospheric Gravity Wave) ditinggikan lapisan ionosfer yang bergerak mendatar sehingga menimbulkan gangguan pada kerapatan elektron di lapisan ionosfer. Gelombang gravitasi atmosfer tersebut berasal dari aktivitas atmosfer bawah seperti badai typhon, erupsi gunung berapi dan tsunami. Energi gelombang dengan proses induksi koplingnya dapat merambat hingga ke lapisan ionosfer. Telah dipahami kemunculan struktur gelombang TID berimbas pada propagasi gelombang radio di lapisan ionosfer sehingga akan mempengaruhi kinerja pengukuran posisi berbasis satelit navigasi. Kejadian tsunami Aceh pada Desember 2004 dijadikan kajian induksi gelombang gravitasi atmosfer di lapisan ionosfer menggunakan data kandungan elektron (TEC, Total Electron Content) dari jaringan GPS Sumatra (Sumatra GPS Array, SUGAR). Teknik deteksi perubahan TEC akibat induksi AGW dengan filter untuk memisahkan gangguan skala medium pada titik ionosfer di ketinggian 350 km (IPP, Ionospheric Pierce Point). Hasil menunjukkan panjang gelombang horizontal dari TID skala menengah sekitar  $180 \pm 12$  Km dengan kecepatan sekitar  $376 \pm 9$  ms<sup>-1</sup>. Dari hasil peta dua dimensi, TID bergerak ke arah tenggara.*

**Kata kunci:** AGW, Ionosfer, MSTID, Tsunami, TEC

Diterima 19-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

### PENDAHULUAN

Sebagian besar tsunami timbul akibat dari kejadian gempa dengan pusat gempa berada di dasar laut. Karakter gempa seperti ini adalah

subduksi lempeng tektonik yang menimbulkan getaran seismik. Getaran dan pergerakan keatas yang mendadak saat terjadi gempa menyebabkan gelombang sunami air laut [1]. Saat terjadi sunami, ayunan getaran

permukaan laut dapat membangkitkan gelombang gravitasi atmosfer (AGW)[2,3]. Mekanisme momentum AGW mencapai ketinggian ionosfer melalui kopling proses gelombang Rayleigh dan gelombang akustik yang menimbulkan tumbukan antara partikel netral dan partikel bermuatan sehingga memungkinkan perubahan pada distribusi ion dan elektron di lapisan ionosfer [1,4-8].

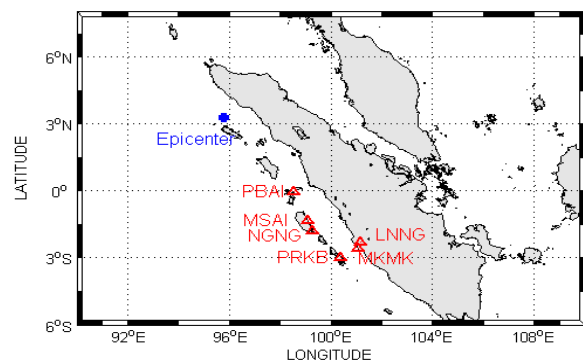
Bencana tsunami terjadi di Aceh pada 26 Desember 2004, yang merupakan bencana terbesar di Indonesia dengan skala gempa mencapai 9,1 hingga 9,3 SR, pusat gempa terletak dekat kepulauan Simeuleu pada pukul 00,59 UT atau sekitar pukul 07,59 waktu setempat. Gempa tersebut menimbulkan getaran dasar laut sekitar 20 hingga 25 Km dari pesisir pantai barat daya Sumatra. Efek gempa bumi pada ionosfer dari pengukuran kandungan elektron (TEC, *Total Electron Content*, dalam TEC Unit) juga telah banyak dilaporkan. Dalam studi ini, dilakukan investigasi karakteristik gangguan ionosfer bergerak skala menengah, MSTID, *Medium Scale Travelling Ionospheric Disturbance* yang muncul daerah sekitar pusat gempa tsunami Aceh. Jaringan GPS Sumatra (SUGAR, *Sumatra GPS Array*) menyediakan informasi terkait patahan Sumatra. SUGAR diasuh oleh lembaga ilmu pengetahuan Indonesia (LIPI) dan *California Institute of Technology* (Caltech) dan *Earth Observatory of Singapore* (EOS) dengan data akses di laman <http://sopac.ucsd.edu>. Selain digunakan untuk studi pergerakan lempeng tektonik, data SUGAR juga dapat digunakan untuk studi variasi TEC akibat kemunculan MSTID saat terjadi tsunami. Data satu hari saat terjadi tsunami yaitu 26 Desember 2004 digunakan pada saat gangguan geomagnet rendah.

## TINJAUAN PUSTAKA

Studi sebelumnya [2,9] telah mendemonstrasikan bahwa *Travelling Ionospheric Disturbance* (TID) adalah manifestasi dari interaksi antara ionosfer dan AGW. Berdasarkan energinya, ada tiga tipe

TID, yaitu tipe besar yaitu *Large Scale TID* (LSTD), tipe menengah, MSTID dan tipe kecil, *Small Scale TID*, SSTID. Pembahasan mengenai mekanisme terjadinya MSTID telah banyak dibahas, diantaranya terkait gelombang gravity atmosfer [10], terminator matahari [11] dan tsunami [12]. MSTID mempunyai skala horizontal sekitar 50 hingga 500 Km dengan periode 0.2 hingga 1 jam [13]. Berbagai jenis teknik pengamatan juga telah dilakukan terkait gangguan di ionosfer akibat tsunami dari gempa bumi, misalnya pengamatan dengan ionosonda [14], radar SuperDARN [15,16] dan juga dengan teknik foto airglow [1]. Teknik lain dalam studi gangguan ionosfer akibat gempa dan tsunami adalah dengan menggunakan jaringan penerima satelit navigasi (GNSS, *Global Navigation Satellite System*), seperti pada [17,12] menggunakan jaringan GNSS di Jepang (GEONET, *GPS Earth Observation Network*) dan menggunakan satu titik penerima GNSS [18].

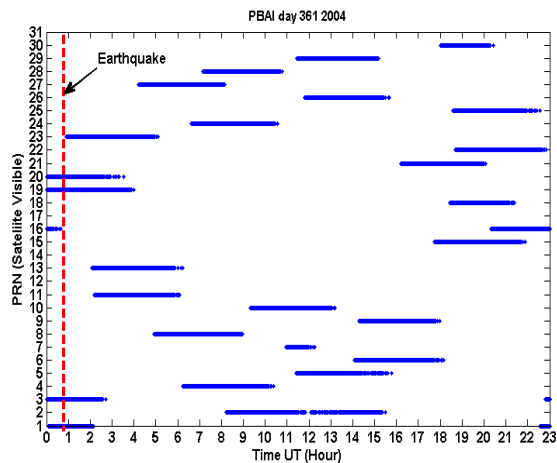
## METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Distribusi jaringan GPS SUGAR untuk studi MSTID saat tsunami Aceh 2004

Data GPS standart RINEX, (*Receiver Independent Exchange*) dari 6 stasiun titik pengamatan SUGAR, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, digunakan untuk studi variasi TEC yang diasosiasikan dengan kemunculan MSTID saat tsunami Aceh Desember 2004. Koordinat Geografi GPS SUGAR yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Seperti ditunjukkan pada Gambar 1, bahwa data yang digunakan sebagian besar berada pada sektor selatan terhadap pusat gempa, hal ini

disebabkan keterbatasan data yang tersedia. Untuk mendapatkan nilai TEC dari data RINEX digunakan software ilmiah yang dikembangkan oleh GOPI Krishna Samela [19].

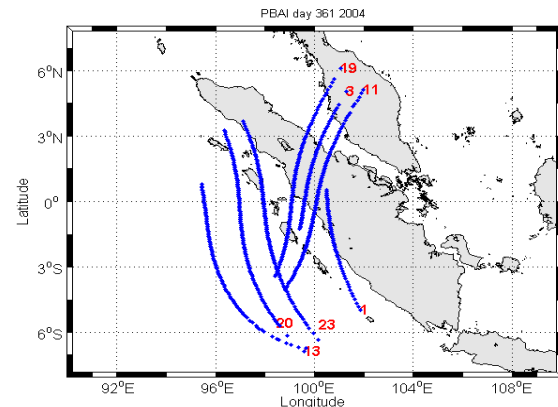


**Gambar 2.** Sinyal satelit GPS SUGAR dari stasiun PBAI, dari satelit nomer 1 (PRN 1) hingga satelit 32 (PRN 32) selama 24 jam pengamatan saat terjadi gempa (garis putus merah menunjukkan waktu terjadi gempa).

Sudah dipahami bahwa variasi jangka panjang aktivitas matahari berpengaruh pada variasi TEC yang mengacu pada variasi harian, variasi musim dan variasi siklus matahari yang dikenal sebagai variasi regular. Variasi regular ini memiliki frekuensi yang rendah. Sedangkan gangguan pada frekuensi tinggi pada variasi TEC dengan kejadian pada skala waktu yang pendek, umumnya diakibatkan oleh badai geomagnet dan gangguan ionosfer akibat dinamika kopling dari atmosfer bawah (periode 2 menit hingga 2 hari) [20].

**Tabel 2.** Geografi puncak maksimum dTEC dari seluruh stasiun GPS SUGAR dan hasil perhitungan panjang gelombang dan kecepatan MSTID yang terdeteksi

Kode Stasiun	Maksimum dTEC(1)		Maksimum dTEC(2)		Panjang gelombang $\lambda$ (Km)	Kecepatan $v$ (m/s)
	Lintang geografi ( $^{\circ}$ )	Bujur geografi ( $^{\circ}$ )	Lintan geografi ( $^{\circ}$ )	Bujur geografi ( $^{\circ}$ )		
PBAI	0.08	97.31	0.34	97.7	161.83 $\pm$ 4	79.33 $\pm$ 2
MSAI	0.30	98.24	0.35	98.44	160.78 $\pm$ 1	58.25 $\pm$ 1
NGNG	0.20	98.39	0.27	98.62	184.24 $\pm$ 1	59.05 $\pm$ 1
PRKB	0.25	99.4	0.27	99.66	190.19 $\pm$ 2	60.96 $\pm$ 2
LNNG	0.26	100.14	0.26	100.39	198.78 $\pm$ 4	59.16 $\pm$ 1
MKMK	0.28	100.08	0.24	100.32	192.34 $\pm$ 2	59.28 $\pm$ 2

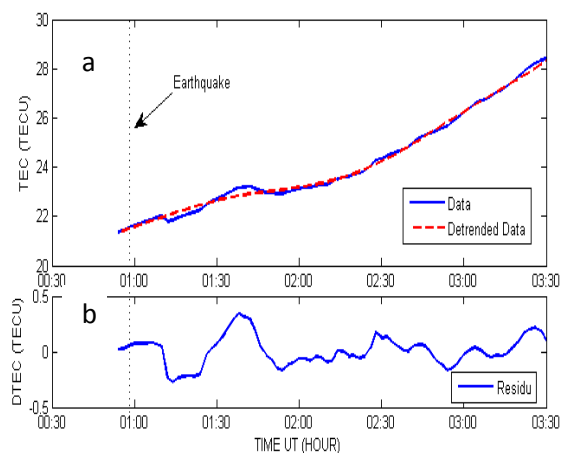


**Gambar 3.** Lintasan satelit saat terjadi gempa dan enam jam setelahnya yang terekam dari stasiun PBAI yaitu PRN1, PRN3, PRN11, PRN13, PRN19, PRN20 dan PRN 23.

MSTID yang merupakan manifestasi AGW di ketinggian ionosfer akan menyebabkan fluktuasi dengan frekuensi tinggi pada variasi pengukuran TEC dengan periode waktu 0.2 hingga 1 jam. Berdasarkan ciri ini, maka metode untuk mendeteksi kejadian MSTID adalah dengan identifikasi fluktuasi atau gangguan variasi frekuensi tinggi pada nilai TEC. Pada dasarnya identifikasi ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, seperti yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sebagai contoh dengan teknik menghitung perubahan TEC pada skala waktu tertentu atau ROT (*Rate of TEC*) [21], filter lolos antara [12], dan filter lolos atas [22]. Untuk menghilangkan variasi jangka panjang pada variasi TEC, maka digunakan fungsi Matlab filtfilt [23] filter lolos atas dengan frekuensi pemotongnya sekitar 0.278 mHz yang senilai dengan periode sekitar 1 jam.

Untuk menghindari efek sudut datang dan multipath, maka sudut elavasi dari sinyal satelit dipilih diatas 20° dan data hanya dipilih saat terjadi gempa yaitu mulai pukul 00,59 hingga enam jam kedepan. Pada Gambar 2, ditunjukkan contoh data dari stasiun PBAI pada 26 Desember 2004, saat terjadi gempa. Gambar tersebut menunjukkan ada sekitar 28 (PRN, *Pseudo Random Noise*), setelit GPS yang melintas dalam satu hari pengamatan yakni dari pukul 00,00 hingga pukul 23,00 waktu universal UT. Garis merah putus menandakan saat mulai terjadi gempa. Dapat dilihat juga bahwa beberapa satelit melintas saat mulai terjadi gempa hingga enam jam berikutnya adalah satelit PRN1, PRN3, PRN11, PRN13, PRN19, PRN20 dan PRN23. Jalur lintasan dari satelit pada periode waktu tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

Pada Gambar 4a, menunjukkan contoh proses filter data asli (garis biru) dari sinyal satelit GPS nomor 23 (PRN23), dengan filter lolos atas data TEC runtun waktu dari pukul 00,30 hingga 03,30 UT, (*Universal Time*), yaitu sekitar pukul 07,30 hingga pukul 10,30 WIB. Pada Gambar 4b adalah hasil filter, delta TEC, (dTEC) yang menunjukkan terbentuk gelombang yang terjadi sesaat setelah gempa (garis putus vertikal), yang mengindikasikan sebagai gelombang MSTID.



**Gambar 4.** (a) Menunjukkan data asli TEC (garis biru) sinyal satelit PRN23 di PBAI dengan proses detrend filter lolos atas (garis putus merah). Garis hitam putus adalah saat gempa terjadi sekitar pukul 01,00. (b) adalah

hasil filter, memperlihatkan ripple gelombang MSTID.

Dengan mengabaikan gerak relatif satelit GPS melintas terhadap bumi, yang dapat menyebabkan efek Doppler, maka panjang gelombang MSTID diperoleh dengan pendekatan yaitu dengan cara menentukan jarak antara puncak ke puncak gelombang maksimum yang terbentuk yaitu dengan menggunakan formula Haversine [24].

$$\text{Range} = 2 \cdot R \cdot \text{arc Sin}(\sqrt{h}) \quad (1)$$

$$h = \text{Sin}^2\left(\frac{\text{Lat}1 - \text{Lat}2}{2}\right)$$

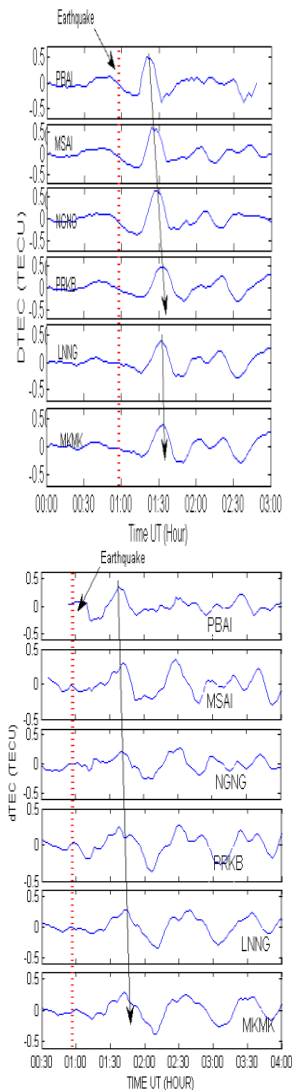
$$+ \text{Cos}(\text{Lat}1) \cdot \text{Cos}(\text{Lat}2) \cdot \text{Sin}^2\left(\frac{\text{Lon}1 - \text{Lon}2}{2}\right) \quad (2)$$

dengan: Lat1 adalah lintang geografi titik maksimum dTEC 1, Lat2 adalah lintang geografi titik maksimum dTEC 2, Lon1 adalah bujur geografi titik maksimum dTEC 1 dan Lon2 adalah bujur geografi titik maksimum dTEC 2 serta R adalah jejari bumi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pada Gambar 4(b) menunjukkan adanya gangguan pada TEC sesaat setelah gempa yang berbentuk gelombang. Data TEC tersebut adalah hasil proses filter lolos atas dengan batas 0,28 mHz yang setara dengan periode satu jam yaitu periode dari MSTID. Berdasarkan Gambar 1, stasiun PBAI terletak berdekatan dengan pusat gempa, diikuti oleh stasiun MSAI, NGNG, PRKB, LNNG dan MKMK. Gambar 5 adalah hasil filter data TEC (dTEC) dari PRN 20 dan PRN 23 dilihat dari enam stasiun SUGAR. Dari gambar tersebut dapat dilihat gelombang terbentuk sekitar 15 menit setelah gempa yang teramati di stasiun PBAI dan diikuti gelombang yang sama teramati di stasiun MSAI namun beberapa saat setelah pembentukan di PBAI. Selanjutnya juga teramati di NGNG, PRKB, LNNG dan di MKMK. Energi dari gelombang juga melemah ketika menjauh dari pusat gempa seperti ditunjukkan pada gambar tersebut. Dari Gambar 5 tersebut, gelombang yang diasosiasikan sebagai MSTID bergerak

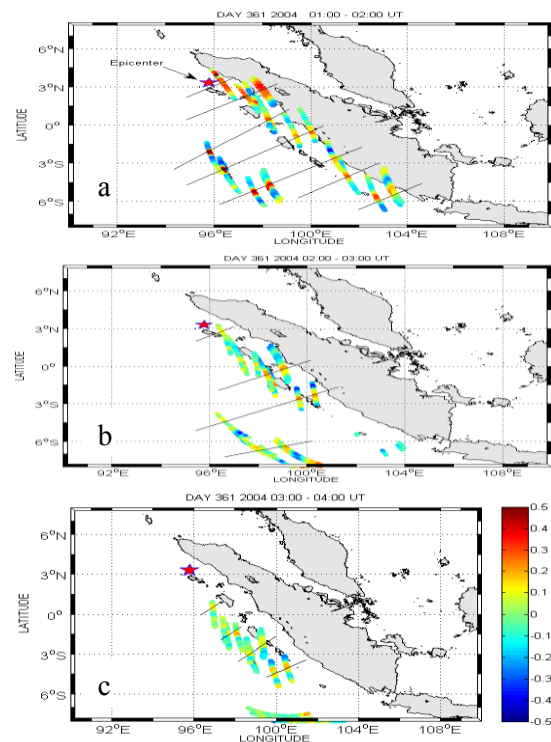
dari PBAI menuju ke MKMK dengan indikasi amplitudo gelombang terus melemah.



**Gambar 5.** (a) Variasi waktu perubahan TEC dTEC PRN20 (a) dan PRN23 (b) hari ke 361/26 Desember 2004 sesaat setelah gempa yang mengindikasikan gelombang bergerak dari PBAI menuju ke MKMK. Garis merah putus adalah saat gempa terjadi.

Untuk melihat arah pergerakan gelombang, maka dTEC yang merepresentasikan gangguan MSTID dari semua satelit yang melintas sesaat setelah gempa terjadi hingga enam jam berikutnya, dilakukan pemetaan dua dimensi yang berbasis pada titik ionosfer. Proses tersebut dilakukan secara simultan dari keenam titik pengamatan SUGAR. Seperti ditunjukkan pada Gambar 6, gangguan ionosfer dTEC untuk variasi spasial dan variasi waktu

diimplementasikan kedalam tiga interval waktu yaitu a) pukul 01,00-02,00, b)02,00-03,00 dan c)03,00-04,00.



**Gambar 6.** (a) Peta dua dimensi gangguan TEC (dTEC) dalam tiga interval waktu. a) pukul 01,00-02,00, b)02,00-03,00 dan c)03,00-04,00. Mengindikasikan MSTID bergerak kearah tenggara.

Dari hasil peta dua dimensi tersebut, MSTID bergerak kearah tenggara. Pergerakan gelombang diindikasikan dengan melihat maksimum dan minimum dTEC, dipandu dengan garis lurus hitam pada peta yang merupakan puncak-puncak gelombang. Pada peta tersebut titik pusat gempa ditandai dengan tanda bintang, sehingga seperti yang didapat dilihat pada Gambar 6 (a) bahwa pada sekitar pukul 01,00 hingga 02,00 maksimum dTEC pertama kali terbentuk didekat pusat gempa dan berikutnya pada jam 02,00-03,00 kadar nilai maksimum dTEC mulai berkurang dan terus berkurang pada jam berikutnya yaitu pukul 03.00-04,00 yang mengindikasikan energi gelombang terus berkurang ketika menjauh dari pusat gempa.

Dari hasil peta dua dimensi tersebut, MSTID bergerak ke arah tenggara. Pergerakan gelombang diindikasikan dengan melihat maksimum dan minimum dTEC, dipandu dengan garis lurus hitam pada peta yang merupakan puncak-puncak gelombang. Pada peta tersebut titik pusat gempa ditandai dengan tanda bintang, sehingga seperti yang didapat dilihat pada Gambar 6 (a) bahwa pada sekitar pukul 01,00 hingga 02,00 maksimum dTEC pertama kali terbentuk didekat pusat gempa dan berikutnya pada jam 02,00-03,00 kadar nilai maksimum dTEC mulai berkurang dan terus berkurang pada jam berikutnya yaitu pukul 03.00-04,00 yang mengindikasikan energi gelombang terus berkurang ketika menjauh dari pusat gempa.

Dalam kasus studi ini, gangguan pada variasi TEC yang diasosiasikan sebagai MSTID direpresentasikan pada model ionosfer sebagai lapisan tunggal (*single layer model*) [25]. Dengan demikian bahwa untuk menghitung kecepatan MSTID tersebut maka pemodelan yang dilakukan harus proporsional dengan ketinggian ionosfer sebenarnya yaitu ditinggikan sekitar 350 km [18]. Tabel 2 adalah panjang gelombang MSTID pada skala mendatar dan kecepatan MSTID dari seluruh penerima GPS yang dihitung berdasarkan persamaan 1 yaitu dengan mengambil jeda waktu antara maksimal dTEC. Maka berdasarkan Tabel 2 kecepatan skalar dari MSTID adalah sekitar  $156.4 \pm 4 \text{ ms}^{-1}$ .

Dengan menganggap bahwa gelombang merambat pada arah yang seragam, Sedangkan vektor resultan dari kecepatan MSTID adalah  $376 \pm 9 \text{ ms}^{-1}$ . Hasil ini terkonfirmasi laporan sebelumnya dengan menggunakan jaringan GNSS [18].

## KESIMPULAN

Deteksi dan analisis MSTID dari variasi perubahan TEC saat terjadi tsunami Aceh 2004 telah dilakukan dengan menggunakan jaringan GPS Sumatra SUGAR pada saat aktivitas geomagnet pada kondisi rendah. Data sinyal satelit dari enam stasiun SUGAR

terdeteksi adanya gangguan pada variasi TEC yang diindikasikan sebagai gelombang MSTID terbentuk sekitar 15 menit setelah gempa kuat pertama. Dari analisis dua maksimum puncak gangguan TEC (dTEC) diperoleh karakteristik MSTID yaitu panjang gelombang sekitar  $180 \pm 12 \text{ Km}$  dan kecepatan sekitar  $376 \pm 9 \text{ ms}^{-1}$ . Dari peta dua dimensi diperoleh gerak gelombang MSTID yang mengarah ke arah Tenggara

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada RISTEKDIKTI yang telah mendukung riset INSINAS Flagship LAPAN tahun 2018 "PENGEMBANGAN SISTEM PERINGATAN DINI GEMPA BUMI DAN TSUNAMI BERBASIS DATA GNSS REAL TIME" riset insentif pratama dan PUI RISTEKDIKTIB. Juga terimakasih kepada LIPI yang telah menyediakan data RINEX SUGAR serta Gopi Semela untuk software GPSTEC

## REFERENSI

1. Makela, J. J., Lognonné, P., Hébert, H., Gehrels, G. & Lisa Rolland. (2011). Imaging and modeling the ionospheric airglow response over Hawaii to the tsunami generated by the Tohoku earthquake of 11 March 2011. *Geophys. Res. Lett.*, 38 (24), pp.L00G02.
2. Hines, C. O. (1960). Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights. *Can. J. Phys.*, 38(11), 1441–1481.
3. Peltier, W. R. & Hines, C. O. (1976). On the possible detection of tsunamis by a monitoring of the ionosphere. *J. Geophys. Res.*, 81(12), 1995–2000.
4. Davies, K. & Baker, D. M (1964), Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *J. Geophys. Res.*, 70, 2251 – 2253.
5. Kelley, M. C., Livingston, R, & McCready, M. (1985). Large amplitude thermospheric oscillations induced by an earthquake, *Geophys. Res.Lett.*, 12, 577–580, doi:10.1029/GL012i009p00577.
6. Calais, E. & Minster, J. B.(1994). GPS detection of ionospheric perturbations



- following the January 17, 1994, Northridge earthquake. *Geophys. Res. Lett.*, 22, 1045–1048, doi:10.1029/95GL00168.
7. Occhipinti, G. E., Kherani, A. & Lognonné, P. (2008). Geomagnetic dependence of ionospheric disturbances induced by tsunamigenic internal gravity waves, *Geophys. J. Int.*, 173, 753–765, doi:10.1111/j.1365-246X.2008.03760.x.
  8. Hickey, M. P., G. Schubert, G. & Walterscheid, R.L (2009), Propagation of tsunami-driven gravity waves into the thermosphere and ionosphere, *J. Geophys. Res.*, 114, A08304, doi:10.1029/2009JA014105.
  9. Hooke, W. H. (1968). Ionospheric irregularities produced by internal atmospheric gravity waves,," *J. Atmos. Terr. Phys.*, 30, 795–823. doi:10.1029/2007JA012946.
  10. Kelder, H. & Spoelstra, T. A. (1987). Medium scale TIDs observed by radio interferometry and differential Doppler techniques, *J. Atmos. Terr. Phys.*, 49, 7–17.
  11. Somsikov, V. M. (1995). On mechanisms for the formation of atmospheric irregularities in the solar terminator region. *J. Atmos. Terr. Phys.*, 57(1).75 – 83.
  12. Galvan, D. A., Komjathy, A., Hickey, M., Stephens, P., Snively, J. B., Song, T., Butala, M., & A. J. Mannucci, A.J. (2012). Ionospheric signatures of Tohoku-Oki tsunami of March 11, 2011: Model comparisons near the epicenter, *Radio Sci.*, 47, RS4003, doi:10.1029/2012RS005023.
  13. Hocke, K. & Schlegel, K. (1996). A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995, *Ann. Geophys.*, 14, 917–940, doi:10.1007/s00585-996-0917-6,
  14. Maruyama, T., Tsugawa, T., Kato H, A. Saito, A., Otsuka, Y., & M. Nishioka, M. (2011). Ionospheric multiple stratifications and irregularities induced by the 2011 Tohoku earthquake. *Earth Planets Space*, 63(7), 863–873, doi:10.5047/eps.2011.06.008.
  15. Nishitani N., Ogawa T., Otsuka Y., Hosokawa K. & Hori T. (2011). Propagation of large amplitude ionospheric disturbances with velocity dispersion observed by the SuperDARN Hokkaido radar after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, *Earth, Planets, and Space*, 63, p.891-896.
  16. Ogawa T., Nishitani N., Tsugawa T., and Shiokawa K. (2012). Giant ionospheric disturbances observed with the SuperDARN Hokkaido HF radar and GPS network after the 2011 Tohoku earthquake, *Earth, Planets, and Space*, 64, pp.1295-1307.
  17. Saito, A., Fukao, S & Miyazaki, S. (1998). High resolution mapping of TEC perturbations with the GSI GPS network over Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 3079–3082.
  18. Savastano, G., Komjathy, A., Verkhoglyadova, O., Mazzoni, A., Crespi, M., Wei., Mannucci, A.J. (2017). Real-Time Detection of Tsunami Ionospheric Disturbances with a Stand-Alone GNSS Receiver: A Preliminary Feasibility Demonstration, *Sci. Rep.* 7, 46607; doi: 10.1038/srep46607. 2017.
  19. Rama Rao, P. V. S., Gopi Krishna, S., Niranjana, K & Prasad, D. (2006). Temporal and spatial variations in TEC using simultaneous measurements from Indian GPS network of receivers during low solar activity period of 2004–05. *Ann. Geophys.*, 24, 3279–3292, doi:10.5194/angeo24-3279.
  20. Yiugit, E., & Medvedev, A.S. (2015). Internal wave coupling processes in Earth's atmosphere. *Advances in Space Res.* 55, 983-1003 doi:10.1016/j.asr.2014.11.020
  21. Warnant, R. & Pottiaux, E. (2000). The increase of the ionospheric activity as measured by GPS, *Earth Planets Space*, 52, 1055–1060.
  22. Husin, A., Abdullah, M., & Momani, M.A. (2011). Observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Peninsular Malaysia based on IPP trajectories," *Radio Sci.*, 46, RS2018, doi:10.1029/2010RS004408.
  23. Trauth, M. H. (2006). *MATLAB®Recipes for Earth Sciences*, Springer, New York.
  24. Song, H. Y., & Jun, S. L. (2015). Detecting Positioning Errors and Estimating Correct Positions by Moving Window." *PLoS ONE* 10.12. pp: e0143618.

25. De Agostino, M., & Piras, M. (2011). Earthquake forecasting: A possible solution considering the GPS ionospheric delay. *Natural Hazards and Earth System*

*Science*, 11(12), 3263–3273.  
<https://doi.org/10.5194/nhess-11-3263-2011>



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

## KAJIAN APLIKASI PANTULAN SINYAL GNSS UNTUK PEMANTAUAN KETINGGIAN PERMUKAAN AIR LAUT

Buldan Muslim<sup>1,\*</sup>, Charisma Juni Kumalasari<sup>2</sup>, Novie Chiuman<sup>3</sup>, Muhammad Ichsan Fadhil Arafah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Pusat Sains Antariksa, LAPAN

Jl Dr. Junjuran 133 Bandung 40173

<sup>2</sup>Program Studi Matematika S2, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

<sup>3</sup>Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada

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

### ABSTRACT

*Design and experiment of ocean current power generation system have been carried out using the Back In Indonesia, the tsunami early warning system only applies the earthquake and hydrosphere relationship model to predict tsunamis. To date, no tsunami detector has used radar or GNSS technology. GNSS technology can be applied as an early warning system for tsunamis, provided that tsunamis are caused by earthquakes greater than 7 magnitudes, occur 70 kilometers below sea level, and are caused by normal faults. This could be an alternative to Bouy GNSS which is expensive to install and maintain, especially for countries with vast oceans such as Indonesia. In this paper, a review of the application of GNSS signal reflection was carried out using one International GNSS Service (IGS) station, JOG2, and one Continuously Operating Reference Station (CORS), CLSA, each located in Java and Sumatra to investigate the availability of sea level monitoring in Indonesia. Determination of sea level is obtained from two methods, the GNSS signal phase data analysis method and the GNSS Signal-to-Noise Ratio (SNR) data analysis method. Both methods use reflected GNSS signals or multipath effects to obtain sea level. The results of the study show that the number of satellites that pass through Indonesia every 15 minutes is enough to get sea-level data every 15 minutes to one hour. This shows that it is possible to apply the multipath effect to obtain sea level information in Indonesia to detect tides and tsunamis as part of the tsunami early warning system in Indonesia.*

**Keywords:** GNSS, Signal, Reflection, Sea surface, Tsunami

### ABSTRAK

*Di Indonesia, sistem peringatan dini tsunami hanya menerapkan model hubungan gempa bumi dan hidrosfer untuk memprediksi tsunami. Hingga saat ini, tidak ada detektor tsunami yang menggunakan teknologi radar atau GNSS. Teknologi GNSS dapat diterapkan sebagai sistem peringatan dini untuk tsunami, dengan ketentuan bahwa tsunami disebabkan oleh gempa bumi lebih besar dari 7 SR, terjadi 70 kilometer di bawah permukaan laut, dan disebabkan oleh patahan normal. Ini bisa menjadi alternatif untuk Bouy GNSS yang mahal untuk menginstal dan memelihara, terutama untuk negara dengan lautan yang sangat luas seperti Indonesia. Dalam makalah ini, kajian aplikasi pantulan sinyal GNSS dilakukan menggunakan satu stasiun International GNSS Service (IGS), JOG2, dan satu Continuously Operating Reference Station (CORS), CLSA, yang masing-masing berlokasi di Jawa dan Sumatra untuk menyelidiki ketersediaan monitoring ketinggian permukaan laut di Indonesia. Penentuan ketinggian permukaan laut diperoleh dari dua metode, metode analisis data fase sinyal GNSS dan metode analisis data Signal-to-Noise Ratio (SNR) GNSS. Kedua metode menggunakan sinyal GNSS yang dipantulkan atau efek multipath untuk mendapatkan ketinggian permukaan laut. Hasil dari kajian menunjukkan bahwa jumlah satelit yang melewati Indonesia setiap 15 menit sudah cukup untuk mendapatkan data ketinggian permukaan laut untuk setiap 15 menit hingga satu jam. Ini menunjukkan bahwa adalah mungkin untuk menerapkan efek multipath untuk mendapatkan informasi ketinggian permukaan laut di Indonesia untuk mendeteksi pasang surut dan tsunami sebagai bagian dari sistem peringatan dini tsunami di Indonesia.*

**Kata kunci:** GNSS, Sinyal, Pantulan, Permukaan laut, Tsunami

Diterima 30-08-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

## PENDAHULUAN

Pemantauan permukaan laut adalah metode penting yang diperlukan untuk memahami aspek-aspek seperti hidrodinamika lokal, aktivitas gelombang pasang dll. Pemantauan permukaan laut juga bisa diterapkan untuk pemantauan cuaca. Konsekuensi dari cuaca ekstrem, seperti topan dapat menyebabkan kerusakan besar pada daerah-daerah terutama wilayah pesisir. Lebih besar lagi kerusakan wilayah pesisir yang disebabkan oleh tsunami. Oleh karena itu BMKG telah membangun dan mengoperasikan sistem peringatan dini tsunami setelah gempa dan tsunami Aceh 26 Desember 2004[1].

Di Indonesia, sistem peringatan dini tsunami hanya terbatas pada penerapan model tektonik untuk mendeteksi tsunami. Hingga saat ini, tidak ada detektor tsunami di Indonesia yang menggunakan teknologi GNSS. Teknologi GNSS dapat diterapkan sebagai bagian atau pendukung sistem peringatan dini tsunami, dengan ketentuan bahwa tsunami disebabkan oleh gempa bumi lebih besar dari 7 SR, terjadi 70 kilometer di bawah permukaan laut, dan disebabkan oleh patahan normal [2]. Ini bisa menjadi alternatif untuk buoy GPS yang mahal dalam instalasi dan pemeliharannya, terutama untuk negara-negara besar seperti Indonesia yang lautannya sangat luas dan mendominasi wilayah Indonesia.

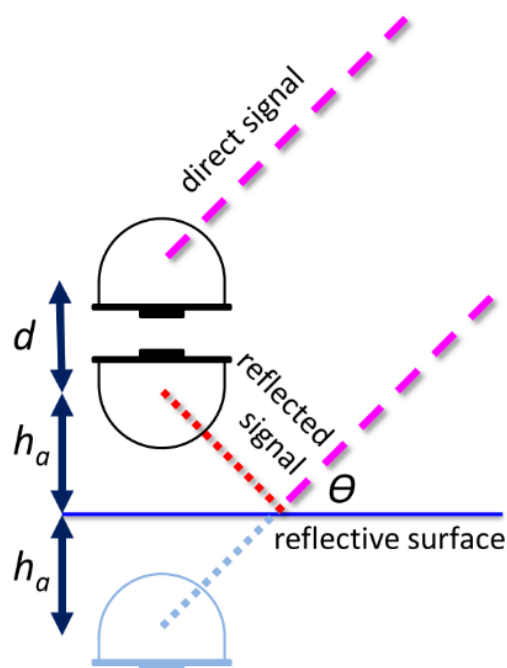
Penelitian ini memperkenalkan dua metode untuk memantau perubahan permukaan laut, yaitu analisis data fase-tunda dan analisis data Signal-to-Noise Ratio (SNR)[3]. Pengamatan satelit GNSS bisa menjadi alternatif untuk melengkapi data yang diperoleh dari satelit altimetri dan dari pengukur pasang surut yang dipasang di daerah pesisir [4]. Permukaan laut absolut juga dapat diukur sehubungan dengan Kerangka Referensi Terestrial Internasional (ITRF) [5].

Makalah ini memberikan pandangan singkat tentang penerapan efek multipath pada deteksi pasang surut dan tsunami dari

pengukuran ketinggian permukaan air laut. Simulasi dilakukan menggunakan satu stasiun IGS, JOG2, dan satu Stasiun Referensi Operasi Berkelanjutan (CORS), CLSA, yang masing-masing berlokasi di Jawa dan Sumatra untuk menyelidiki ketersediaan bacaan permukaan laut di Indonesia. Tujuan dari simulasi ini adalah untuk menyelidiki apakah teknologi GNSS cocok untuk deteksi gelombang dan tsunami di Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Ketinggian permukaan laut absolut berdasarkan ITRF dapat diperoleh dengan menggunakan dua penerima, penerima RHCP menghadap ke atas (puncak) dan LHCP menghadap permukaan laut (nadir) [6]. Penerima RHCP menerima sinyal yang datang langsung dari satelit GNSS, yang kemudian digunakan untuk memperkirakan posisi absolut antena [7]. Di sisi lain, penerima LHCP menerima sinyal yang dipantulkan oleh permukaan laut [8].



**Gambar 1.** Susunan antena penerima sinyal langsung sebagai stasiun referensi (paling atas), sinyal pantulan (di bawahnya) dari satelit GNSS dan antena rover bayangan (di bawah permukaan laut).

Pertama, garis dasar antara antena RHCP dan antena LHCP harus ditentukan untuk mendapatkan perubahan permukaan laut. Susunan antena penerima sinyal langsung dan sinyal pantulan dijelaskan pada Gambar 1.

Gambar 1 menjelaskan bahwa saat antena nadir menerima sinyal pantulan dari permukaan laut, maka dapat dibayangkan menerima sinyal langsung di bawah permukaan laut dengan sudut elevasi  $\Theta$  sehingga pengamatan sinyal pantulan dianggap sebagai data penerimaan rover dan sinyal langsung dianggap sebagai data stasiun referensi. Oleh karena itu penyelesaian posisi antena rover dapat dilakukan dengan metode differensial biasa dalam penentuan posisi relatif. Huruf d pada Gambar 1 tersebut adalah jarak sebenarnya antara antena penerima sinyal langsung dan antena penerima sinyal pantulan, ha adalah ketinggian permukaan laut yang sama dengan ketinggian permukaan air laut dari receiver rover bayangan di bawah permukaan laut.

Jika ketinggian permukaan air laut berubah maka ha akan berubah. Maka ketinggian permukaan laut secara langsung berhubungan dengan jarak garis dasar antara antena referensi dan rover yang secara geometri memiliki hubungan

$$\Delta v = 2h_a + d$$

dimana:

- $\Delta v$  adalah garis dasar antara antena RHCP dan antena LHCP
- $h_a$  adalah jarak antara antena LHCP dan permukaan laut
- $d$  adalah jarak antara pusat fase antena RHCP dan antena LHCP

Dengan antena RHCP dan LHCP memungkinkan pengguna untuk mendapatkan perubahan ketinggian permukaan tanah dan ketinggian permukaan laut dalam referensi ITRF.

### Penentuan posisi antena rover bayangan menggunakan data fase

Salah satu cara untuk memperkirakan posisi rover bayangan adalah dengan menggunakan metode differensial. Persamaan pengamatan GNSS untuk dua penerima yang berbeda, A (referensi) dan B (rover), dinyatakan sebagai berikut:

$$L_A^j = \rho_A^j + c(\tau_A - \tau^j) + Z_A^j - I_A^j + B_A^j + \epsilon \quad (1)$$

$$L_B^j = \rho_B^j + c(\tau_B - \tau^j) + Z_B^j - I_B^j + B_B^j + \epsilon \quad (2)$$

Di mana:

- $L_n^j$  : data jarak fase yang teramati ( $\lambda \Phi_n^j$ )
- $B_n^j$  : ambiguitas faser ( $\lambda N_n^j$ ) in meters
- $\rho_n^j$  : jarak geometri satelit ke receiver
- $c$  : Kecepatan cahaya
- $\tau_n$  : bias jam receiver
- $\tau^j$  : bias jam satelit
- $Z_n^j$  : bias troposfer
- $I_n^j$  : bias ionosfer
- $\epsilon$  : multipath dan noise

Perbedaan antara dua pengamatan sinyal langsung (A) dan terpantul (B) dituliskan dalam persamaan:

$$\Delta L_{AB}^j = \Delta \rho_{AB}^j + c \Delta \tau_{AB} + \Delta B_{AB}^j \quad (3)$$

### Yang disebut dengan perbedaan tunggal

Jarak antara dua penerima tersebut atau garis dasar ditulis sebagai

$$\Delta \rho_{AB}^j = \Delta e \sin(\alpha^j) \cos(\theta^j) + \Delta n \cos(\alpha^j) \cos(\theta^j) + \Delta v \sin(\theta^j) \quad (4)$$

dimana:

$\Delta e, \Delta n, \Delta v$  : komponen timur, utara dan vertikal dari garis dasar

$\alpha$  : azimuth satelit

$\theta$  : sudut elevasi

Bias jam receiver dapat dieliminir dengan perbedaan dari persamaan perbedaan tunggal pada dua epok yang berbeda dalam bentuk

$$\nabla \Delta L_{AB}^{jk} = \nabla \Delta \rho_{AB}^{jk} + \nabla \Delta B_{AB}^{jk} \quad (5)$$

### Yang disebut perbedaan ganda

Ambiguitas fase dapat diselesaikan dengan menggunakan metode resolusi ambiguitas integer seperti Least-squares Ambiguity Adjust Decorelation Adjustment (LAMBDA).

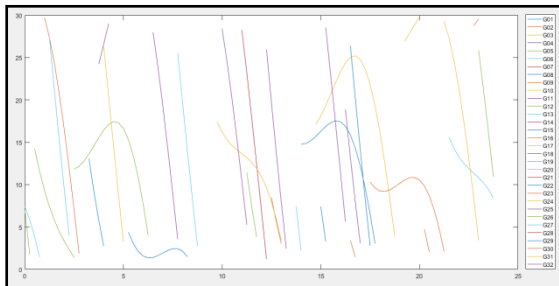
Dengan diperolehnya garis dasar atau jarak antara receiver penerima sinyal langsung (A) dan penerima sinyal pantul atau receiver rover bayangan (B') maka ketinggian permukaan laut dapat dihitung dari posisi antena penerima sinyal pantul di B adalah

$$h_a = \frac{\Delta v - d}{2} \quad (6)$$

Sebelum metode pantulan sinyal GNSS untuk penentuan ketinggian permukaan air laut diterapkan yang bisa dimanfaatkan untuk monitoring gelombang laut dan tsunami, perlu dikaji kelayakannya dalam hal ketersediaan data yang mungkin dipantulkan oleh permukaan laut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

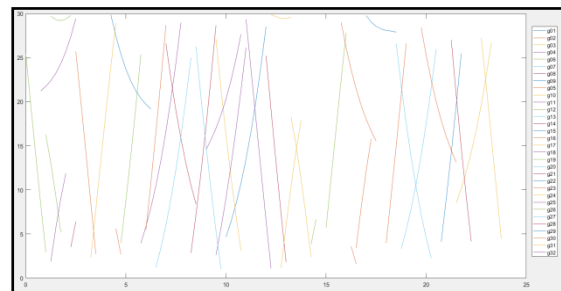
Simulasi dilakukan menggunakan satu stasiun IGS, JOG2, dan satu Stasiun Referensi Operasi Berkelanjutan (CORS), CLSA, yang masing-masing berlokasi di Jawa dan Sumatra untuk menyelidiki ketersediaan data ketinggian permukaan laut di dari dua stasiun tersebut.



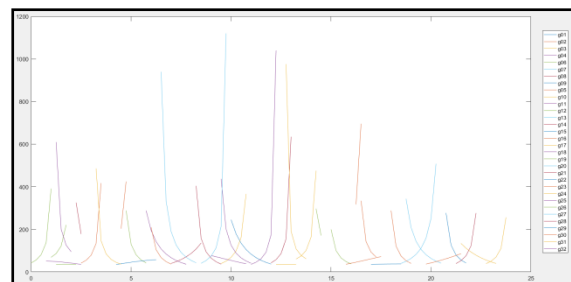
**Gambar 2.** Sudut elevasi (sumbu y sebelah kiri) satelit GPS dengan nomor seperti ditunjukkan pada sumbu y sebelah kanan, yang terlihat dari alat penerima di Yogyakarta selama 24 jam.

Data yang digunakan untuk simulasi ini adalah koordinat dari kedua stasiun dan ephemeris yang presisi dari satelit GPS. Simulasi dilakukan dengan beberapa ketentuan, seperti azimuth dan sudut ketinggian satelit, dan ketinggian stasiun. Untuk JOG2, hanya azimuth mulai dari 120 °

hingga 240 ° yaitu dengan asumsi arah gelombang laut dari selatan, dan sudut elevasi mulai dari 1° dan 30°. Untuk CLSA digunakan data sinyal GPS dari arah azimuth 30 ° hingga 150 ° yang digunakan dan sudut elevasi 1° sampai 30°. Ini untuk memastikan bahwa sinyal yang diterima adalah sinyal yang dipantulkan oleh permukaan laut. Untuk kedua stasiun, ketinggiannya ditetapkan 20 meter dari permukaan laut. Asumsi perhitungan titik pantul oleh permukaan laut adalah permukaan laut yang datar sepanjang jarak titik pantul di permukaan laut dan penerima GNSS di pantai.



**Gambar 3.** Sama dengan Gambar 1 kecuali dilihat dengan alat penerima di daerah Sumatra dengan kode stasiun CLSA.



**Gambar 4.** Jarak titik pantul dari pantai jika sudut elevasi digunakan untuk batas tertinggi sinyal yang dipantulkan oleh permukaan air laut.

Dari Gambar 2 diketahui bahwa satelit - satelit GPS dapat diamati dengan elevasi kurang dari 30 derajat hampir setiap jam kecuali pukul 9 dan 22 UT. Maka dari itu agar pengamatan sinyal pantulan dinaikkan sudut elevasinya lebih dari 30 derajat untuk dapat digunakan sebagai pengamatan ketinggian permukaan air laut setiap waktu selama 24 jam dalam sehari.

Dari Gambar 3 ditunjukkan bahwa dengan elevasi kurang dari 30 derajat, satelit GPS dapat diamati selama 24 jam kecuali pada pukul sekitar 14:30-15:00.

Gambar 4 menjelaskan jarak titik pantul yang mungkin dapat memantulkan sinyal GNSS dan diterima di receiver pada ketinggian sekitar 20 meter dari permukaan air laut. Diketahui dari gambar tersebut bahwa jarak terjauh sekitar 1.150 meter dari alat penerima di pantai.

Berdasarkan persamaan kecepatan tsunami yang nilainya sama dengan akar dari percepatan gravitasi dan kedalaman air laut [9], pada 1000 meter tsunami berkecepatan 75,2 m/s untuk pantai yang kedalamannya 30 derajat dengan anggapan tsunami berkecepatan konstan akan mencapai pantai selama 13 detik sehingga untuk peringatan dini tsunami waktu tersebut belum cukup bagi masyarakat untuk melakukan persiapan menghindari tsunami. Agar dapat digunakan untuk peringatan dini tsunami ketinggian antenna pemantul sinyal GNSS minimal 60 m masyarakat mempunyai waktu 39 detik untuk menghindari tsunami.

Disamping untuk pemantauan tsunami metoda pemantauan GNSS dapat digunakan juga untuk pasang surut laut dalam jangka panjang dan resolusi waktu yang tinggi yang tidak mungkin dicapai oleh alat pemantauan pasut tradisional seperti yang dijelaskan oleh Karol Dawidowicz [10].

## KESIMPULAN

Metode pantulan sinyal GNSS untuk penentuan ketinggian permukaan air laut menggunakan teknik yang sudah dikenal sebelumnya yaitu metode penentuan posisi differensial yaitu dengan mencari garis dasar antara antenna rover bayangan di bawah permukaan air laut dan stasiun penerimaan sinyal pantul yang sebenarnya di atas permukaan air laut. Kajian sudut elevasi satelit GPS dengan antenna penerima sinyal pantulan

GPS pada ketinggian 20 meter menunjukkan bahwa ketersediaan satelit yang teramati secara pantulan sinyal GPS oleh laut hampir 24 jam kecuali pada pukul 11:00 - 11.50.

## REFERENSI

1. Harijono, S.W.B., Harjadi, P., Fauzi . (2010). InaTEWS (Indonesia Tsunami Early Warning System): Konsep dan Implementasi. Jakarta. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG).
2. Tilmann, F., Howe, B., Butler, R., Weinstein, S. (2016). Smart Submarine Cable Applications in Earthquake and Tsunami Science and Early Warning. V1.0. <http://www.itu.int/en/ITU/Workshops-andSeminars/201611/Pages/default.aspx>
3. Juhel, K., Ampuero, J.P., Barsuglia, M., Bernard, P., Chassande, E., Fiorucci, D., Harms, J., Montagner, J.P., Vall, M., and Whiting, B.F. (2018). Earthquake early warning using future generation gravity strainmeters. *JGR Solid Earth*. **123**(12), 10889-10902.
4. Lofgren, J. S. (2014). Local Sea Level Observations Using Reflected GNSS Signals. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Department of Earth and Space Sciences Space Geodesy and Geodynamics Chalmers University of Technology SE-412 96 Gothenburg, Sweden.
5. Rudenko, S., Esselborn, S., Schone, T., and Dettmering, D (2019). Impact of terrestrial reference frame realizations on altimetry satellite orbit quality and global and regional sea level trends: a switch from ITRF2008 to ITRF2014. *Solid Earth*, 10, 293-305.
6. Lofgren, J., S., and Haas, R (2014). Sea level measurements using multi-frequency GPS and GLONASS observations. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*.
7. Chen, C., Gao, S., and Maqsoos, M. (2012). Antennas for Global Navigation Satellite System Receivers: in : Willian A Imbriale S, and Gao, L., B: Chapter 14. *Space Antenna Handbook*. John Wiley & Sons, Ltd
8. Lofgren, J., S., Haas, R., and Johansson, J., M. (2011). Monitoring Coastal Sea Level Using Reflected GNSS Signals, **47**(2), 213--220.
9. Troung, H., V., P (2012). Wave-Propagation Velocity, Tsunami Speed, Amplitudes, Dynamic Water-Attenuation Factors. *Research Engineering*, Westminster Ca 92683, USA.
10. Karol, D. (2014). Sea level changes monitoring using GNSS technology – a review of recent efforts, **55**(2): 145 – 162.



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

## ANALISA CITRA HIPERSPEKTRAL DAUN DARI TANAMAN KELAPA SAWIT YANG MENGALAMI KEKURANGAN AIR MENGUNAKAN PROGRAM MATLAB

JR. Lessy Eka Putri<sup>1</sup>, Minarni<sup>1,\*</sup>, Feri Candra<sup>2</sup>, Herman<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro FT, Universitas Riau

<sup>3</sup>Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*The hyperspectral imaging method has been widely and intensively used in agriculture to find out various problems that occur in plants. Image processing is very important step in an imaging method. This research aims to create Matlab based program to be used to analyze the leaf image of oil palm plants that has experienced water deficiency. Reflectance intensity values were extracted from the process. The hyperspectral imaging system consisted of a 650 nm diode laser, a spectrograph, monochrome CMOS camera, and Matlab image processing program. The samples used were 8 month old Tenera variety of oil palm seedlings which were treated to simulate water deficiency in the form of variations in the volume of water, namely 0 mL (without watering), 1000 mL, 2000 mL, and 3000 mL (normal), 3 duplicates for each volume. The samples were given water volume of 1000 mL and 2000 mL for every 7 days in 21 days, while the samples with 3000 mL of water were watered every day. Image recording was done on the 21st day for detached leaves at the the bottom part. The results showed that the Matlab program was able to separate each row from 15 images, each of which had a pixel size of  $1280 \times 1024$  and merge each of the same lines into 1024 images with a pixel size of  $1280 \times 15$ . The reflectance intensity values were then obtained. The results showed that higher levels of water deficiency in plants produce increasing reflectance intensity values.*

**Keywords:** Hyperspectral imaging, Reflectance intensity, Matlab, Oil palm leaves, Water deficiency

### ABSTRAK

*Metode pencitraan hiperspektral yang diinduksi laser semakin intensif digunakan dalam bidang pertanian untuk mengetahui berbagai permasalahan yang terjadi pada tanaman. Pengolahan citra sangat penting dalam suatu metode pencitraan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat program pengolahan citra berbasis Matlab yang digunakan untuk menganalisa citra hiperspektral daun dari tanaman kelapa sawit yang mengalami kekurangan air sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi. Sistem pencitraan hiperspektral yang digunakan terdiri dari laser dioda 650 nm, spektrograf, kamera CMOS monokrom, dan program pengolahan citra Matlab. Sampel yang digunakan adalah bibit tanaman kelapa sawit varietas Tenera berumur 8 bulan yang diberi perlakuan untuk mensimulasi kekurangan air berupa variasi pemberian volume air 0 mL (tanpa penyiraman), 1000 mL, 2000 mL, dan 3000 mL (normal). Sampel yang diberi volume air 1000 mL dan 2000 mL disiram setiap 7 hari sekali selama 21 hari, sedangkan sampel yang diberi volume air 3000 mL disiram setiap hari. Perekaman citra daun yang dipotong dari setiap bibit tanaman dilakukan pada hari ke-21 pada bagian pangkal daun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program Matlab yang telah dibuat dapat digunakan untuk memisahkan setiap baris dari 15 citra yang masing-masing memiliki ukuran piksel  $1280 \times 1024$  dan menggabungkan setiap baris yang sama menjadi 1024 citra dengan ukuran piksel masing-masing  $1280 \times 15$  sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi. Tingkat kekurangan air yang semakin tinggi pada tanaman menghasilkan nilai intensitas reflektansi yang semakin meningkat.*

**Kata kunci:** Pencitraan hiperspektral, Intensitas reflektansi, Matlab, Daun kelapa sawit, Kekurangan air

Diterima 04-09-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-30-2019



## PENDAHULUAN

Metode pencitraan hiperspektral menghasilkan citra dengan pita panjang gelombang yang sempit dan berdekatan dalam jumlah besar. Setiap piksel dalam citra hiperspektral mengandung spektrum dari posisi tertentu dimana hasil spektrum bertindak seperti sidik jari yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi suatu objek. Setiap citra yang direkam oleh kamera mewakili satu garis dalam bentuk citra yang dihasilkan dari metode ini. Citra yang dibuat garis per garis kemudian digabungkan sehingga membentuk kubus citra hiperspektral tiga dimensi atau yang biasa disebut *hypercubes*, yaitu data tiga dimensi yang terdiri dari dua dimensi untuk menggambarkan informasi spasial dan yang ketiga untuk informasi spektral [1,2].

Tanaman kelapa sawit merupakan salah satu tanaman yang membutuhkan air dalam jumlah yang banyak. Salah satu faktor utama tinggi rendahnya produksi kelapa sawit adalah ketersediaan air yang cukup untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kelapa sawit. Kekurangan air pada tanaman kelapa sawit dapat menyebabkan penurunan produksi karena terhambatnya pembentukan bunga, meningkatnya jumlah bunga jantan, pembuahan terganggu, gugur buah muda, bentuk buah kecil, dan rendemen buah rendah [3].

Pendeteksian kekurangan air pada tanaman dapat dilakukan menggunakan metode pencitraan hiperspektral pada daun. Metode ini menggabungkan teknik pencitraan dan teknik spektroskopi yang dapat memberikan informasi spasial dan spektral dari suatu objek. Metode pencitraan spektroskopi ini memiliki rentang panjang gelombang yang lebih luas atau lebih banyak jumlah pita spektrum yang dipindai untuk setiap piksel. Informasi yang didapatkan berupa serangkaian nilai piksel atau intensitas reflektansi pada setiap spektrum panjang gelombang dalam bentuk citra [4].

Pengolahan citra merupakan proses mempersiapkan citra agar dapat dianalisa.

Proses tersebut perlu diperhatikan supaya informasi yang diperoleh dari citra tidak ada yang hilang atau rusak. Proses pengolahan citra bertujuan untuk mendapatkan kualitas citra yang lebih baik agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin sehingga informasi yang didapatkan dari citra lebih jelas [5]. Pengolahan citra dapat menggunakan program yang dibuat sendiri maupun program yang telah tersedia. Program pengolahan citra hiperspektral telah banyak dibuat dan tersedia secara komersial, dengan harga relatif mahal. Program alternatif yang sederhana diperlukan untuk pengolahan data citra hiperspektral.

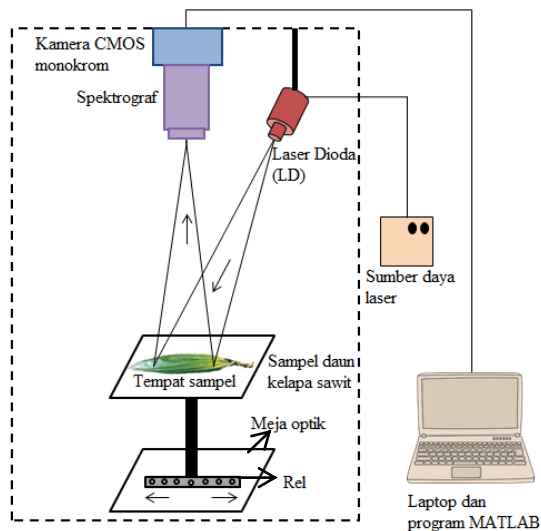
Pada penelitian ini, program pengolahan citra berbasis Matlab dibuat untuk mengolah data citra hiperspektral sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi terhadap panjang gelombang. Nilai intensitas reflektansi yang didapat digunakan untuk menganalisa kekurangan air yang terjadi pada tanaman kelapa sawit menggunakan metode pencitraan hiperspektral pada daun.

## METODE PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah laser dioda yang memiliki panjang gelombang 650 nm, spektrograf ImSpector V10, kamera CMOS monokrom, catu daya laser dioda, tempat sampel, meja optik, rel, dan laptop. Sistem pencitraan hiperspektral dilingkupi kotak hitam akrilik yang berfungsi untuk mengisolasi sistem dari cahaya luar. Skema sistem pencitraan hiperspektral ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah bibit tanaman kelapa sawit varietas Tenera yang berumur 8 bulan.

Sampel diberi perlakuan berupa variasi tingkat kekurangan air. Variasi volume air yang diberikan sebesar 0 mL (tanpa penyiraman), 1000 mL, 2000 mL, dan 3000 mL (normal). Penyiraman dilakukan setiap 7 hari sekali untuk sampel yang mendapatkan perlakuan 1000 mL dan 2000 mL sedangkan sampel yang mendapatkan perlakuan 3000 mL

disiram setiap hari. Setiap variasi volume terdiri dari tiga bibit tanaman kelapa sawit sehingga sampel berjumlah 12. Semua bibit diberi perlakuan yang sama selama tiga minggu setelah dipindahkan ke polibag. Perekaman citra dilakukan pada hari ke-21.



**Gambar 1.** Skema sistem pencitraan Hiperspektral.

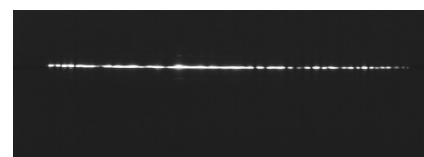


**Gambar 2.** Contoh sampel daun 0 mL (tanpa penyiraman).

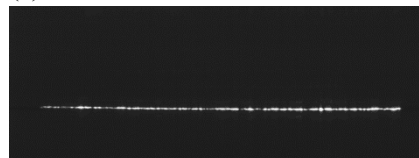
Gambar 2 adalah contoh sampel daun tanpa penyiraman 0 mL. Sampel ini merupakan daun kedua dari setiap bibit yang dipotong dan dibersihkan setelah hari ke 21. Sebelum citra diambil, pengukuran panjang dan lebar daun dilakukan. Panjang daun yang diamati sebelum perlakuan pada volume air 0 mL, 1000 mL, 2000 mL, dan 3000 mL masing-masing adalah 44 cm, 36 cm, 39 cm, dan 40 cm. Setelah mengalami perlakuan, panjang masing-masing adalah 46 cm, 36,6 cm, 41,3 cm, dan 40,2 cm. Lebar daun masing-masing sebelum perlakuan adalah 4,2 cm, 5,4 cm, 6,1

cm, dan 7,1 cm dan sesudah perlakuan selama 21 hari adalah 4,5 cm, 5,6 cm, 6,4 cm, dan 7,4 cm. Pencitraan dilakukan pada bagian pangkal daun.

Kalibrasi kamera perlu dilakukan dalam penelitian ini. Kalibrasi yang dilakukan adalah kalibrasi posisi piksel ke panjang gelombang. Kalibrasi tersebut bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang untuk setiap piksel. Kalibrasi ini menggunakan sumber cahaya LD merah 650 nm dan LD ungu 405 nm serta sistem pencitraan hiperspektral. LD merah 650 nm dan LD ungu 405 nm diarahkan ke spektrograf secara bergantian untuk menghasilkan citra seperti yang terlihat pada Gambar 3.



(a) Citra untuk LD merah 650 nm



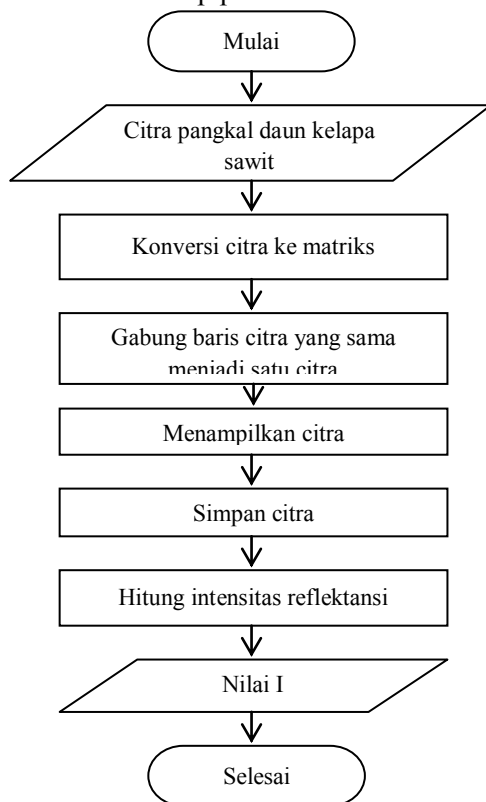
(b) Citra untuk LD ungu 405 nm

**Gambar 3.** Citra kalibrasi.

Program Matlab digunakan untuk menentukan posisi baris pada intensitas maksimum dari citra yang diperoleh yang dapat dilihat dari nilai matriks masing-masing citra. Intensitas maksimum dihasilkan apabila matriks menunjukkan nilai sebesar 255. Proses tersebut menghasilkan bahwa LD merah 650 nm memiliki intensitas maksimum pada baris ke-388, sementara LD ungu 405 nm memiliki intensitas maksimum pada baris ke-671.

Setelah proses kalibrasi dilakukan, daun diletakkan pada tempat sampel seperti pada Gambar 1. Daun tersebut disinari dengan laser dioda yang berkasnya telah diperbesar menggunakan lensa yang terletak di depan LD sehingga mengenai daun pada bagian pangkal. Bagian pangkal mempunyai luas permukaan yang lebih besar. Sumber cahaya diarahkan ke sampel yang digerakkan menggunakan rel.

Cahaya yang mengenai permukaan daun akan menghasilkan proses reflektansi atau pemantulan. Cahaya yang dipantulkan dari daun menuju ke dalam spektrograf melalui celah, kemudian cahayamasuk ke kamera CMOS monokrom yang menangkap sinyal berupa cahaya dan menghasilkan keluaran dalam bentuk citra yang tampil pada layar laptop. Kamera CMOS monokrom yang digunakan dalam penelitian ini memiliki resolusi  $1280 \times 1024$  piksel. Citra yang diambil untuk setiap 1 helai bagian pangkal daun sebanyak 15 citra yang dihasilkan dengan menggeser atau menggerakkan tempat sampel sejauh 2 mm untuk setiap 1 citra. Metode ini disebut metode *scanning* untuk memperoleh deretan citra garis. Hasil rekaman citra daun tersebut disimpan dalam bentuk format BMP yang kemudian diolah menggunakan program Matlab untuk mendapatkan nilai intensitas reflektansi dari setiap piksel citra.



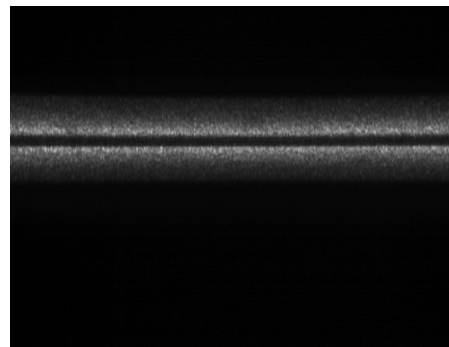
**Gambar 4.** Diagram alir program Matlab.

Diagram alir program Matlab diperlihatkan pada Gambar 4. Tahapan dari diagram alir tersebut adalah input citra pangkal daun kelapa sawit, lalu konversi citra ke matriks, kemudian

memisahkan setiap baris dari 15 buah citra pangkal daun yang telah didapatkan dimana masing-masing citra memiliki ukuran piksel  $1280 \times 1024$  dan menggabungkan setiap baris yang sama menjadi 1024 citra dengan ukuran piksel masing-masing  $1280 \times 15$  sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi.

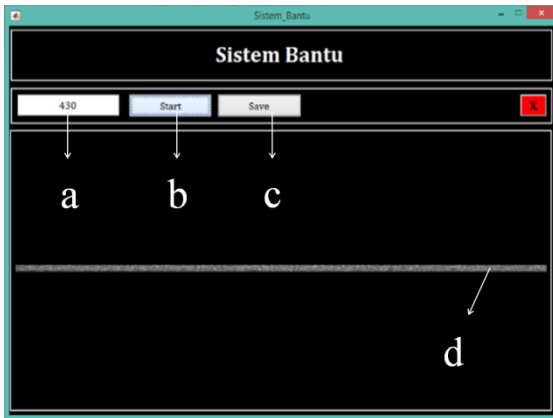
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Program Matlab untuk pengolahan data citra hiperspektral sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi telah berhasil dibuat. Citra hiperspektral daun yang diperoleh pada penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 5.



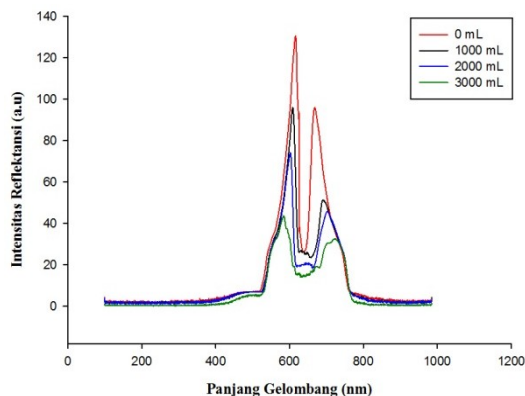
**Gambar 5.** Citra hiperspektral pangkal daun 0 mL pada hari ke-21

Citra yang diambil untuk setiap 1 sampel daun sebanyak 15 citra dengan ukuran piksel  $1280 \times 1024$  untuk masing-masing citra. Pengolahan citra daun dilakukan dengan menggunakan *Graphical User Interface* (GUI) di Matlab untuk memisahkan setiap baris dari masing-masing 15 citra. Setiap baris yang sama digabungkan menjadi 1 citra baru yang memiliki ukuran piksel  $1280 \times 15$ . Proses pengolahan tersebut akan menghasilkan 1024 citra baru. Gambar 6 menunjukkan tampilan menu utama program Matlab yang telah dibuat dengan nama Sistem Bantu. Bagian a berfungsi untuk memasukkan nilai baris ke berapa yang ingin digabungkan, bagian b atau tombol *Start* memproses citra yang akan digabungkan sehingga akan terlihat hasil citra pada bagian d. Bagian c atau tombol *Save* berfungsi untuk menyimpan citra baru dalam format BMP dengan ukuran piksel  $1280 \times 15$ .



**Gambar 6.** Tampilan menu utama program Matlab.

Citra baru dihasilkan sebanyak 1024 citra untuk setiap 1 sampel daun. Nilai intensitas reflektansi masing-masing citra ditentukan dari nilai piksel citranya. Nilai-nilai tersebut dirata-ratakan berdasarkan jumlah piksel. Penentuan nilai intensitas reflektansi tersebut dilakukan dengan program Matlab. Nilai intensitas reflektansi yang telah didapatkan akan menghasilkan grafik yang menunjukkan hubungan intensitas reflektansi terhadap variasi pemberian volume air dari daun tanaman kelapa sawit pada penelitian ini.



**Gambar 7.** Hubungan antara intensitas reflektansi terhadap panjang gelombang terhadap variasi pemberian volume air pada hari ke-21.

Grafik hubungan antara nilai intensitas reflektansi rata-rata terhadap variasi pemberian volume air pada tanaman kelapa sawit ditunjukkan oleh Gambar 7. Grafik tersebut diperoleh dari nilai intensitas reflektansi yang berasal dari citra pangkal daun kelapa sawit.

Tanaman yang tidak mendapatkan kebutuhan air yang cukup, yaitu tanaman yang tidak disiram (0 mL) dan tanaman yang disiram (1000 mL dan 2000 mL) memiliki nilai intensitas reflektansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang mendapatkan kebutuhan air yang cukup (3000 mL). Tanaman yang tidak disiram dan yang diberi 1000 mL, dan 2000 mL volume air menyerap cahaya lebih sedikit dan memantulkan cahaya lebih banyak dibandingkan tanaman yang disiram normal sebanyak 3000 mL. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas reflektansi yang dihasilkan mengidentifikasi bahwa kandungan klorofil pada tanaman tersebut semakin rendah dan sebaliknya [6].

Tanaman yang mengalami cekaman menghasilkan pemantulan yang semakin tinggi karena berkurangnya penyerapan cahaya oleh tanaman. Kandungan klorofil pada daun tanaman mempengaruhi intensitas reflektansi. Semakin tinggi cahaya yang dipantulkan oleh suatu tanaman menunjukkan bahwa kandungan klorofil tanaman tersebut rendah sehingga cahaya laser dioda 650 nm yang diserap juga akan semakin sedikit dan menghasilkan intensitas reflektansi yang lebih tinggi pada tanaman yang mengalami kekurangan air [7].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa grafik hubungan intensitas reflektansi terhadap variasi pemberian volume air, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu program Matlab yang telah dibuat dapat digunakan untuk mengolah data citra hiperspektral dengan cara memisahkan setiap baris dari 15 buah citra yang masing-masing memiliki ukuran piksel  $1280 \times 1024$  dan menggabungkan setiap baris yang sama menjadi 1024 citra dengan ukuran piksel masing-masing  $1280 \times 15$  sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi. Pemberian volume air yang kurang dari volume air normal menghasilkan nilai intensitas reflektansi yang lebih tinggi atau tingkat kekurangan air yang semakin tinggi pada tanaman kelapa sawit

menyebabkan cahaya yang diserap semakin sedikit dan cahaya yang dipantulkan atau intensitas reflektansi semakin meningkat.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BPDPKS yang telah membiayai sebagian penelitian ini melalui penggunaan spektrometer Specim V10 dan sistem pencitraan hiperspektral melalui grant riset sawit PRJ no 33. 2018

### DAFTAR PUSTAKA

1. Elrahman, A. A., Pand-Chhetri, R., and G. Vallad. (2011). Design and Development of A Multi-Purpose Low-Cost Hyperspectral Imaging System. *Remote Sensing*, 3: 570-586.
2. Sun, D. W. (2010). *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*. London: Academic Press.
3. Hidayat, T.C., Harahap, I.Y., Pangaribuan, Y., Rahutomo, S., Harsanto, W.A., dan W.R. Fauzi. (2013). *Air dan Kelapa Sawit*. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
4. Sankaran, S., A. Mishra, A., Ehsani, R., and C. Davis. (2010). A Review of Advanced Techniques for Detecting Plant Diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72: 1-13.
5. Gonzalez, R. C., Woods, R. E., and S. L. Eddins. (2009). *Digital Image Processing Using MATLAB*. India: Pearson Education.
6. Chong, Y. M., Balasundram, S. V., and A. H. M. Hanif. (2017). Detecting and Monitoring Plant Nutrient Stress Using Remote Sensing Approaches: A Review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 16: 1-8.
7. Kim, Y., Glenn, D. M., Park, J., Ngugi, H. K., and B. L. Lehman. (2011). Hyperspectral Image Analysis for Water Stress Detection of Apple Trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77: 155-160.



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

## APLIKASI PROGRAM MATLAB UNTUK ANALISA CITRA HYPERSPETRAL PADA AKAR DARI TANAMAN KELAPA SAWIT YANG MENGALAMI KEKURANGAN AIR

Mailestari Wina Yance<sup>1</sup>, Minarni<sup>1\*</sup>, Feri Candra<sup>2</sup>, Herman<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>Jurusan Biologi FMIPA Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*Hyperspectral images are three dimensional images which have two dimension spatial information and one dimension spectral information. Hyperspectral image processing using Matlab program is preferable because it is more adaptive for many analysis purposes. This research was aimed to construct Matlab to process and analyze the hyperspectral images of the roots of oil palm plants that have experienced water deficiency. The program was designed and constructed using a GUI. The use of a GUI aims to combine each pixel of the same line from each sample to produce a new image. The samples were roots of oil palm plants that experienced simulated water deficiency by giving different water volumes of 0 mL, 1000 mL, 2000 mL and 3000 mL (normal). The optical method used in this study is a hyperspectral imaging method which has 650 nm diode laser as the light source, spectrograph Specim Inspector V10, and a monochrome CMOS as a detector. Reflectance intensity versus wavelength was extracted from each images and analyzed. The results showed that the Matlab GUI program that had been constructed was able to produce 1024 new images that had a pixel size of 15×1280 from each sample. The results also show that the reflectance intensity values are higher at higher water deficiency of the oil palm roots.*

**Keywords** : Hyperspectral imaging, Laser induced, Oil palm root, Water deficiency, Matlab

### ABSTRAK

*Citra hiperspektral adalah citra tiga dimensi yang terdiri dari dua dimensi informasi spasial dan satu dimensi informasi panjang gelombang. Pengolahan dan analisa citra hiperspektral menggunakan matlab lebih disukai karena lebih adaptif dibanding program yang tersedia online. Penelitian ini bertujuan untuk membuat program Matlab untuk pengolahan citra hiperspektral yang diinduksi cahaya laser pada akar dari tanaman kelapa sawit yang mengalami kekurangan air. Program dirancang dan dibuat menggunakan GUI. Penggunaan GUI bertujuan untuk menggabungkan setiap piksel garis yang sama dari satu sampel citra sehingga menghasilkan citra baru. Sampel adalah tanaman kelapa sawit yang mengalami kekurangan air yang disimulasi dengan pemberian volume air yang berbeda yaitu 0 mL, 1000 mL, 2000 mL dan 3000 mL (normal). Metode optik adalah metode pencitraan hiperspektral dengan sumber cahaya berupa laser dioda 650 nm, Spektograf Specim Inspector V10 serta kamera CMOS monokrom sebagai detektor. Hasil dari pengolahan citra hiperspektral berupa intensitas reflektansi terhadap panjang gelombang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program GUI Matlab yang telah dibuat menghasilkan citra baru sebanyak 1024 citra yang memiliki ukuran piksel 15×1280 dari satu sampel. Hasil juga menunjukkan intensitas reflektansi dari citra akar terkecil pada akar yang mengalami kekurangan air lebih besar.*

**Kata kunci** : Pencitraan *Hyperspectral*, Induksi laser, Akar pohon kelapa sawit, Kekurangan air, Matlab

Diterima 04-09-2019 | Disetujui 30-09-2019 | Dipublikasi 31-10-2019

## PENDAHULUAN

Matlab atau yang dikenal dengan *Matrix Laboratory* merupakan bahasa tingkat tinggi (*high-performance*) dan interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu *array* yang memungkinkan untuk melakukan komputasi secara intensif. Sebuah sistem pada Matlab tersusun dari 5 bagian utama yang mempunyai fungsi yang berbeda. Citra pada program Matlab dikenal sebagai matriks yang memberikan representasi spasial dari suatu objek dalam bidang dua dimensi yang biasanya ditulis dalam koordinat kartesian (x,y), dan setiap koordinat merepresentasikan satu sinyal terkecil dari objek yang disebut sebagai piksel [1].

Matlab merupakan salah satu program pengolahan citra. Pengolahan citra bertujuan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dari suatu citra. Pengolahan citra biasanya digunakan untuk meningkatkan kualitas visual atau menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung dalam citra. Dalam metode *Hyperpspectral Imaging*, Program Matlab dapat digunakan untuk mengolah citra *Hyperpspectral* sehingga menghasilkan nilai intensitas reflektansi versus panjang gelombang.

Salah satu metode optik yang dapat mendeteksi sifat internal suatu materi adalah metode *Hyperspectral Imaging* (HI) [2]. Metode ini merupakan penggabungan metode pencitraan digital dan spektroskopi. Sistem terdiri dari sumber cahaya, spektograf, dan detektor. Spektograf merupakan komponen optik yang berfungsi untuk menguraikan cahaya menjadi spektrum warna. Detektor berfungsi untuk merekam gambar objek [3]. Salah satu metode HI yang telah dikembangkan adalah untuk memprediksi kandungan gula dalam melon [4].

Tanaman kelapa sawit adalah tanaman perkebunan yang mempunyai perakaran dangkal yang menyebabkan tanaman kelapa sawit ini toleran terhadap tekanan atau *stress*. *Stress* yang terjadi pada tanaman kelapa sawit didefinisikan sebagai kondisi lingkungan yang

menyebabkan berkurangnya produktivitas hasil panen tanaman kelapa sawit [5]. Biasanya *stress* yang terjadi pada tanaman kelapa sawit berupa *stress* kekeringan atau kekurangan air. *Stress* ini terjadi karena ketersediaan air yang berada didalam tanah tidak mencukupi dan proses transpirasi berlangsung secara berlebihan [6].

Kebutuhan air pada tanaman kelapa sawit pada dasarnya berbeda-beda dalam setiap fase pertumbuhan. Banyaknya volume dan frekuensi penyiraman air pada tanaman kelapa sawit dapat berdasarkan kepada umur tanaman kelapa sawit tersebut. Tanaman kelapa sawit yang berumur 0 – 3 bulan membutuhkan jumlah air setiap hari perbibit sebanyak 1 liter, untuk tanaman kelapa sawit yang berumur 3 – 6 bulan sebanyak 2 liter, sedangkan tanaman kelapa sawit yang berumur 6 – 12 bulan membutuhkan air sebanyak 3,0 liter per bibit setiap harinya [7]. Tanaman kelapa sawit yang mendapatkan air kurang dari batas normalnya maka tanaman kelapa sawit tersebut akan mengalami penghambatan pertumbuhan dan reproduktivitas..

Pada penelitian ini, GUI Matlab digunakan untuk menggabungkan setiap piksel baris dari setiap citra sampel akar tanaman kelapa sawit sehingga diperoleh citra baru. Citra tersebut kemudian diolah dengan program Matlab sehingga diperoleh nilai intensitas reflektansi maksimum. Perbedaan intensitas reflektansi untuk setiap perlakuan penambahan variasi volume air pada proses penyiraman tanaman kelapa sawit dianalisa.

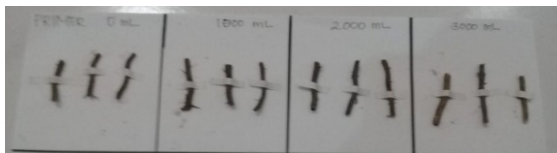
## METODE PENELITIAN

Metode optik yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Hyperspectral Imaging* (HI) yang diinduksi cahaya laser. Metode ini digunakan pada akar tanaman untuk mendeteksi tingkat kekurangan air pada tanaman kelapa sawit. Alat yang digunakan terdiri dari sumber cahaya berupa laser dioda

650 nm, spektograf *Specim Inspector V10*, dan kamera CMOS monokrom yang menghasilkan citra dengan ukuran piksel  $1024 \times 1280$ . Ukuran piksel yang dihasilkan oleh citra tersebut mempunyai arti bahwa citra terdiri dari 1024 baris dan 1280 kolom. Sistem berada pada kotak hitam kedap cahaya luar berukuran 60 cm x 60 cm x 90 cm.

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah akar tanaman kelapa sawit varietas Tenera yang sudah mengalami tingkat kekurangan air yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. merupakan sampel akar dari tanaman kelapa sawit yang telah mendapatkan perlakuan penyiraman air dengan volume berbeda. Tingkat kekurangan air pada tanaman kelapa sawit diwakili oleh variasi pemberian volume air yang terdiri dari 0 mL (tanpa pemberian air), 1000 mL, 2000 mL, dan 3000 mL (normal).



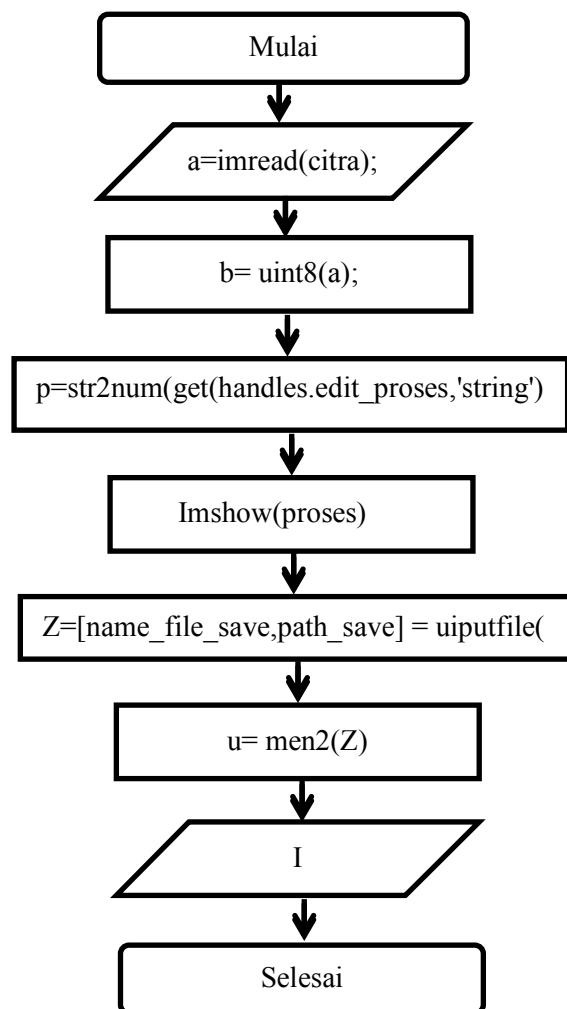
**Gambar 1.** Sampel akar tanaman kelapa sawit

Perlakuan variasi volume air dilakukan selama 21 hari. Setiap perlakuan mempunyai 3 bibit tanaman sawit yang berumur 8 bulan sehingga sampel terdiri dari 12 bibit. Tanaman kelapa sawit yang mendapatkan pemberian 0 mL berarti tidak disiram selama 21 hari, pemberian air dengan volume 1000 mL dan 2000 mL dilakukan satu kali seminggu. Sedangkan pemberian air 3000 mL atau normal dilakukan setiap hari. Sebelum diberi perlakuan setiap bibit tanaman kelapa sawit mendapatkan perlakuan yang sama selama dua minggu yaitu penyiraman normal 3000 mL perhari setelah dipindahkan dari polibag kecil ke masing-masing polibag besar berdiameter 40 cm dan tinggi 25 cm.

Proses perekaman citra pada tanaman kelapa sawit dilakukan pada hari ke-21. Setiap satu variasi volume diambil tiga akar primer

masing-masing dari setiap bibit sehingga diperoleh tiga akar untuk setiap perlakuan, Akar-akar tersebut kemudian dibersihkan dan diukur diameter serta panjangnya. Akar kemudian diletakkan di atas *translation stage* di dalam kotak yang telah tersedia. Setiap sampel akar mempunyai 15 citra yang diambil dengan merekam satu citra garis per 2 mm perpindahan *translation stage* sehingga keseluruhan akar dapat di scan.

Program Matlab digunakan untuk mengolah citra *hyperspectral* akar yang diperoleh. Gambar 2 menunjukkan flowchart dari program Matlab yang dibuat.

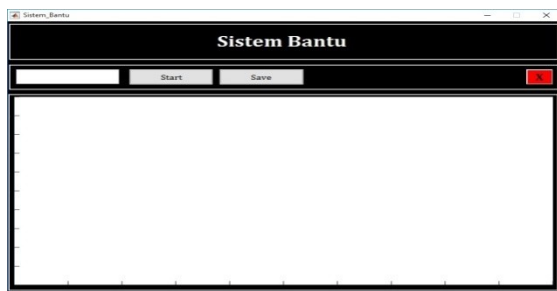


**Gambar 2.** Flowchart program Matlab

Penggunaan program GUI Matlab pada penelitian ini berfungsi untuk menggabungkan setiap piksel baris dari setiap 15 citra dari satu sampel akar yang diperoleh sehingga

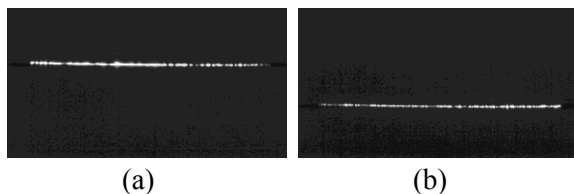


menghasilkan citra baru. Citra yang dihasilkan tersebut kemudian ditentukan nilai intensitasnya. Terdapat beberapa tahapan dalam proses pengolahan citra. Tahapan pertama dalam pengolahan citra adalah menggabungkan setiap ukuran piksel dari 15 citra yang diperoleh dari sumber cahaya yang digunakan. Proses penggabungan ini menggunakan program GUI Matlab yang berhasil dibuat yang ditunjukkan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Tampilan program GUI Matlab

Tahapan berikutnya dalam proses pengolahan citra pada penelitian ini adalah mengkalibrasi setiap ukuran piksel baris ke panjang gelombang. Proses pengkalibrasian ini menggunakan sumber cahaya laser dioda merah 650 nm dan laser dioda ungu 405 nm beserta sistem *Hyperspectral Imaging*.



**Gambar 4.** (a) Citra laser dioda merah 650 nm  
(b) Citra laser dioda ungu 450 nm

Citra hiperspektral yang dihasilkan oleh kamera CMOS terdiri dari sumbu y dan x, dimana sumbu y mewakili jangkauan panjang gelombang spektrograf specim v10 yaitu 400 nm sampai dengan 1000 nm. Citra cahaya laser 605 nm dan 405 nm seperti pada Gambar 4 mempunyai bentuk garis karena bersifat monokromatik dengan lebar pita panjang gelombang yang sempit,

Dua citra yang diperoleh dari proses kalibrasi kemudian ditentukan baris keberapa nilai intensitas maksimum dihasilkan. Nilai intensitas maksimum ditandai dengan perolehan nilai mariks yang bernilai 255. Proses tersebut menunjukkan bahwa laser dioda merah 650 nm menghasilkan intensitas maksimum pada baris ke-388, dan laser dioda ungu 405 nm menghasilkan intensitas maksimum pada baris ke-671. Hasil tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai panjang gelombang pada baris yang lainnya dengan menggunakan persamaan *simple linear regression* seperti yang terdapat pada Persamaan 1.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \quad 1$$

$\hat{\beta}_1$  merupakan koefisien regresi yang diperoleh dengan menggunakan Persamaan 2 dan  $\hat{\beta}_0$  konstanta yang didapat dalam Persamaan 3.

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad 2$$

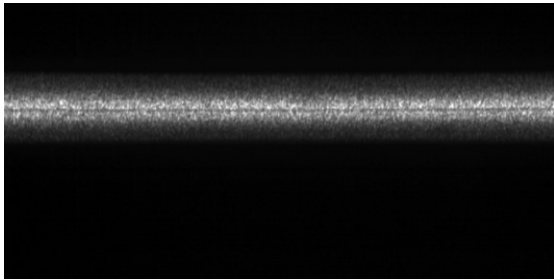
$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x} \quad 3$$

Tahapan terakhir yaitu mendapatkan nilai intensitas reflektansi dari citra baru yang didapatkan dengan menggunakan algoritma yang terdapat pada program Matlab yang dibuat.

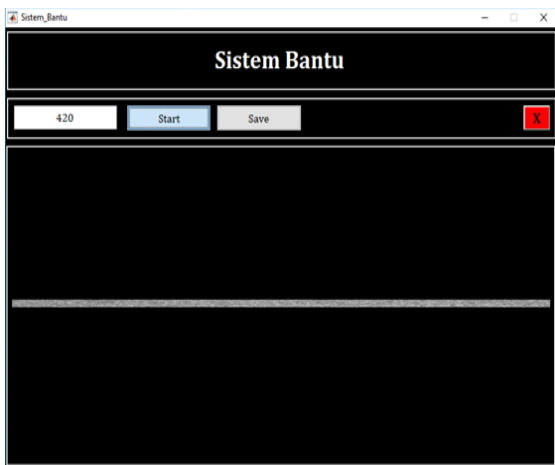
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Program GUI Matlab untuk mengolah citra *hyperspectral* telah berhasil dibuat. Program tersebut telah digunakan untuk menggabungkan setiap ukuran piksel baris dari 15 citra yang diperoleh dari satu sampel akar sehingga menghasilkan 1024 citra baru yang memiliki ukuran piksel 15×1024 dengan format BMP. Tampilan dari program GUI Matlab untuk citra akar diperlihatkan pada Gambar 3.

Gambar 5 memperlihatkan citra *hyperspectral* akar yang diperoleh dengan menggunakan laser dioda. Citra akar yang disinari cahaya laser yang telah diperbesar diameter berkasnya tersebut menghasilkan pola garis lurus yang melebar dengan rentang panjang gelombang yang lebih lebar dibanding cahaya laser tanpa akar pada Gambar 4. Citra pada Gambar 4 dan 5 merupakan citra cahaya laser yang dipantulkan masing-masing oleh permukaan *translation stage* dan oleh akar yang disinari cahaya laser.



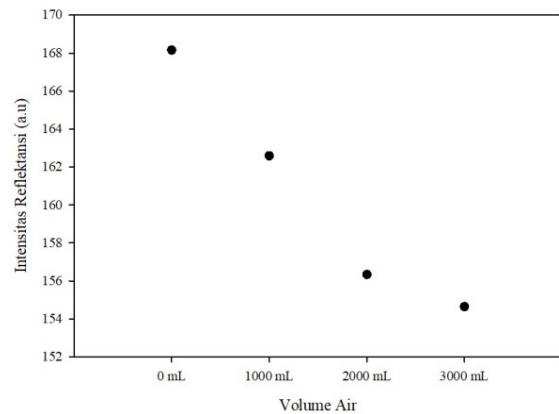
**Gambar 5.** Citra *hyperspectral* akar menggunakan laser dioda 650 nm.



**Gambar 6.** Citra dari Matlab GUI.

Program Matlab GUI yang berhasil dibuat mempunyai beberapa fitur tombol untuk mengolah citra *hyperspectral*. Fitur tombol pertama digunakan untuk menggabungkan setiap piksel baris dari citra *hyperspectral* akar. Fitur tombol start digunakan untuk menjalankan program Matlab GUI untuk memproses citra yang akan digabungkan, sedangkan fitur tombol save berfungsi untuk menyimpan citra baru yang dihasilkan dari

proses penggabungan ukuran piksel setiap baris yang dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 7.** Grafik hubungan intensitas reflektansi terhadap variasi volume air.

Gambar 7 merupakan grafik intensitas reflektansi terhadap volume air. Grafik menunjukkan bahwa semakin banyak pemberian volume air yang diberikan maka semakin rendah nilai intensitas reflektansi yang dihasilkan. Ini dapat disebabkan oleh berkurangnya kadar air pada bagian akar primer. Salah satu proses yang terjadi selama proses perlakuan cekaman kekeringan pada akar adalah penebalan lapisan epidermis pada akar. Proses penebalan lapisan epidermis pada akar bertujuan untuk meminimalisir proses terjadinya kehilangan air (Basu *et al.*, 2016).

## KESIMPULAN

Beberapa hal dapat disimpulkan dari penelitian ini yaitu program GUI Matlab yang dibuat menghasilkan citra baru sebanyak 1024 citra dengan ukuran piksel  $15 \times 1280$ . Program dapat digunakan untuk memper informasi nilai intensitas reflektansi. Nilai intensitas reflektansi yang dihasilkan oleh tanaman mengalami kekurangan air lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang mendapatkan pemberian air normal. Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada cekaman yang lebih lama karena cekaman selama 21 hari

belum memperlihatkan perubahan yang sangat signifikan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada BPDPKS yang telah membiayai sebagian penelitian ini melalui penggunaan spektrometer Specim V10 dan sistem pencitraan hiperspektral melalui grant riset sawit PRJ no 33. 2018

### DAFTAR PUSTAKA

1. Houcque, D. 2005. *Introduction to Matlab for Engineering students*. Northwestern University. USA.
2. Qin, J., Burks, T. F., Kim, M. S., Chao, K., Ritenour, M. A. 2008. Citrus Canker Detection using Hyperspectral Reflectance Imaging and PCA-Based Image Classification Method. *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*. Vol 2(3):168-177.
3. Elmasry, G., Wang, N., Elsayed, A., Ngadi, M. 2007. Hyperspectra Imaging for Nondestructive Determination of Some Quality Attributes for Strawberry. *Journal of Food Engineering*. Vol 81: 98-107.
4. Sugiyama, J. and Tsuta, M. 2010. Visualization of Sugar Distribution of Melons by Hyperspectral Technique. *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*. Vol 11: 349-368.
5. Henson, A. E., Roslan, M. N., Harun, M. M., Yahya, Z., Mustakim, S. N. 2005. Stress Development and its Detection in Young Oil Palm in North Kedah: Malaysia. *Journal of Oil Palm Research*. Vol 17:11-26.
6. Kramer, P. J. 1963. Water Stress and Plant Growth. *Agro J*. Vol 55 : 31- 35.
7. Basu, S., Ramegowda, V., Kumar, A. dan Pereira, A. 2016. Plant Adaptation to Drought Stress. *F1000Research* 2016, 5 :1554



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

## STUDI AWAL RANCANG BANGUN *COLORIMETER* MENGUNAKAN SENSOR OPT101 BERBASIS SISTEM ANDROID DENGAN *DISPLAY SMARTPHONE*

Habibi Putra dan Yulkifli \*

Program Studi S1 Fisika FMIPA, Universitas Negeri Padang

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

### ABSTRACT

*Colorimeter is a color measuring device that is a tool that can distinguish colors based on the value of the output produced. In this study a colorimeter device was made using the OPT101 sensor, an analog sensor based light detector. OPT101 sensor has characteristics if the intensity of light received is getting brighter, the greater the sensor output value and vice versa. Because of the characteristics of the sensor like that, this sensor can be used as a measuring instrument to determine the concentration of a food coloring agent. This study aims to look at investigating the relationship between the concentration value of a dye solution to the OPT101 sensor response value contained in the colorimeter tool. The dyes used are red (metile red) and blue (brilliant blue) with 10 different variations of concentration, with a range of 0.01% -0.1%. After the measurement experiments were carried out on the sample, the results obtained were almost the same as the theory, namely the relationship between the concentration value was inversely proportional to the value of the sensor output. The inverse relationship means that the more concentrated a dye solution is, the more the light intensity penetrates the substance or dims. So that the OPT101 sensor detects a dimmer light source, the sensor output value gets smaller, because the relationship of the sensor output value is directly proportional to the intensity of the received light. Based on the measurements that have been made, the results of sensor response values are obtained for the red sample with a range of data from 276,698 decreasing to 240,762, while for the blue sample from the range 9,828 it decreases to 8.75. The value for the blue sample is much smaller because the blue sample is much thicker than the red sample.*

**Keywords:** Colorimeter, NodeMCU, Sensor OPT101, Smartphone, Spectrometer UV-Vis

### ABSTRAK

*Colorimeter merupakan alat ukur warna yaitu alat yang dapat membedakan warna berdasarkan nilai output yang dihasilkan. Pada penelitian ini alat colorimeter yang dibuat menggunakan sensor OPT101, yaitu detektor cahaya berbasis sensor analog. Sensor OPT101 memiliki karakteristik jika intensitas cahaya yang diterima semakin terang, maka semakin besar pula nilai keuaran sensor dan begitu juga sebaliknya. Sehingga karena karakteristik dari sensor seperti itu, maka sensor ini dapat digunakan sebagai alat ukur untuk menentukan kadar kepekatan suatu zat pewarna makanan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat menyelidiki hubungan antara nilai konsentrasi suatu larutan pewarna terhadap nilai respon sensor OPT101 yang terdapat pada alat colorimeter. Zat pewarna yang digunakan yaitu warna merah (metile red) dan warna biru (brilliant blue) dengan 10 variasi konsentrasi berbeda, dengan rentang 0.01%-0.1%. Setelah percobaan pengukuran dilakukan terhadap sampel, didapat hasil yang yang hampir sama dengan teori, yaitu hubungan antara nilai konsentrasi berbanding terbalik terhadap nilai keluaran sensor. Hubungan terbalik tersebut artinya adalah semakin pekat suatu larutan zat warna, maka intensitas cahaya yang menembus zat tersebut semakin berkurang atau meredup. Sehingga sensor OPT101 mendeteksi sumber cahaya yang lebih redup, maka nilai keluaran sensor semakin kecil, karena hubungan nilai keluaran sensor berbanding lurus terhadap intensitas cahaya yang diterima. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, didapat hasil nilai respon sensor yaitu untuk sampel merah dengan rentang data dari 276.698 menurun sampai 240.762, sedangkan untuk sampel biru dari rentang 9.828 menurun sampai 8.75. Nilai untuk sampel biru jauh lebih kecil dikarenakan sampel biru jauh lebih pekat dari sampel merah.*

## PENDAHULUAN

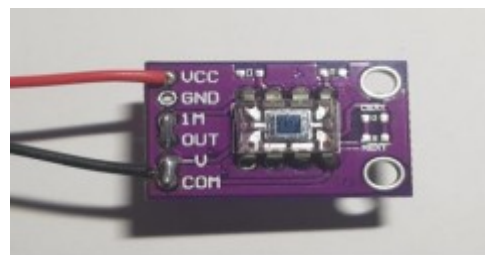
Fisika merupakan ilmu yang mempelajari tentang pemahaman, pengamatan, dan gejala-gejala fenomena alam serta termasuk sifat-sifat sistem yang dibuat oleh manusia [1]. Fisika merupakan ilmu dasar karena hukum fisika dapat diterapkan di cabang ilmu lainnya seperti kimia yang mempelajari jenis materi tertentu. Salah satu contohnya pada zat pewarna pada makanan atau minuman. Warna makanan dan minuman tergantung molekul-molekul penyusun dari pewarna yang akan digunakan.

Banyak zat pewarna makanan atau minuman yang beredar dipasaran, tetapi bagi masyarakat awam masih banyak yang tidak mengetahui konsentrasi zat atau dosis aman penggunaan zat pewarna tersebut. Salah satu indikator agar kita dapat mengetahui dosis aman suatu zat warna yang terdapat pada makanan atau minuman yaitu dengan mengukur absorbansi atau penyerapan cahaya yang dihasilkan zat warna tersebut. Sehingga para peneliti menemukan suatu alat bernama Spektrometer UV-Vis yang dapat mengukur nilai absorbansi suatu sampel warna terhadap panjang gelombang sumber cahayanya. Tetapi alat Spektrometer UV-VIS yang ada saat ini, umumnya berukuran besar dan harganya sangat mahal, sehingga perlu dibuat suatu alat instrumen yang lebih praktis dengan harga yang lebih murah, namun fungsinya sama dengan alat spektrometer. Penelitian dikatakan ideal apabila alat instrumen yang digunakan dapat membedakan molekul/jenis warna satu sama lainnya. Sehingga dibutuhkan instrumen yang selektif dan sensitif agar dapat mengurangi gangguan saat pengukuran [2]. *Colorimeter* adalah detektor yang digunakan untuk menentukan konsentrasi dengan analisis intensitas cahaya yang diteruskan oleh larutan [3]. Cahaya yang dipancarkan akan melewati

sampel, sehingga berkas cahaya ditangkap oleh sensor fotodiode. Sensor fotodiode berfungsi untuk mengkonversi cahaya menjadi tegangan output [4].

Sedangkan *Colorimetric* adalah suatu metode yang digunakan dalam analisa kimia dengan menggunakan perbandingan intensitas warna suatu larutan dengan warna larutan standarnya dengan cara mengukur intensitas warna dari larutan tersebut [5].

Peralihan dari suatu sistem manual menjadi sistem digital ini memerlukan sebuah sensor. Secara umum sensor didefinisikan sebagai piranti yang mengubah besaran-besaran *input* fisis seperti magnetik, radiasi, mekanik dan termal atau kimia menjadi besaran listrik sebagai *output*. Sensor adalah suatu piranti yang dapat mengubah besaran fisis menjadi besaran listrik [6]. Salah satu sensor optik yang memiliki fungsi menangkap sinar cahaya yang kemudian diubah menjadi tegangan. Sensor optik juga memiliki fungsi yang berbeda walaupun prinsipnya sama. Salah satu sensor optik yaitu sensor OPT101 yang menangkap cahaya dari suatu sumber, kemudian diolah menjadi tegangan. Nilai sensor keluaran meningkat secara linear terhadap intensitas cahaya. Sensor OPT101 dapat mendeteksi dengan tegangan yang rendah kemudian dikuatkan karena pada sensor OPT101 terdapat penguat tegangan (*amplifier*) [7].



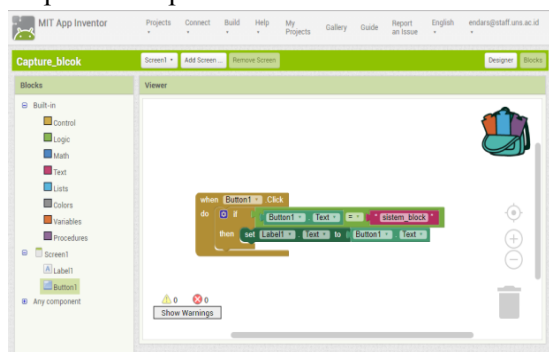
Gambar 1. Sensor OPT101

Pada tahun 2018 telah dilakukan penelitian Kahar, tentang Rancang Bangun

*Colorimeter* Sebagai Pendeteksi Penyerapan pada Pewarna Makanan Menggunakan Sensor OPT101 berbasis Arduino Uno. Tampilan data hasil pengukuran dari alat masih menggunakan LCD tidak terdapat komunikasi data sehingga kita hanya dapat melihat data pengukuran disekitar alat[8]. Saat ini mulai berkembang teknologi untuk pemantauan jarak jauh. Salah satunya adalah teknologi *Internet of Things*. *Internet of Things* merupakan salah satu telemetri secara *wireless*. Telemetri secara *wireless* mempunyai beberapa keunggulan salah satunya adalah tidak membutuhkan biaya besar jika dibandingkan dengan menggunakan kabel[9]. *Internet of Things* (IOT), merupakan konsep yang bertujuan untuk manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus [10]. Pada penelitian ini hasil monitoring dan pengontrolan dapat dilihat secara realtime pada *smartphone*.

*Smartphone* merupakan telepon genggam yang memiliki kemampuan tingkat tinggi sehingga dapat dikatakan sebagai komputer mini [11]. Serta untuk proses akuisisi data pada *smartphone*, dibuat suatu aplikasi dengan menggunakan bantuan aplikasi App Inventor untuk memprogram tampilan pada *smartphone*. App Inventor adalah sebuah IDE untuk membuat aplikasi pada *smartphone* Android dengan cara *puzzle click* dan *puzzle drag* [12].

Proses pemrograman pada App Inventor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses pemrograman pada App Inventor

Keluaran yang didapat akan dikirimkan dan ditampilkan pada *smartphone* yang telah diproses pada nodeMCU sebelumnya. NodeMCU merupakan sebuah board mikrokontroler dengan berbagai fitur kapabilitas akses terhadap Wi-fi juga chip komunikasi *USB to serial*. Sehingga kita dapat mengirim data via jaringan internet. Arduino menyediakan bahasa pemrograman menyerupai C untuk pemrograman *board* arduino dan sejenisnya seperti nodeMCU[13].

Pada penelitian ini menggunakan sampel zat pewarna sintetik warna merah (*metil red*) dan warna biru (*brilliant blue*). Sampel merah dan biru digunakan dengan 10 variasi konsentrasi yaitu 0,01%, 0,02%, 0,03%, 0,04%, 0,05%, 0,06%, 0,07%, 0,08%, 0,09% dan 0,1% sehingga kita dapat mendeteksi perubahan nilai sensor dari sampel tersebut. Perubahan warna yang biasanya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tetapi kita dapat melihat perubahan dari nilai sensor sehingga kita dapat mengetahui tingkat bahaya suatu warna. Hasil pengukuran perubahan dari sampel akan dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu *Spektrofotometer UV-Vis* karena alat yang dibuat menggunakan prinsip kerja yang sama untuk langkah penelitian selanjutnya.

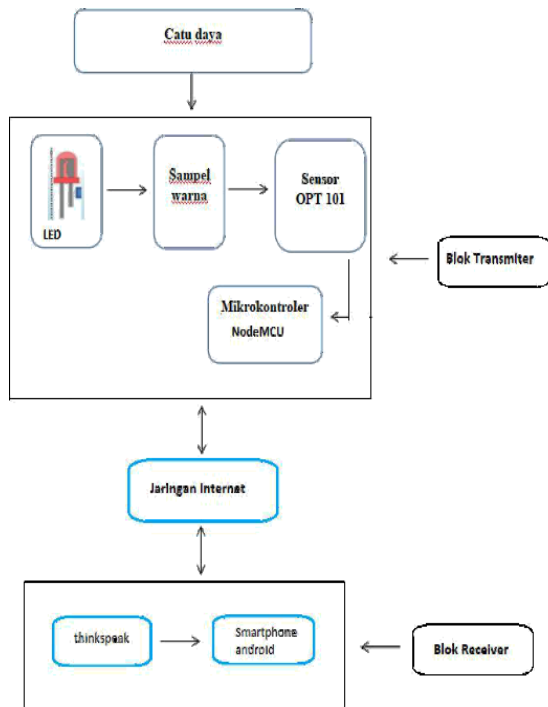
## METODE PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen laboratorium. Penelitian ini menghasilkan sebuah alat *colorimeter* yang dapat kita gunakan sebagai alat ukur warna yang dapat menguji bagaimana intensitas warna larutan dari zat pewarna makanan. Selanjutnya, metode penelitian dijelaskan melalui blok diagram sistem, desain mekanik, dan desain perangkat lunak sistem.

### Blok Diagram Sistem

Rancang bangun *colorimeter* membutuhkan beberapa rangkaian elektronika dan dibuat berdasarkan sistem yang telah didesain. Dimana rangkaian LED, rangkaian sensor OPT101, mikrokontroler

NodeMCU yang dilengkapi oleh program *software* arduino serta *display* ke *smartphone*. Secara umum blok diagram dari sistem alat *colorimeter* secara keseluruhan dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



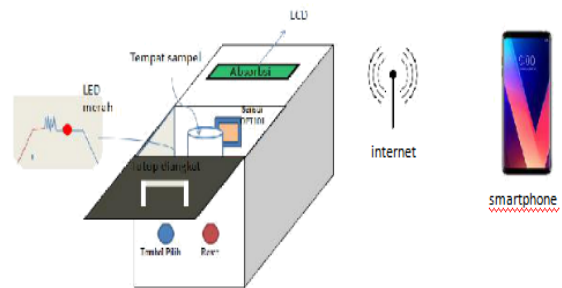
**Gambar 3.** Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem pada Gambar 3, menunjukkan catu daya yang diberikan sebagai sumber masukan untuk LED agar dapat menyala. Catu daya yang digunakan berasal dari *power supply* eksternal. Catu daya yang diberikan sebesar 5 Volt. LED merah karena sensor OPT101 sensitif terhadap cahaya warna merah. Cahaya yang dipancarkan oleh LED merah akan mengenai sampel, kemudian pancaran cahaya yang lolos dari sampel akan diterima oleh sensor OPT101. Setelah itu keluaran tegangan sensor akan diolah menggunakan nodeMCU agar keluaran dari sensor OPT101 berupa nilai respon sensor. Keluaran yang terbaca kemudian akan di-*upload* ke platform ThingSpeak melalui jaringan internet, kemudian data yang ada pada ThingSpeak, di-*download* dengan menggunakan *smartphone* Android dengan bantuan aplikasi akuisisi data yang telah dibuat di App

Inventor. Kemudian data ditampilkan pada *interface* aplikasi tersebut. Data yang tampil dapat dalam bentuk nilai angka dan grafik data, selain itu data yang masuk ke sistem *smartphone* dapat kita simpan dalam bentuk file excel (.csv) yang disusun ke dalam tabel.

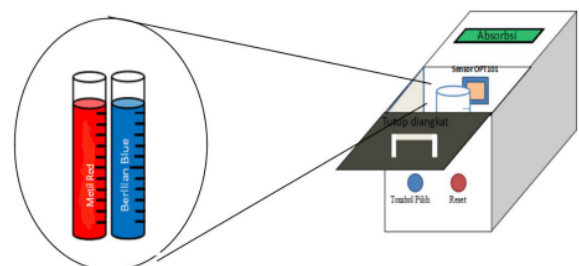
### Desain Sistem Mekanis

Rancang bangun *Colorimeter* sebagai pendeteksi pada pewarna makanan seperti pada Gambar 4. Prototipe alat meliputi desain modul pengolahan sinyal yang berfungsi sebagai modul penerima sinyal dari sensor dan sinyal dari sensor dikirim dan diproses di mikrokontroler nodeMCU.



**Gambar 4.** Rancang Bangun Alat *Colorimeter*

Gambar 4, memperlihatkan tempat rangkaian sensor OPT101, rangkaian LED merah dan tempat sampel yang akan kita deteksi. Sampel yang akan dideteksi dimasukkan ke dalam kuvet yang ada dalam kotak dan cara kerja dari alat telah ditanamkan program pada mikrokontroler nodeMCU. Sampel yang akan di uji diletakkan pada tempat dudukan tabung sampel. Peletakan sampel ke dalam alat ukur seperti cara kerja pada Gambar 5.



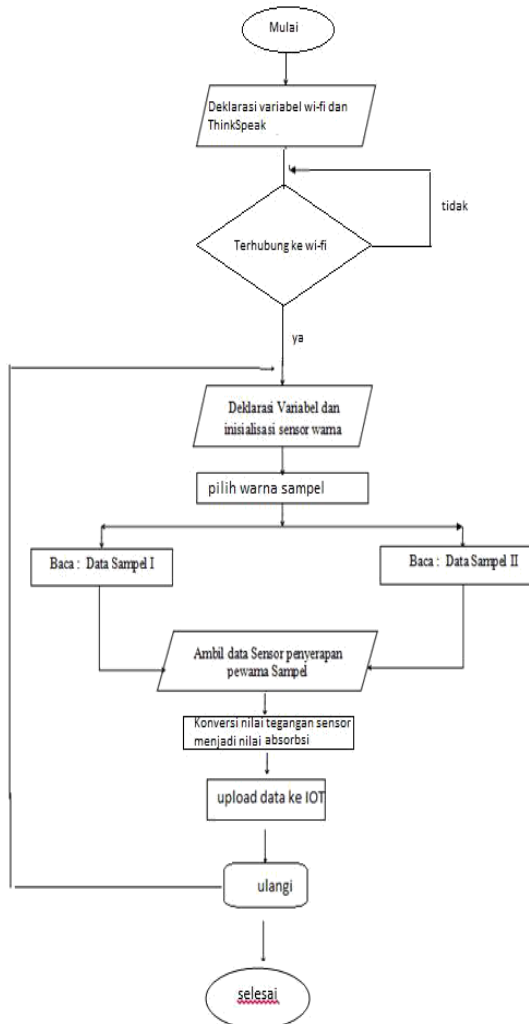
**Gambar 5.** Tempat peletakan sampel

Gambar 5 terdapat sampel *Metil Red* dan *Berlian Blue* yang mana salah satunya dimasukkan ke dalam kuvet yang ada pada

alat ukur *Colorimeter* dan mengukur penyerapan dari sampel tersebut.

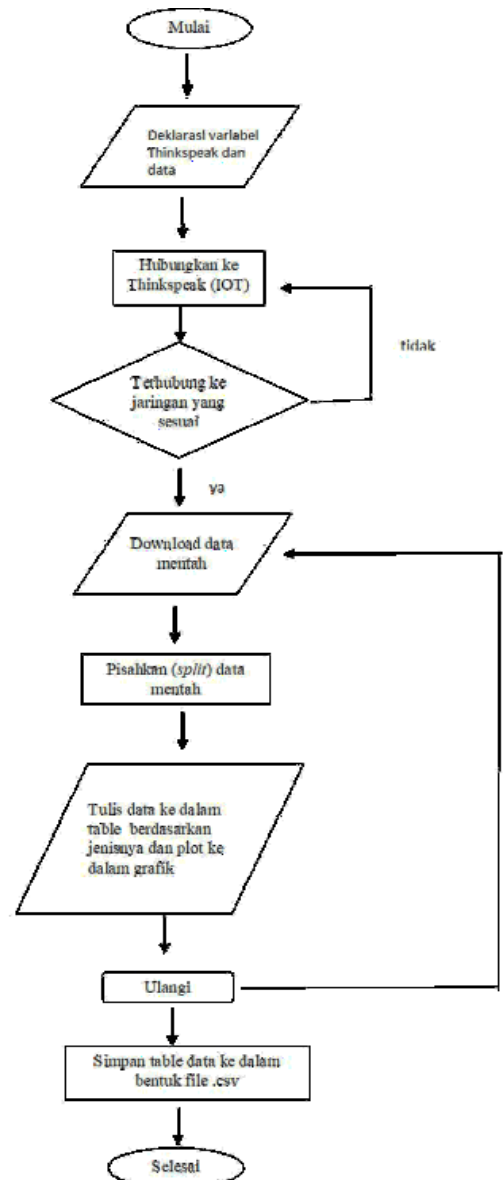
### Desain Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang ditanam pada mikrokontroller nodeMCU merupakan sebuah pemrograman berbasis arduino IDE. Proses kerja program dapat dilihat seperti *flowchart* pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Diagram alir kerja sistem nodeMCU

Selanjutnya untuk pembuatan aplikasi untuk sistem akuisisi data dari alat *colorimeter* ke *smartphone*, pemrograman untuk pembuatan aplikasi tersebut menggunakan App Inventor. Rancangan alur kerja dari aplikasi ini dapat dilihat pada *flowchart* seperti Gambar 7.



**Gambar 7.** Diagram alir kerja aplikasi sistem akuisisi data

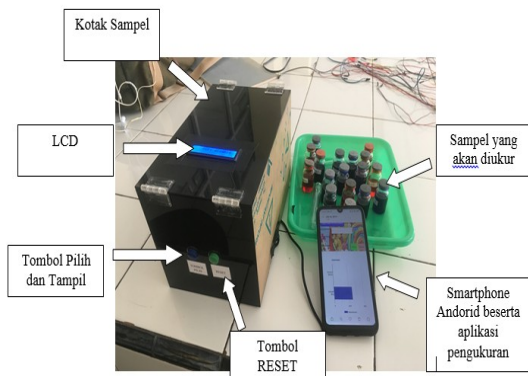
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Rancangan Alat

Alat *colorimeter* yang dibuat menggunakan bahan akrilik berbentuk balok dengan ukuran panjang 25 cm, lebar 15 cm dan tinggi 17 cm. Pada alat dipasang sebuah *display* digital yang hanya berfungsi untuk menampilkan data pengukuran secara langsung dan juga 2 tombol yang berfungsi mengatur pemilihan kerja alat. Selain itu, juga terdapat *smartphone* android yang telah di-install aplikasi akuisisi data, digunakan untuk penampilan data dalam bentuk angka



dan grafik, dan juga proses perekaman data yang dapat dilakukan dari jarak jauh karena adanya koneksi internet. Hasil rancangan alat ukur dapat dilihat pada Gambar 8.

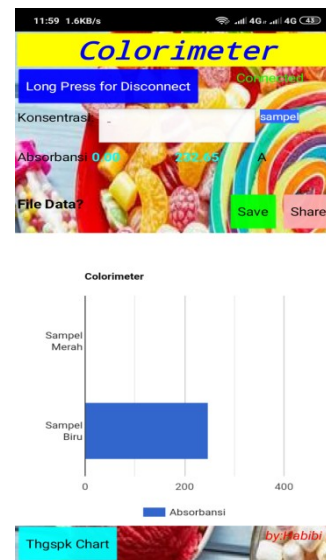


**Gambar 8.** Alat colorimeter menggunakan sensor OPT101.

Pada bagian dalam alat ini, terdapat 2 ruangan, yaitu ruang berbagai rangkaian komponen elektronik dan ruang peletakan sampel untuk melakukan pengukuran dengan menggunakan sensor OPT101 dan lampu LED merah. Alat ini dilengkapi dengan sistem *input* dan *output* serta *transmitter* dan *receiver*. *Input* terdiri tombol pilih mode pengukuran jenis sampel dan tombol *reset* sedangkan *output* merupakan *smartphone*. *Transmitter* yaitu mikrokontroler nodeMCU yang mengirim data ke *platform* ThinkSpeak via jaringan internet sedangkan *receiver* adalah *smartphone* android dengan aplikasi sistem akuisisi data yang telah dibuat dengan App Inventor.

Mikrokontroler yang digunakan adalah NodeMCU ESP8266. NodeMCU ESP8266 merupakan sebuah mikrokontroler yang dilengkapi dengan modul Wi-Fi sehingga dapat mengakses jaringan internet. NodeMCU diprogram menggunakan Arduino IDE untuk dapat tersambung ke pemancar Wi-Fi sehingga dapat mengakses internet. Data dikirim dari NodeMCU ESP8266 ke server thingspeak. Kemudian dengan menggunakan *smartphone* android dengan aplikasi sistem akuisisi data yang telah dibuat dengan App Inventor, melakukan proses download data dari server ThingSpeak, agar data yang tampil pada *smartphone* dapat

disimpan dan *update* secara *realtime*. *Interface* aplikasi akuisisi data pada *smartphone* dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** *Interface* aplikasi pada *Smartphone*

#### Data Pengukuran

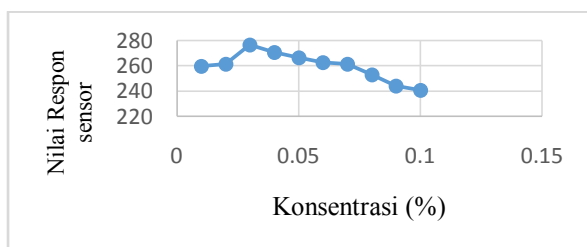
**Tabel 1.** Data pengukuran sampel merah dengan 10 variasi konsentrasi

No.	Konsentrasi Sampel Merah (%)	Nilai Respon sensor
1	0.01	259.737
2	0.02	261.342
3	0.03	276.698
4	0.04	270.625
5	0.05	266.421
6	0.06	262.758
7	0.07	261.584
8	0.08	252.836
9	0.09	244.037
10	0.1	240.762

Studi awal rancang bangun alat Colorimeter ini menentukan besar perubahan nilai respon sensor terhadap perubahan konsentrasi pewarna makanan. Percobaan pengukuran menggunakan 2 jenis sampel pewarna makanan yaitu sampel berwarna merah (*Metil Red*) dan sampel berwarna biru (*Berilliant Blue*). Pengukuran dilakukan dengan melarutkan zat warna dengan variasi

konsentrasi dari 0.01% sampai dengan 0.1%. Sehingga data hasil pengukuran yang baca oleh sensor OPT101 berdasarkan sinar LED yang lolos melalui sampel. Sinyal keluaran sensor tersebut diproses pada mikrokontroler nodeMCU sehingga mendapatkan nilai angka yang dapat dibaca. Percobaan pengukuran untuk sampel pertama yaitu sampel berwarna merah, hasil data pengukuran dapat dilihat seperti pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 diatas, kemudian diplot ke dalam bentuk grafik untuk melihat hubungan antara nilai konsentrasi sampel terhadap nilai keluaran sensor seperti pada Gambar 10.



**Gambar 10.** Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap nilai keluaran sensor.

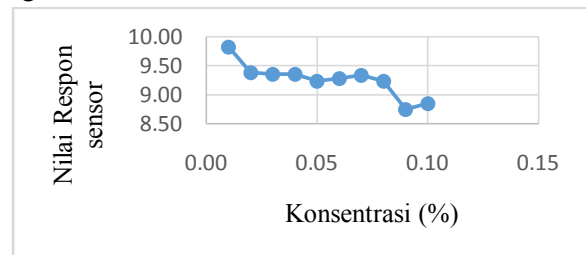
Berdasarkan Gambar 10, terlihat bahwa mayoritas data semakin pekat/semakin besar konsentrasi larutan sampel warna merah, maka semakin kecil nilai keluaran atau respon sensor.

Selanjutnya untuk pengukuran sampel kedua yaitu sampel biru, hasil data pengukuran dapat dilihat seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Data pengukuran sampel biru dengan 10 variasi konsentrasi

No.	Konsentrasi Sampel Biru (%)	Nilai Respon sensor
1	0.01	9.8280
2	0.02	9.3842
3	0.03	9.3553
4	0.04	9.3553
5	0.05	9.2410
6	0.06	9.2864
7	0.07	9.3353
8	0.08	9.2375
9	0.09	8.7488
10	0.1	8.8490

Berdasarkan Tabel 2. diatas, kemudian diplot ke dalam bentuk grafik untuk melihat hubungan antara nilai konsentrasi sampel terhadap nilai keluaran sensor seperti pada gambar 11.



**Gambar 11.** Grafik hubungan nilai konsentrasi terhadap nilai keluaran sensor

Berdasarkan Gambar 11, terlihat bahwa mayoritas data semakin pekat/semakin besar konsentrasi larutan sampel warna merah, maka semakin kecil nilai keluaran atau respon sensor.

Berdasarkan data dan grafik dari kedua jenis sampel terlihat bahwa pada titik konsentrasi tertentu, nilai keluaran atau respon sensor tidak linear. Hal ini mungkin disebabkan oleh sensitivitas sensor yang kurang stabil sehingga diperlukan jenis sensor yang lebih stabil untuk melakukan pengukuran.

## KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan pengukuran yang dilakukan, maka didapatkan hasil yang hampir sama dengan teori yang ada yaitu bahwa nilai keluaran atau respon dari sensor OPT101 umumnya berbanding terbalik terhadap nilai konsentrasi atau kepekatan warna dari larutan zat warna sampel. Semakin pekat suatu larutan zat warna, maka intensitas cahaya yang menembus zat tersebut semakin meredup, maka nilai keluaran sensor semakin kecil, karena hubungan nilai keluaran sensor berbanding lurus terhadap intensitas cahaya yang diterima. Dengan variasi konsentrasi 10 variasi konsentrasi berbeda, dengan rentang 0.01%-0.1%. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, didapat hasil nilai respon sensor yaitu untuk sampel merah dengan

rentang data dari 276.698 menurun sampai 240.762, sedangkan untuk sampel biru dari rentang 9.828 menurun sampai 8.75. Nilai untuk sampel biru jauh lebih kecil dikarenakan sampel biru jauh lebih pekat dari sampel merah. Selain itu, jenis sensor yang digunakan untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya jenis sensor yang lebih stabil lagi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kemenristek Dikti RI atas Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi 2019, Ketua Tim Dr. Yulkifli, M.Si., No. Kontrak : 425/UN35.13/LT/2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gadgrave, I. 2009. *Modern Teaching of physics*. United Kingdom: Global Media.
- Doebelin, Ernest. O. 1992. *Sistem Pengukuran Aplikasi dan Perancangan*. Jakarta: Erlangga
- Anggoro, Cosmas Jerry. 2016. *Identifikasi dan Pengukuran Konsentrasi Pewarna Merah dalam Sampel Minuman Menggunakan Detektor Emission Spectrometer dan Colorimeter*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Yulkifli, P Kahar, R Ramli, S B Etika, dan C Imawan. Development of color detector using colorimetry system with photodiode sensor for food dye determination application. IOP Conf. Series: *Journal of Physics: Conf. Series* **1185** (2019) 012031. doi:10.1088/17426596/1185/1/012031
- J. Basset, R.C et.al.1991. *Buku Ajar Vogel: Kimia Analisis Kuantitatif Anorganik terjemahan dari Vogel's Textbook of Quantitative Inorganic Analysis Including Elementary Instrumental Analysis, penerjemah: A. Hadyana P. dan Ir. L. Setiono*). Penerbit Buku Kedokteran EGC. ISBN 979-448-228-5.
- Yulkifli. 2011. *Sensor Fluxgate*. Batusangkar: STAIN Batusangkar Press
- Sugito, Heri, dkk. 2011. *Aplikasi Sensor OPT 101 sebagai Pendeteksi Intensitas Cahaya Untuk Rancang bangun Densitometer Berbasis Mikrokontroler ATmega8535*. Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UNDIP : Semarang.
- Kahar, Puja.2019. Studi Awal Rancangan Alat Colormeter Menggunakan Sensor Opt101 Untuk Menentukan Serapan Ekstrak Pewarna Alami Berbasismikrokontroler Arduino. *Pillar of Physics*, Vol. 12 No. 1, April 2019, 1 – 7, Padang:Universitas Negeri Padang
- Yulkifli, Yohandri, dan Zurian Affandi. 2016. Pembuatan Sistem Pengiriman Data Menggunakan Telemetry Wireless untuk Detektor Getaran Mesin dengan Sensor Fluxgate. *Jurnal Ilmiah SETRUM*. Vol. 5 (2), 57-61. p-ISSN : 2301-4652/e-ISSN : 2503-068X
- Khoir, M. Mufidul. 2018. Rancang Bangun Alat Monitoring Pasang Surut Air Laut Berbasis Internet of Thing (IoT). *Skripsi*. Universitas Islam Sunan Ampel Surabaya: Surabaya
- Allen, Sarah,Vidal Graupera, Lee Lundrangan.2010. *Pro Smartphone Cross-Platform Development : iPhone,Blackberry,Windows Mobile and Android Development And Distribution*. United States: Apress
- Wihidayat, Maryono.2017. Pengembangan Aplikasi Android Menggunakan *Integrated Development Environment* (Ide) App Inventor 2. *Jurnal Ilmiah Edutic /Vol.4, No.1, November 2017*. Surakarta:Universitas Sebelas Maret
- Javed,Adeel.2016 *.Building Arduino Projects for The Internet of Things*. United States : Apress



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