

p-ISSN: 2549-0516

e-ISSN: 2549-7014

J I I F

JURNAL ILMU DAN INOVASI FISIKA

Volume 06, Nomor 02, 2022



Jiif Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika

Volume 06 No. 02 Agustus 2022

Penanggung Jawab

Kepala Departemen Fisika FMIPA Unpad

Ketua Editor:

Dr. Sahrul Hidayat (Fisika, UNPAD)

Editor Pelaksana :

Dr. Dadan Hamdani (Fisika, UNMUL)

Dr. Otong Nurhilal (Fisika, UNPAD)

Dr. Darmawan Hidayat (T. Elektro, UNPAD)

Dr. Risa Suryana (fisika, UNS)

Peer Reviewer:

Prof. Dr. Risdiana (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Camellia Panatarani (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. I Made Joni (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Ayi Bahtiar (Fisika, UNPAD)

Dr. Fitriawati (Fisika, UNPAD)

Dr. Esmar Budi (Fisika, UNJ)

Dr. Nowo Riveli (Fisika, UNPAD)

Dr. Rahmat Hidayat (Fisika, ITB)

Dr. Annisa Aprilia (Fisika, UNPAD)

Prof. Dr. Yudi Rosandi (Geofisika, UNPAD)

Dr. Asep Harja, (Geofisika, UNPAD)

Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF) merupakan jurnal ilmiah yang memuat hasil-hasil penelitian yang mencakup kajian teoretik, simulasi dan modeling, eksperimen, rekayasa dan eksplorasi dalam bidang Fisika dan Aplikasinya. Jurnal ini terbit secara berkala sebanyak dua kali dalam setahun (Februari dan Agustus). Redaksi menerima naskah ilmiah hasil penelitian, pikiran dan pandangan, review, komunikasi singkat dalam bidang Fisika dan Aplikasinya. Petunjuk penulisan artikel tersedia di dalam setiap terbitan dan secara online. Artikel yang masuk akan melalui proses seleksi mitra bebestari dan disetujui oleh dewan editor.

Penerbit: Departemen Fisika FMIPA Unpad

Terbit pertama kali: 2017

Terbit dua kali setahun (Februari, Agustus)

Alamat Editor:

Sekretariat Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika (JIIF)

Departemen Fisika Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Jatinangor Sumedang 45363

Telpon: 022 779 6014, Fax: 022 779 2435

Alamat email jurnal: jiif@phys.unpad.ac.id

Website: <http://jurnal.unpad.ac.id/jiif>

JlIF Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika

Volume 06 No. 02 Agustus 2022

Daftar Isi

	Hal
Pemanfaatan Karbon Aktif dari Sekam Padi Sebagai Elektroda Superkapasitor <i>Aryani Nurul Huda</i>	102 - 113
Penentuan Awal Waktu Subuh Menggunakan Kamera DSLR dan Metode Moving Average <i>Hariyadi Putraga</i>	114 - 122
Analisis Percepatan Getaran Tanah Maksimum Untuk Memetakan Kerawanan Bencana Gempa Bumi dengan Metode Fukushima-Tanaka, Esteva dan Euclidean Distance di Pulau Lombok <i>Amalia Latifa</i>	123 - 130
Pengaruh Aktivator dan Kalsinasi terhadap Luas Permukaan Arang Aktif Eceng Gondok <i>Otong Nurhilal</i>	131 - 136
Rancang Bangun Alat Deteksi Tanah Longsor Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan MPU6050 <i>Rosa Mega Utama</i>	137 - 146
Rancang Bangun Alat Monitoring Pasang Surut Air Laut Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan HC-SR04 <i>Ria Dwi Agustin</i>	147 - 157
Perbandingan Karakteristik Sel Superkapasitor Berbahan Komposit GO/TiO₂ yang Dibuat Melalui Proses Termal Dengan dan Tanpa Autoclave <i>Saajidah Fathinal Haq</i>	158 - 165
Study of Chemical Structure and Electrical Properties of Nitrogen-Doped Activated Carbon from Candlenut Shell (Aleurites Moluccana) <i>Sahrul Hidayat</i>	166 - 173
Studi Adsorpsi Methylene Blue oleh Graphene Oxide Dengan dan Tanpa Penyinaran Menggunakan Sinar UV-A <i>Istiqamah Nurul Hikmah</i>	174 - 181
Pengaruh Penambahan Nanopartikel ZnO Terhadap Morfologi Nanokomposit TiO₂/ZnO <i>Lusi Safriani</i>	182 - 188

PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI SEKAM PADI SEBAGAI ELEKTRODA SUPERKAPASITOR

ARYANI NURUL HUDA*, INDRI LESTARI, SAHRUL HIDAYAT

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363,
Sumedang, Jawa Barat, Telp. 022-7796014*

**email : aryani18001@mail.unpad.ac.id*

Abstrak. Supercapacitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana supercapacitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki *energy density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional. Pada penelitian ini digunakan jenis supercapacitor *Electric Double Layer Capacitor* (EDLC), dimana komponen penyusun supercapacitor EDLC yaitu elektroda, separator dan elektrolit. Salah satu aspek yang mempengaruhi tingkat keefektifan supercapacitor yaitu pemakaian bahan elektroda, disini digunakan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi yang dibuat melalui proses dehidrasi, karbonisasi pada suhu 400°C, aktivasi kimia menggunakan activator KOH 30% dan aktivasi fisika pada suhu 800°C dalam aliran gas argon. Hasil analisis FTIR menunjukkan karbon aktif sekam padi memiliki gugus fungsi C=C, C-O dan C-H. Kehadiran gugus fungsi tersebut menunjukkan proses karbonisasi telah terjadi yang ditandai dengan dominannya gugus fungsi yang mengandung karbon. Hasil karakterisasi EDS menunjukkan sampel karbon aktif sekam padi memiliki kandungan karbon sekitar 78% (% atomic). Berdasarkan hasil pengukuran konduktivitas dengan metode *Four Point Probe*, lapisan karbon aktif sekam padi memiliki konduktivitas sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel dengan CMC 3%. Hasil pengujian pada sel supercapacitor dengan substrat Cu Foil dan elektrolit KOH 2M diperoleh nilai kapasitansi spesifik sebesar 8,56 F/g pada pengujian dengan scanrate 25 mV/s. Jika dianalisis berdasarkan kemampuan menyimpan muatan pada diagram ragone plot, nilai kapasitansi spesifik tersebut telah berada pada rentang nilai untuk divais supercapacitor.

Kata kunci: Supercapacitor, EDLC, karbon aktif, sekam padi, energi

Abstract. Supercapacitors are a new breakthrough in the field of energy storage, where supercapacitors have a higher power density than batteries and have a higher energy density than conventional capacitors. In this research, the electric double layer capacitor (EDLC) supercapacitor is used, where the components of the EDLC supercapacitor are electrodes, separators, and electrolytes. One aspect that affects the effectiveness of the supercapacitor is the use of electrode materials, here used electrodes made from rice husk activated carbon made through a dehydration process, carbonization at 400°C, chemical activation using 30% KOH activator and physical activation at 800°C in argon gas flow. The results of the FTIR analysis showed that the activated carbon of rice husk had C=C, C-O and C-H functional groups. The presence of these functional groups indicates the carbonization process has occurred which is characterized by the dominance of the functional groups containing carbon. The results of the EDS characterization showed that the activated carbon sample of rice husk had a carbon content of about 78% (% atomic). Based on the results of the conductivity measurement using the Four Point Probe method, the activated carbon layer of rice husk has a conductivity of $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ for the sample of activated carbon of rice husk without CMC $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ for samples

with 3% CMC. The test results on supercapacitor cells with Cu Foil substrate and 2M KOH electrolyte obtained a specific capacitance value of 8,56 F/g in the test with a scanrate of 25 mV/s. If analyzed based on the ability to store charge on the ragone plot diagram, the specific capacitance value is already in the range of values for supercapacitor devices.

Keywords: Supercapacitor, EDLC, activated carbon, rice husk, energy

1. Pendahuluan

Berbagai macam kegiatan manusia saat ini selalu menggunakan teknologi yang semakin canggih, seperti laptop dan handphone yang menyebabkan kebutuhan energi juga semakin meningkat. Teknologi tersebut memiliki piranti penyimpanan energi listrik, yang sebagian besar masih menggunakan baterai. Baterai sebagai media penyimpanan energi sangat dibutuhkan pada setiap peralatan yang membutuhkan energi listrik untuk memperpanjang masa penggunaannya. Dalam aplikasinya, baterai memiliki beberapa kelemahan diantaranya waktu pengisian relatif lama dan rapat daya yang dimilikinya kecil [1]. Salah satu alternatif media penyimpanan energi yang dapat mengatasi kelemahan baterai adalah divais Superkapasitor. Superkapasitor merupakan terobosan baru di bidang penyimpanan energi, dimana superkapasitor memiliki *power density* yang lebih tinggi dibandingkan baterai dan memiliki *energy density* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional [2]. Keuntungan lain dari superkapasitor yaitu tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang [3].

Electric Double Layer Capacitor (EDLC) merupakan salah satu jenis superkapasitor yang memiliki kestabilan siklus yang sangat baik, hal ini karena penyimpanan muatan EDLC terjadi secara elektrostatis dan tidak ada transfer muatan antara elektroda dan elektrolit [1]. Komponen penyusun superkapasitor EDLC yaitu elektroda, separator dan elektrolit. Prinsip kerja dari superkapasitor EDLC ini mengumpulkan muatan-muatan elektron bebas dari hasil penyerapan ion elektrostatis ke permukaan elektroda keping sejajar yang telah dilengkapi elektrolit diantara bahan konduktif pada area permukaan spesifik.

Salah satu aspek yang mempengaruhi tingkat keefektifan superkapasitor yaitu pemakaian bahan elektroda. Karbon merupakan salah satu jenis bahan yang digunakan sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor sebab mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi, konduktivitas listrik yang baik serta biaya produksi yang relative murah [4]. Beragam jenis bahan karbon digunakan sebagai bahan elektroda, salah satunya adalah karbon aktif. 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 [5].

Pada penelitian ini, dibuat suatu elektroda berbahan dasar karbon aktif dari bahan biomassa yang ketersediaannya melimpah di alam, seperti sekam padi. Dasar pemilihan sekam padi disebabkan karena sekam padi memiliki kandungan kimia yang terdiri atas 50 % selulosa, 25 – 30 % lignin, dan 15 – 20 % silika [6]. Selulosa dan lignin merupakan serat alam yang sebagian penyusunnya adalah karbon. Kandungan karbon pada selulosa dan lignin yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh karbon aktif.

Komponen lainnya yang memiliki peranan penting dalam meningkatkan nilai kapasitansi elektroda superkapasitor adalah elektrolit. Pada penelitian Tsay dkk (2012) melakukan pengukuran kapasitansi spesifik dari elektroda dengan elektrolit yang sama namun konsentrasi yang berbeda, dimana hasil kapasitansi spesifiknya memiliki nilai yang berbeda [7]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi elektrolit berpengaruh terhadap nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor. Dengan demikian diperlukan optimasi konsentrasi elektrolit untuk memperoleh kapasitansi spesifik yang tinggi dan umur pakai yang panjang. Elektrolit yang umum digunakan yaitu KOH dan H₂SO₄ karena konduktivitas ionik yang tinggi. Elektrolit KOH dipilih karena termasuk senyawa elektrolit kuat yang ketika dilarutkan di dalam air akan terurai menjadi ion-ion yang memiliki mobilitas ionik tinggi [8].

Berdasarkan paparan diatas, maka akan dilakukan penelitian mengenai superkapasitor dari elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi untuk mengetahui karakteristik dari superkapasitor dan pada pengujiannya digunakan variasi konsentrasi elektrolit untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi spesifik superkapasitor tersebut.

2. Metode Penelitian

2.1 Pembuatan Karbon Aktif

Sekam padi dicuci dan dibersihkan dengan air suling, lalu dikeringkan dibawah sinar matahari (proses dehidrasi) selama 24 jam. Setelah itu, dipanaskan dengan oven pada suhu 100°C selama 3 jam. Selanjutnya proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 400°C selama 2 jam dengan menggunakan furnace. Hasil dari proses karbonisasi ini berupa karbon atau arang. Arang tersebut dihaluskan dengan menggunakan blender dan disaring menggunakan saringan dengan ukuran 200 mesh. Tahap selanjutnya adalah proses aktivasi, dimana proses aktivasi ini terdiri dari dua tahapan yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Pertama sampel karbon diaktivasi secara kimia dengan menggunakan larutan KOH 30% dengan perbandingan 1:5. Campuran karbon dan larutan KOH diaduk dengan pengaduk magnetic sampai tercampur dengan rata, lalu ditutup dengan parafilm dan didiamkan selama 24 jam di suhu 25°C. Sampel yang telah diaktivasi kimia dicuci dengan menggunakan larutan 12 ml HCl 3M yang diencerkan kedalam 100ml aquades. Larutan HCl tersebut dituangkan kedalam sampel sedikit demi sedikit hingga pH netral. Lalu dilakukan penyaringan karbon aktif dari larutan dengan kertas Whatman No.42. Karbon aktif yang sudah terpisah dari larutan selanjutnya dikeringkan pada suhu 100°C selama 3 jam dalam oven. Selanjutnya proses aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan karbon aktif tersebut pada tube furnace dengan suhu 800°C selama 1 jam dengan aliran gas Argon.

2.2 Pembuatan Elektroda

Pembuatan elektroda dilakukan dengan menggunakan teknik spraying (*spray-coating*) menggunakan *airbrush spraying*, dengan Cu-foil sebagai substrat elektroda superkapasitor. Pertama membuat preparasi sampel karbon aktif sekam padi yang akan dijadikan material elektroda. Sebanyak 0.03gram CMC tersebut dilarutkan dalam 10 ml aqua-DM. Kemudian, larutan tersebut diaduk diatas *magnetic stirrer* pada suhu ruangan (25°C) selama 30 menit sampai CMC tersebut larut. Sebanyak 0.97gram karbon aktif dimasukkan kedalam wadah yang berisi

larutan aqua-DM-CMC. Lalu diaduk kembali diatas *magnetic stirrer* pada suhu ruangan (25°C) selama 1 jam. Setelah membuat preparasi sampel, Cu foil yang digunakan sebagai substrat elektroda dibentuk persegi dan di letakkan diatas *hot plate* yang sudah dipanaskan pada suhu 90°C. Sampel yang sudah dipreparasi, dimasukkan kedalam wadah yang terhubung dengan spray. Pompa dinyalakan untuk memberikan tekanan pada spray. Kemudian, sampel dideposisikan dengan metode *spray-coating* pada Cu-foil sampai permukaan Cu-foil tertutup karbon dan perlakuan yang sama dilakukan pada sisi Cu-foil yang lain.

2.3 Karakterisasi

Karbon aktif sekam padi yang dihasilkan di uji menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive Spectroscopy* (SEM/EDS) dan *Four Point Probe* (FPP). Pengujian spektroskopi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari karbon aktif sekam padi tersebut. Pengujian SEM dilakukan dengan perbesaran 1000 kali yang bertujuan untuk melihat tampilan morfologi permukaan karbon dari elektroda karbon sedangkan pengujian EDS bertujuan untuk mengetahui komposisi yang terkandung pada permukaan elektroda karbon.

Untuk mengetahui konduktivitas karbon aktif sekam padi tersebut diuji dengan *Four Point Probe* (FPP), dimana pada pengujian FPP didapatkan data tegangan keluaran dan arus masukan. Dari data ini akan diperoleh nilai resistivity dan konduktivitas bahan sampel dengan menggunakan persamaan berikut

$$R = \frac{V}{I} \quad (1)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln(2)} \times \frac{V}{I} \quad (3)$$

Dimana ρ adalah resistivitas, ketebalan (t), tegangan output (V) dan arus listrik (I). Untuk nilai konduktivitas (σ) didapatkan dari persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (4)$$

Dan untuk karakterisasi dari superkapasitor dengan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi dilakukan dengan pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV). Untuk menghitung nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik, dan daya spesifik dari elektroda dapat menggunakan persamaan-persamaan di bawah ini.

$$C_{sp} = \frac{1}{2m \cdot \Delta V \cdot s} \left(\int_{V_1}^{V_2} i \, dV + \int_{V_1}^{V_2} i \, dV \right) \quad (5)$$

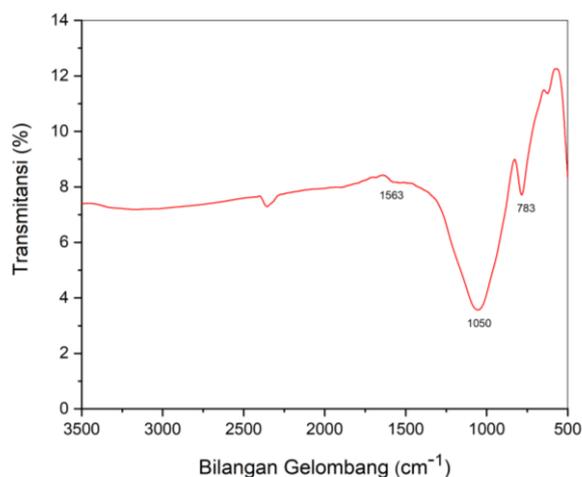
$$E_{sp} = \frac{1}{2} C_{sp} \Delta V^2 \quad (6)$$

$$P_{sp} = \frac{p}{m} \quad (7)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian FTIR

Karakterisasi sampel dengan menggunakan metode spektrofotometri infrared bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang terkandung dalam sampel. Hasil pengujian FTIR dilakukan pada sampel 1 gr karbon aktif sekam padi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola spectra hasil pengukuran FTIR sampel karbon aktif sekam padi

Berdasarkan Gambar 1 diatas terdapat gugus fungsi yang muncul pada sampel karbon aktif sekam padi tersebut, dimana gugus fungsi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah.

Tabel 1. Hasil pengukuran FTIR karbon aktif sekam padi

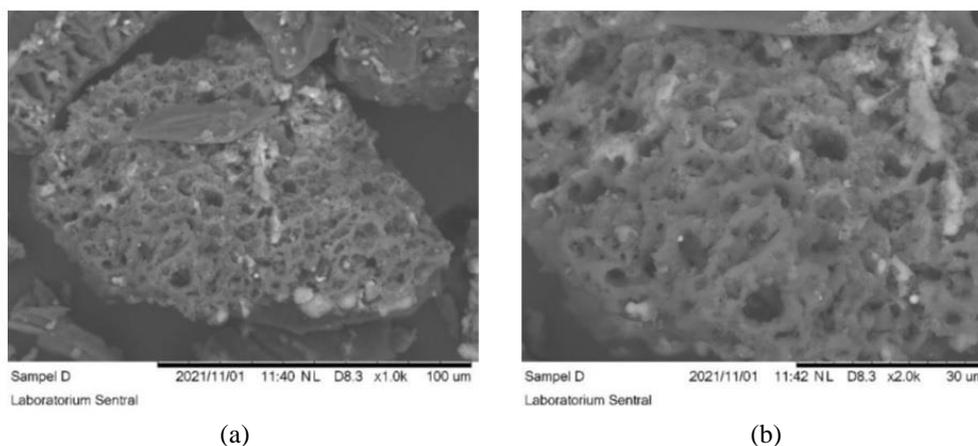
Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Pita Absorpsi	Ikatan Gugus Fungsional
783	675 - 995	C - H
1050	1050 - 1300	C - O
1563	1500 - 1680	C = C

Berdasarkan Gambar 1, spektrum menunjukkan beberapa gugus fungsi dalam sampel. Gugus fungsi yang muncul pada karbon aktif sekam padi ada pada bilangan gelombang 1563 cm⁻¹ yang merupakan puncak yang khas untuk gugus C=C. Kemudian puncak kedua dari sampel tersebut yakni pada serapan 1050 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi C-O. Puncak ketiga dari sampel tersebut yakni pada serapan 783 cm⁻¹ yang merupakan gugus fungsi C-H. Puncak yang tajam dari sampel tersebut berada pada ikatan gugus C-O. Keberadaan gugus C - O ini berarti bahwa C nya itu tidak murni membentuk ikatan karbon tetapi masih ada lengan-lengan yang mengikat O sehingga membentuk ikatan oksigen.

3.2 Pengujian SEM-EDS

Pengujian morfologi dari karbon aktif sekam padi dilakukan dengan menggunakan alat SEM yang dilengkapi dengan EDS untuk mengetahui unsur maupun senyawa – senyawa yang terkandung dari material tersebut. Pengujian SEM dilakukan pada perbesaran 1000x dan 2000x, dimana hasilnya terlihat pada Gambar 2. Pada

Gambar 2 tampak permukaan arang aktif sekam padi banyak mengandung pori yang berkontribusi pada peningkatan luas permukaan spesifik karbon. Pori-pori juga berkontribusi terhadap interkalasi ion-ion elektrolit ke bagian dalam dari material karbon aktif. Semakin besar luas permukaan spesifik karbon aktif akan semakin tinggi juga kapasitas muatan divais superkapasitor.



Gambar 2. Mikrograf SEM sekam padi (a) dengan perbesaran 1000x (b) dengan perbesaran 2000x

Selain dapat melihat pori yang terbentuk, dapat juga mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada sampel arang sekam padi yang di uji dengan istilah lainnya EDS. Hasil dari EDS dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Persentase kandungan unsur karbon aktif sekam padi

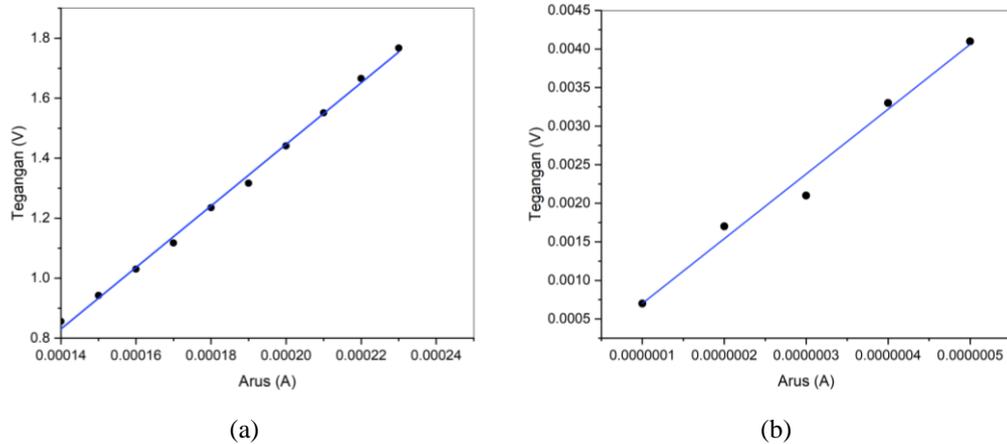
Unsur	Massa (%)	Atom (%)
C	70,91	78,44
O	21,83	18,13
Si	7,26	3,43
Total	100	100

Pada Tabel 2 terlihat bahwa besarnya persentase massa unsur karbon (C) pada karbon aktif sekam padi yaitu 70,91% dengan persentase atomik yaitu 78,44%. Sehingga unsur karbon pada karbon aktif sekam padi memiliki nilai yang cukup untuk dijadikan bahan dasar pembuatan elektroda pada superkapasitor. Kemudian dalam kandungan karbon aktif sekam padi memiliki kandungan oksigen yang masih cukup tinggi dengan persentase massa unsur oksigen (O) pada karbon aktif sekam padi yaitu 21,83% dengan persentase atomik 18,22% dan juga terdapat kandungan silika (Si) yaitu 7,26% dengan persentase atomik yaitu 3,43%.

3.3 Hasil Pengukuran Konduktivitas

Konduktivitas suatu bahan adalah kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Pengujian konduktivitas listrik dengan menggunakan metode FPP. Pengujian ini dilakukan pada sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC dan dengan CMC 3%. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan menghubungkan alat *four-point probe* ke sumber arus dan multimeter. Kemudian probe tersebut

diturunkan sehingga menyentuh permukaan sampel. Setelah itu arus dialirkan dan diamati nilai tegangan pada multimeter dari variasi perubahan arus yang diberikan. Gambar 3 dibawah ini merupakan grafik tegangan output terhadap arus input yang dihasilkan dari pengujian.



Gambar 3. Grafik tegangan terhadap arus karbon aktif sekam padi (a) tanpa CMC (b) dengan CMC 3%

Gambar 3 menunjukkan grafik kelinieran hubungan tegangan output dan arus input. Kelinieran ini menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus sesuai dengan Hukum Ohm. Pada grafik diatas terlihat bahwa adanya ketidaklinieran antara tegangan output dan arus input yang dihasilkan, hal ini dikarenakan sampel yang dibuat tidak terlalu homongen. Dari data tegangan output dan arus input yang dihasilkan tersebut dengan menggunakan persamaan (3) dan (4) maka akan diperoleh nilai konduktivitas dan resistivitas. Pada tabel 3 menunjukkan nilai konduktivitas dan resistivitas pada sampel yang diuji.

Tabel 3. Konduktivitas listrik karbon aktif

Sampel	Ketebalan (m)	$\bar{\rho}$ (ohm)	$\bar{\sigma}$ (S/m)
Karbon aktif Tanpa CMC	0,00021	6,57	$15,31 \times 10^{-2}$
Karbon aktif dengan CMC 3%	0,0003	10,59	$9,51 \times 10^{-2}$

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa konduktivitas dari karbon aktif sekam padi tanpa CMC sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ dengan deviasi rata-rata $1 \times 10^{-2} S.m^{-1}$. Nilai konduktivitas karbon aktif sekam padi tersebut terletak pada nilai $10^{-8} S.m^{-1}$ sampai $10^3 S.m^{-1}$ yang merupakan daerah nilai dari material semikonduktor. Hasil ini menunjukkan bahwa konduktivitas karbon aktif sekam padi ini masih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian Wang et al. (2011) tentang carbon black dari sekam padi dengan konduktivitas $21,6 S.m^{-1}$ [9]. Masih rendahnya konduktivitas yang dihasilkan dikarenakan masih tingginya kadar abu dan juga silika yang memiliki sifat isolatif listrik.

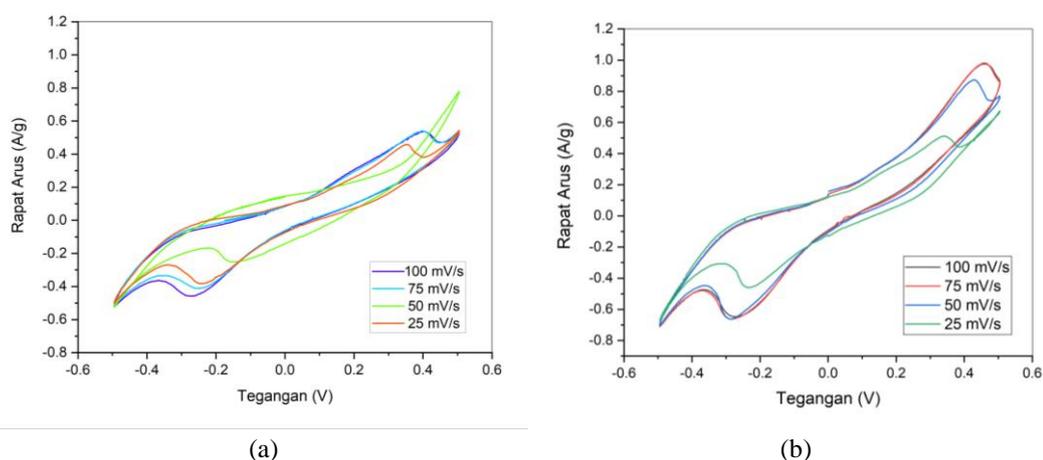
Untuk hasil konduktivitas dengan CMC 3% terlihat pada Tabel 3 didapatkan sebesar $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ dengan deviasi rata-rata $0,8 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ hasil ini

masih berada pada material semikonduktor. CMC (*Carboxymethyl Cellulose*) merupakan turunan dari molekul selulosa dengan asam hidroksi-asetat yang berperan sebagai binder atau perekat [10]. Hasil nilai konduktivitas listrik yang didapatkan dengan menggunakan CMC 3% ini mengalami penurunan dibandingkan dengan tanpa CMC. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh CMC yang memiliki sifat listrik yang kurang baik karena termasuk kedalam jenis isolator [11]. Selain itu, CMC juga dapat menutupi pori-pori material karbon aktif yang dapat meningkatkan resistansi elektroda. Sehingga mengakibatkan konduktivitas listrik karbon aktif akan berkurang. Penambahan CMC dapat meningkatkan daya rekat material elektroda terhadap substrat menjadi tidak mudah mengelupas.

3.4 Hasil Pengujian Cyclic Voltametry

Elektroda karbon aktif sekam padi diukur nilai kapasitansi spesifik penyimpanan energinya dengan menggunakan *cyclic voltammetry* (CV). Pengukuran CV ini menggunakan dua elektroda karbon aktif sekam padi yang disusun secara simetris yang direndam dalam larutan elektrolit. Elektrolit yang digunakan pada pengujian ini adalah larutan KOH dengan konsentrasi elektrolit 1M dan 2M. Pengukuran dengan metode *cyclic voltammetry* (CV) ini berdasarkan variasi tegangan awal dan tegangan akhir, dimana rentang tegangan yang digunakan pada penelitian ini dari -0,5 V sampai 0,5 V. Respon arus meningkat pada rentang kenaikan tegangan -0,5 V sampai 0,5 V dan respon arus menurun pada rentang tegangan 0,5 V sampai -0,5 V, sehingga dihasilkan kurva berbentuk hysteresis. Kurva hysteresis ini menunjukkan adanya muatan yang tersimpan pada elektroda, dimana semakin lebar bentuk kurvanya maka nilai kapasitansi yang dihasilkan akan semakin besar [12].

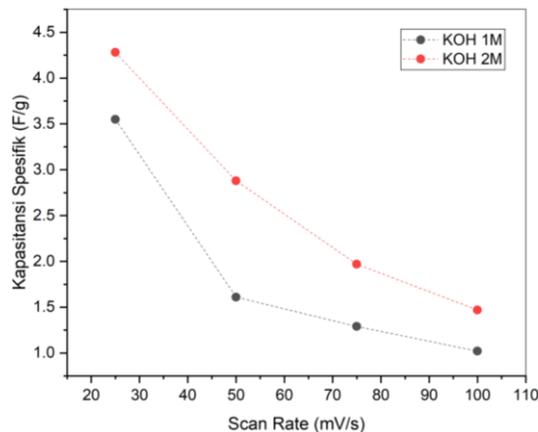
Pengujian CV dilakukan dengan variasi scan rate yang bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai kapasitansi spesifik dari superkapasitor. *Scan rate* yang digunakan pada penelitian ini yaitu 25 mV/s, 50 mV/s, 75 mV/s dan 100 mV/s. Gambar 4 berikut merupakan grafik hasil pengukuran CV dengan variasi *scan rate*.



Gambar 4. Kurva CV (a) dengan elektrolit KOH 1M (b) dengan elektrolit KOH 2M

Gambar 4 tersebut menunjukkan bahwa *scan rate* mempengaruhi luas daerah kurva hysteresis CV yang dihasilkan. Dimana terlihat dari perbandingan kurva dengan *scan rate* 100 mV/s lebih luas dibandingkan dengan kurva *scan rate* 25mV/s untuk

elektrolit KOH 2M, dengan demikian semakin besar *scan rate* maka akan semakin besar pula luas area kurva histeresis yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan ketika pengukuran menggunakan *scan rate* yang tinggi maka akan memberikan respon arus yang semakin besar dan memberikan pengaruh terhadap kecepatan transport dan separasi ion, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mengukur satu siklus akan cukup singkat. Sedangkan ketika menggunakan *scan rate* yang lebih rendah maka respon arus akan semakin kecil yang menyebabkan pengukuran satu siklus akan membutuhkan waktu yang cukup lama dibandingkan dengan *scan rate* yang tinggi. Karena *scan rate* mempengaruhi luas kurva hysteresis, maka akan mempengaruhi juga nilai kapasitansi yang dihasilkan. Berikut grafik nilai kapasitansi yang dihasilkan terhadap *scan rate*.



Gambar 5. Korelasi kapasitansi spesifik terhadap *scan rate*

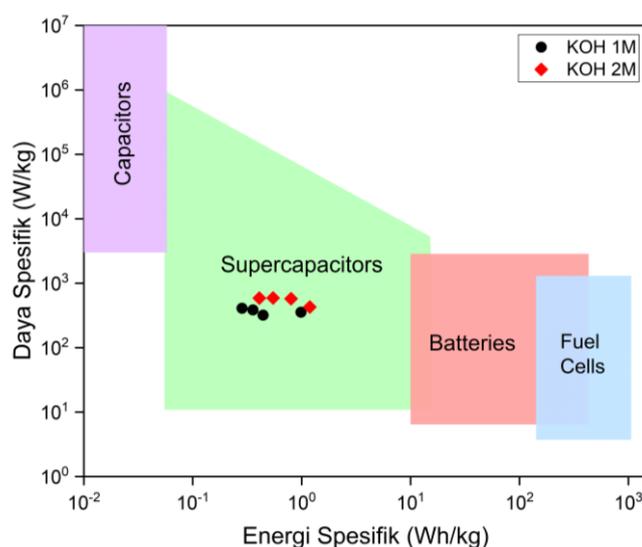
Dari Gambar 5 diatas terlihat bahwa nilai kapasitansi berbanding terbalik dengan *scan rate*, dimana semakin besar *scan rate* maka nilai kapasitansinya akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan *scan rate* yang besar memiliki waktu satu siklus lebih cepat sehingga akumulasi ion-ion elektrolit yang melekat pada permukaan elektroda menjadi lebih sedikit. Sedangkan jika *scan rate* kecil yang memiliki waktu satu siklus lebih lambat maka akumulasi ion-ion elektrolit yang melekat pada permukaan elektroda akan semakin banyak.

Selain *scan rate*, terlihat pada Gambar 4a dan 4b bahwa elektrolit KOH 2M memiliki kurva yang lebih luas dibandingkan dengan KOH 1M, sehingga konsentrasi KOH mempengaruhi besarnya bentuk kurva yang dihasilkan. Dimana semakin lebar bentuk kurva arus charge dan discharge yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan, terlihat pada Gambar 5. Nilai kapasitansi spesifik konsentrasi KOH 2 M terlihat pada Gambar 5 diatas lebih besar dibandingkan nilai kapasitansi spesifik konsentrasi KOH 1M. Penambahan konsentrasi KOH ini mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang didapatkan, hal ini dikarenakan larutan KOH 2 M akan memberikan konsentrasi OH⁻ yang lebih banyak dalam proses transfer ion yang terjadi pada permukaan elektroda dibandingkan dengan larutan KOH 1 M. Maka muatan yang tersimpan pada divais superkapasitor akan semakin besar seiring dengan meningkatnya konsentrasi elektrolit yang digunakan.

Hasil pengukuran CV ini dapat ditentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan (5), (6) dan (7). Tabel 4 menampilkan hasil perhitungan dari kurva CV diperoleh karakteristik superkapasitor dengan elektroda karbon aktif sekam padi.

Tabel 4. Konduktivitas listrik karbon aktif

Konsentrasi Elektrolit	Scan rate	Massa (g)	Kapasitansi Spesifik (F/g)	Energi Spesifik (Wh/kg)	Daya Spesifik (W/kg)
1 M	25	0,0025	7,1	0,986	355,06
	50		3,19	0,443	319,26
	75		2,57	0,357	385,78
	100		2,04	0,284	408,74
2 M	25	0,0025	8,56	1,189	428,05
	50		5,76	0,80	576,21
	75		3,94	0,548	591,60
	100		2,95	0,409	588,91



Gambar 6. Ragone plot superkapasitor elektroda karbon aktif sekam padi

Gambar 6 diatas menunjukkan performa superkapasitor yang disebut juga dengan “Ragone Plot”. Ragon plot merupakan grafik yang menggambarkan spesifikasi divais penyimpanan muatan listrik secara teoritik. Pada grafik tersebut tampak bahwa Baterai dan Fuel Cells memiliki Energi Spesifik yang tinggi dibanding Superkapasitor dan Kapasitor. Sedangkan Kapasitor dan Superkapasitor cenderung memiliki daya spesifik yang tinggi. Berdasarkan ragone plot tersebut terlihat bahwa hasil nilai energi spesifik dan daya spesifik yang dihasilkan superkapasitor dengan elektroda karbon aktif sekam padi tersebut berada pada daerah karakteristik superkapasitor.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa karbon aktif sekam padi dari analisis FTIR mengandung gugus fungsi C=C, C-O dan C-H. Dimana gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa sampel karbon aktif sekam padi tersebut didominasi oleh ikatan karbon. Berdasarkan hasil pengujian EDS diperoleh kandungan karbon tertinggi sebesar 70,91% (% massa) dan 78,44% (% atomik). Hasil pengukuran konduktivitas terhadap sampel elektroda karbon aktif sekam padi diperoleh nilai sebesar $15,31 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel karbon aktif sekam padi tanpa CMC dan $9,51 \times 10^{-2} S.m^{-1}$ untuk sampel yang menggunakan CMC 3%. Dan untuk mengetahui karakteristik dari superkapasitor dengan elektroda berbahan dasar karbon aktif sekam padi dilakukan analisis dengan menggunakan CV, dimana dihasilkan nilai kapasitansi spesifik paling tinggi sebesar 8,56 F/g pada perlakuan elektrolit KOH 2M dan scanrate 25mV/s. Kapasitansi spesifik tersebut dipengaruhi oleh konsentrasi elektrolit dan nilai *scan rate*. Naiknya nilai konsentrasi elektrolit cenderung meningkatkan nilai kapasitansi sedangkan naiknya *scan rate* cenderung menurunkan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan. Berdasarkan grafik pada ragon plot, nilai kapasitansi spesifik yang diperoleh pada penelitian ini telah berada pada rentang energi spesifik yang dimiliki oleh divais Superkapasitor.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah membiayai Penelitian ini melalui Hibah Penelitian Dasar Kontrak No. 2064/UN6.3.1/PT.00/2022, tanggal 17 Maret 2022.

Daftar Pustaka

1. D. A. Safitri, "Analisa Pengaruh Doping Nitrogen Terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor Berbahan Graphene," 2017.
2. I. Sitohang and Anggia, "Pembuatan Dan Pengujian Elektroda Superkapasitor Berbasis Graphene Dengan Metode Charging-Discharging," *Orphanet J. Rare Dis.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
3. Zuleta, Bjornbom, and Lundblad, "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon. Journal of The Electrochemical," *Society*, vol. 152, pp. 270-276., 2005.
4. F. Tumimomor, A. Maddu, and G. Pari, "Utilization of Bamboo Based Activated Carbon As Supercapacitor Electrode," *J. Ilm. Sains Vol.*, vol. 17, no. 1, pp. 73–79, 2017.
5. K. Natalia and E. Taer, "PENGARUH SUHU AKTIVASI TERHADAP SIFAT FISIS DAN ELEKTROKIMIA ELEKTRODA SUPERKAPASITOR DARI LIMBAH DAUN AKASIA (*Acacia mangium* Wild)," *Komun. Fis. Indones.*, vol. 16, no. 2, p. 81, 2019, doi: 10.31258/jkfi.16.2.81-86.
6. D. Sipahutar, "Teknologi Briket Sekam Padi," *Balai Pengkaj. Teknol. Pertan.*, vol. 0761, no. 341, 2017.
7. K. C. Tsay, L. Zhang, and J. Zhang, "Effects of Electrode Layer ompo i ion Thickne and lec oly e oncen a ion on Bo h pecific Capacitance and Energy Density of Supercapacitor," *Electrochim. Acta*, vol. 60, pp. 428–436, 2012.

8. M. Ena, "Pengaruh Variasi Larutan Elektrolit Terhadap Produksi Brown's Gas," *J. Tek. Mesin Univ. Islam Malang*, vol. 17, no. 2, p. 10, 2016.
9. L. Wang, Z. Schnepf, and M. M. Titirici, "Rice husk-derived carbon anodes for lithium ion batteries," *J. Mater. Chem.*, vol. A, 17, pp. 5269–5273, 2013.
10. A. Metodiev, "Electric Properties of Carboxymethyl Cellulose," in *Cellulose - Fundamental Aspects*, 2013.
11. E. Sundari, "Penyediaan hydrogel aluminium battery berbasis carboxymethyl cellulose dengan elektrolit jeruk nipis," 2021.
12. E. Taer, S. Zulkifli, R. Syech, and R. Taslim, "Analisis Siklis Voltametri Superkapasitor Menggunakan Elektroda Karbon Aktif dari Kayu Karet Berdasarkan Variasi Aktivator KOH," *J. Fis. dan Apl.*, vol. 4, pp. 105–110, 2015.

PENENTUAN AWAL WAKTU SUBUH MENGGUNAKAN KAMERA DSLR DAN METODE MOVING AVERAGE

HARIYADI PUTRAGA *, ARWIN JULI RAKHMADI BUTAR-BUTAR,
MUHAMMAD DIMAS FIRDAUS, MUHAMMAD HIDAYAT

*Observatorium Ilmu Falak, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Denai No. 217 Medan, Sumatera Utara, Telp. 061-88811104*

*email : hariyadiputra@umsu.ac.id

Abstrak. Keberadaan Teknologi terutama optik dan digital yang dapat digunakan dengan pengaturan serupa dimanapun agar dapat dilaksanakan siapa saja dapat menjadi standar baru untuk penentuan dan tampilan visual awal waktu subuh yang terlihat di lapangan. Kamera Digital yang dapat diambil dengan berkala sehingga dapat menghasilkan deretan gambar sesuai waktu dan menunjukkan perbedaan langit saat transisi waktu subuh menjadi salah satu pilihan dan alat pembuktian awal waktu subuh di dunia.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan terdapat perbedaan awal waktu subuh menurut Kemenag dengan hasil olahan citra menggunakan metode moving average. Hasil olahan citra tersebut berhasil menunjukkan awal perubahan langit pada waktu subuh dengan terlihatnya perubahan nilai pixel yang signifikan. Dari penelitian ini ditemukan hasil awal waktu subuh pada tanggal pengamatan berada pada saat matahari pada dip $-17^{\circ} 12' 40''$. Pengamatan menggunakan SQM dengan pengolahan data menggunakan metode MA juga memberikan hasil yang sama dengan olahan citra dari kamera DSLR.

Kata kunci: Waktu subuh, kamera DSLR, olah citra, ImageJ, moving average

Abstract. The existence of technology, especially optics and digital, that can be used with similar settings anywhere so it can be implemented by anyone and become a new standard for the determination and visual view of early dawn time seen in the field. Digital cameras could take periodically so that they can produce a series of images according to time and show the difference in the sky when the transition of dawn time and be an option for the beginning of dawn time in the world evidentiary.

The results of this study showed that there was a difference at the beginning of dawn time according to the Ministry of Religion with the results of processed imagery using the MA method. The results of the imagery successfully showed the beginning of the change in the sky at dawn with the appearance of a significant change in pixel value. This study found that the initial results of dawn time on the observation date were at the time of the sun at a dip of $-17^{\circ} 07' 12''$. The observations using SQM with data processing using the MA method also gave the same results as image processing from DSLR cameras.

Keywords: Dawn, camera DSLR, image processing, ImageJ, moving average

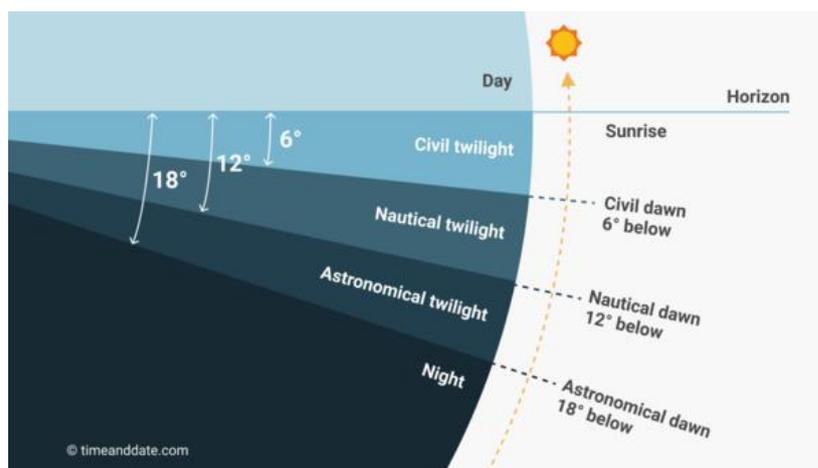
1. Pendahuluan

Awal waktu Subuh memiliki tanda masuk yang paling samar dibandingkan dengan tanda awal waktu shalat yang lain. Seiring perubahan zaman, dengan banyaknya aktivitas dan bangunan tinggi di setiap daerah, banyaknya penerangan buatan dan berbagai kendaraan, serta banyaknya polusi udara dari pabrik dengan asap-asapnya yang tebal yang sangat mempengaruhi kondisi langit di daerah tersebut. Hal ini

membuat kesulitan melihat tanda-tanda awal waktu shalat semakin tinggi terutama waktu shalat Subuh. Saat itulah kaum muslimin berijtihad (mencari jalan) untuk mengetahui tanda masuknya shalat yang menjadi samar, di antaranya yaitu dengan membuat jadwal waktu-waktu shalat berdasarkan atas penglihatan sebelumnya dan mengikuti jadwal-jadwal yang ada di negara-negara Islam [10].

Pendapat para ulama ahli hisab kontemporer seperti Jamil Djambek, Saaduddin Djambek, Abdurrahim, Taufiq, Wahyu Widiana, KH. Noer Ahmad telah merumuskan ketinggian matahari saat fajar shadiq berdasarkan pengamatan sekitar 18 – 20 derajat. Di Indonesia, ijtihad yang digunakan adalah posisi matahari 20 derajat di bawah ufuk, dengan landasan dalil syar'i dan astronomis yang dianggap kuat, karena wilayah Indonesia dilewati garis Ekuator (khatulistiwa) atau sekitar Ekuator dengan lintang tempat lebih dekat dengan Ekuator dan atmosfer lebih tebal (tebal troposfer di lintang rendah/ dekat sekitar ± 17 km), maka kriteria waktu Subuh yang digunakan tinggi matahari 20° di bawah ufuk. Kriteria tersebut yang kini digunakan oleh Badan Hisab Rukyat Departemen Agama RI sampai ada penelitian yang terpercaya dan meyakinkan dengan melakukan observasi. (MUKER Depag RI di Semarang tanggal 23-25 Maret 2010) [10].

Dalam astronomi, fajar dibedakan menjadi tiga berdasarkan ketinggian Matahari di bawah horizon, yaitu fajar astronomi, fajar nautikal, dan fajar sipil. Pada saat ketinggian Matahari 18 derajat sampai 12 derajat dibawah horizon, fajar ini dinamakan fajar astronomi (astronomical twilight). Pada saat fajar astronomi, langit sudah gelap sehingga benda-benda di sekitar tidak dapat dibedakan kecuali mata sudah beradaptasi cukup lama dalam kegelapan. Fajar nautikal (nautical twilight) terjadi pada saat ketinggian Matahari berada pada 12 derajat sampai 6 derajat dibawah horizon. Pada saat fajar nautikal, langit masih cukup gelap atau remang-remang sehingga batas horizon di pantai dan awan tidak terlihat jelas. Fajar sipil (civil twilight) terjadi bila ketinggian Matahari berada pada 6 derajat dibawah horizon sampai horizon. Ciri fajar sipil adalah hamburan cahaya Matahari sudah cukup terang, sehingga benda-benda di sekitar depan dengan mudah dibedakan tanpa membutuhkan bantuan lampu [5]. Gambaran umum fajar dan senja dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambaran umum fajar (sumber: timeanddate.com)

Penelitian waktu subuh juga masih tetap berlangsung, baik menggunakan pengamatan mata secara langsung, *remote sensing*, *remote collective*,

menggunakan instrumen pengambil citra maupun instrumen non-citra seperti Sky Quality Meter (SQM) secara manual ataupun dengan sistem otomatisasi. Keberadaan teknologi ini juga dapat menjadi langkah lebih maju untuk dapat memastikan awal waktu subuh yang sesuai dengan kriteria pada Hadist dan fenomena langit yang terjadi saat terjadinya perubahan siang dan malam tersebut dengan lebih akurat. Dengan keterbatasan kemampuan manusia yang relatif dan berbeda, tentu saja keberadaan instrumen dengan pengaturan yang sama dan dapat dilaksanakan oleh siapa saja dapat menjadi standar untuk kajian bersama dan penelitian yang dapat diulangi dan dikembangkan dengan dasar dan alat yang sama. Metode pengolahan juga dapat dilakukan dengan proses yang sama sehingga perbandingan antar lokasi dan instrumen masing-masing dapat dilakukan untuk mencapai simpulan terbaiknya.

Pengamatan waktu subuh menggunakan kamera *Digital Single Lens Reflex* (DSLR) atau kamera lainnya merupakan salah satu langkah yang dapat digunakan untuk mendampingi data hasil pengamatan waktu subuh yang menggunakan instrumen lain, misalnya SQM. Pengamatan menggunakan SQM menghasilkan luaran berupa pembacaan data terhadap kecerlangan langit dengan nilai sesuai lokasi, sedangkan dengan menggunakan kamera dapat memberikan hasil berupa citra yang selanjutnya dapat dilakukan pembacaan nilai pixel dari citra tersebut [3].

Data yang didapat dari instrumen-instrumen tersebut dapat disajikan dengan grafiknya sehingga dapat memperlihatkan waktu peralihan dari gelap ke terang. Beberapa faktor dapat mempengaruhi nilai dan data sehingga kurva yang dihasilkan dapat menghasilkan *noise*. Untuk mengurangi *noise* tersebut, penulis menggunakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk membangun kurva yang mendekati lebih baik dari kurva awal yang dihasilkan, menggunakan metode *moving average* (MA). Metode ini merupakan sebuah metode yang digunakan dalam analisis teknis untuk menunjukkan nilai rata-rata selama periode interval yang ditetapkan. Semakin sedikit *noise* yang dihasilkan maka semakin mudah menentukan waktu ketika terjadi awal peralihan dari gelap ke terang [3]. Fenomena alam yang terlihat di waktu pagi menjelang pergantian malam dan siang sebelum terbit matahari biasa disebut fenomena terbit fajar.

Berdasarkan kriteria Kemenag, keadaan langit awal waktu subuh terjadi saat matahari berada pada kedalaman 20 derajat dibawah ufuk, dalam penelitian tim Kemenag juga sudah mengklaim mendapatkan hasil mulai perubahan dari langit gelap dan muncul berkas cahaya secara visual yang menandakan awal mulai waktu subuh yang dilaksanakan di daerah Labuhan Bajo dan Banyuwangi. Klaim ini digunakan berdasarkan temuan pada pengamatan menggunakan instrumen SQM yang dalam hasil pengolahannya telah menunjukkan perubahan nilai pada pembacaan dan olahan data bertepatan pada kedalaman matahari 20°. Berbeda dengan lembaga lain yang juga melakukan pengamatan awal waktu subuh yang mendapatkan hasil *realtime* dan olahan yang menunjukkan matahari berada pada posisi yang lebih tinggi dari -20° atau lebih dekat di bawah ufuk. Begitu pula berdasarkan pengamatan penulis di lokasi observasi yang menemui keadaan langit secara langsung maupun hasil kamera masih terlihat gelap saat matahari berada pada ketinggian -20° dari ufuk.

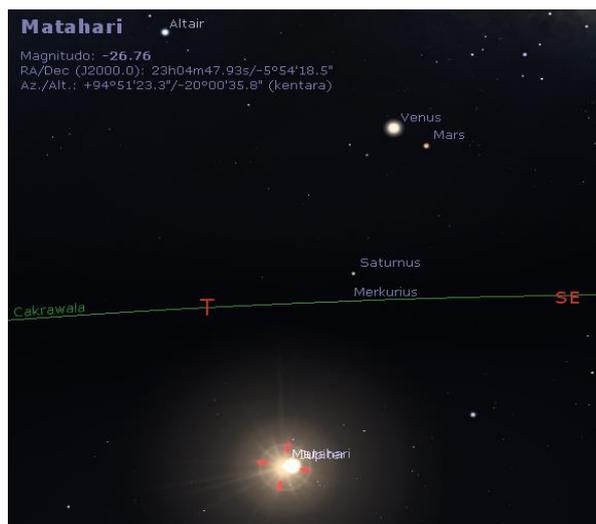
Untuk mendapatkan gambaran visual awal, penulis menggunakan perangkat lunak bernama Stellarium yang dapat memberikan gambaran visual dan simulasi dari benda langit dan keadaan langit pada waktu yang diinginkan. Dari Stellarium, pengguna dapat mengatur juga waktu dan lokasi koordinat pengamat sehingga

dapat ditampilkan hasil simulasi visualisasi untuk selanjutnya diambil gambar keadaan langit pada pengaturan tersebut [8]. Untuk waktu subuh kriteria Kemenag disimulasikan melalui Stellarium pada tanggal pengambilan data memberikan hasil tangkap layar pada Gambar 2. Tampilan gambar tersebut menunjukkan simulasi langit malam awal waktu subuh pada posisi matahari -20° dibawah ufuk pada tanggal pengamatan di koordinat kota Barus.



Gambar 2. Simulasi keadaan langit pada saat ketinggian -20° pada koordinat pengamatan di kota Barus (Sumber: Stellarium)

Salah satu fiturnya adalah menyembunyikan bagian ufuk atau tanah (ground) untuk melihat posisi matahari di bawah ufuk yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada gambar tersebut ditunjukkan Matahari berada di bawah garis cakrawala dengan keterangan di sebelah kiri gambar berupa Azimut/Altitud : $+94^\circ 51' 23.3'' / +20^\circ 00' 35.8''$. Data tersebut menunjukkan posisi matahari pada saat itu berdasarkan data *ephemeris* dan perhitungan Stellarium dikarenakan penelitian ini memfokuskan pengamatan perubahan di dekat ufuk, yang dapat diamati secara Visual. Berdasarkan simulasi dari Stellarium, keadaan langit masih terlihat cukup gelap.



Gambar 3. Simulasi Posisi Matahari di bawah Ufuk dan keadaan langit saat awal waktu subuh versi Kemenag. (Sumber: Stellarium)

Berdasarkan simulasi dari Stellarium, juga masih belum terlihat perubahan warna langit dari gelap malam menuju pagi atau masuk awal waktu subuh. Keadaan langit masih cukup gelap tanpa gangguan cuaca dan awan. Penelitian sebelumnya juga pernah mengambil data kecerlangan langit di barus menggunakan SQM dan mendapatkan hasil 21,6 MPSAS untuk langit timur [2].

Berkaitan dengan masalah di atas penulis ingin meneliti tentang permasalahan terbit fajar dan waktu subuh di tinjau dari pengambilan gambar melalui kamera DSLR yang diolah selanjutnya dengan pendekatan MA untuk mendapatkan waktu awal subuh pada hari pengamatan.

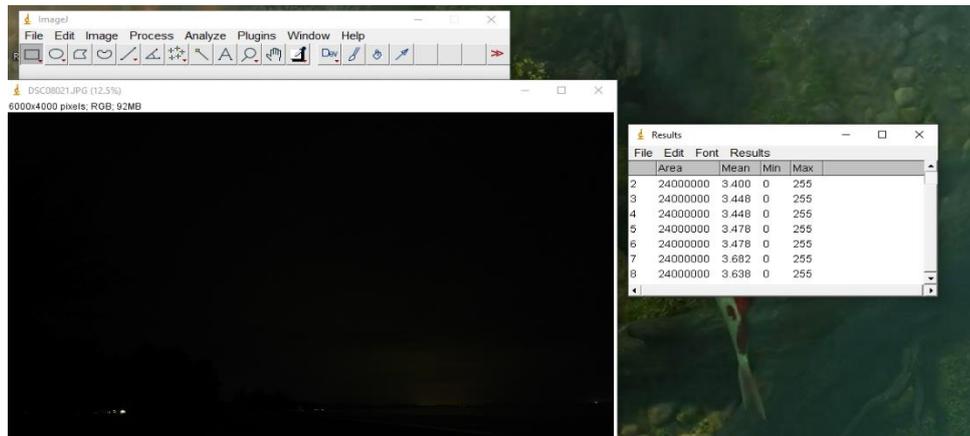
2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode observasi langit malam mendekati ufuk sebelah timur menjelang subuh, saat subuh Kemenag hingga langit mulai terang menggunakan kamera DSLR. Kamera yang digunakan adalah kamera Sony Alpha 7 Mark 3 dengan lensa standar. Pengaturan yang dilakukan untuk pengambilan gambar dengan mode manual pada pengaturan Apertur $f/3,5$ untuk mendapatkan kemungkinan cahaya tertangkap lebih tinggi [4], ISO 800 yang dirasa cukup baik dalam keadaan langit gelap dan transisi sehingga noise di citra bisa lebih sedikit, dan bukaan selama 10 detik untuk memastikan pergeseran benda langit dan perubahan cahaya lebih terlihat tertangkap kamera dengan pengambilan berkelanjutan selama 70 menit (30 menit sebelum waktu subuh dan 40 menit setelah waktu subuh Kemenag). Pengambilan citra dilakukan di pinggir Pantai yang berlokasi di desa Pantai Kedai Tiga, Kota Barus, Tapanuli Tengah, Sumatera Utara. Lokasi pengamatan berada pada koordinat $02^{\circ}00'23''$ LU dan $98^{\circ}25'45''$ BT.

Awal waktu shalat menggunakan kamera dapat ditentukan dengan mengamati hasil secara visual atau melakukan pengolahan data setiap citra untuk mendapatkan nilai yang selanjutnya dapat diproses secara matematis untuk mendapatkan waktu awal subuh. Dalam teknik pengolahan citra, akan terdapat sejumlah citra gambar yang akan diproses sebagai input yang kemudian menghasilkan output [6], teknik ini dapat dengan mudah diproses menggunakan PC atau laptop sebagai alat komputasi dalam memproses pengolahan citra. Dalam sebuah citra digital, terdapat suatu matrix berbentuk dua dimensi dengan fungsi $f(x,y)$, matriks ini terdiri dari kolom M dan baris N dengan perpotongan antara kolom dan baris disebut dengan pixel atau elemen terkecil sebuah citra. Pengolahan citra bertujuan untuk memudahkan interpretasi indra mata manusia terhadap mesin atau computer [11].

Setelah dilakukan pengambilan data citra, dilanjutkan dengan pengumpulan dan pemotongan data yang terdapat banyak noise pada rentang waktu setiap menitnya, selanjutnya dilakukan seleksi citra terbaik dalam rentang waktu tersebut. Dalam pengolahan citra digital, diperlukan software untuk mendapatkan data dan kualitas dari objek yang diamati [7]. Selanjutnya peneliti menggunakan perangkat lunak bernama ImageJ sebagai perangkat untuk mengolah citra yang selanjutnya dilakukan pengambilan nilai rata-rata pixel dari setiap citra yang diambil selama durasi observasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Selama pengamatan langit malam, nilai citra sebelum subuh akan memiliki nilai yang relatif sama, dan akan berbeda saat langit mulai terang dan meningkatkan nilai dari pixel di dalam citra. Salah satu fitur di ImageJ adalah dapat mengambil rata-rata nilai pixel dalam

sebuah citra sehingga dari sebuah citra akan menghasilkan nilai tunggal (citra 1 bernilai \bar{x}_1).



Gambar 4. Tampilan Pengolahan citra menggunakan ImageJ

Setelah itu, dibuatkan ke dalam tabel sehingga bila di plot akan dapat terbentuk grafik yang dapat dihitung menggunakan rumus untuk menemukan titik *cut off* sebagai penentu awal masuknya waktu subuh. Nilai tersebut juga akan menjadi standard dan referensi untuk penelitian lebih lanjut di kemudian hari.

Dalam penelitian ini menggunakan metode MA untuk pendekatan dan penyelesaian pengolahan data dari citra kamera. Metode MA merupakan sebuah metode yang sering digunakan dalam analisis teknis yang menunjukkan nilai rata-rata selama periode yang ditetapkan. Data yang dirata-ratakan merupakan data yang bergantung waktu (time series). Metode MA dapat digunakan untuk membuat kurva yang halus atau smooth dan menyaring noise data sehingga lebih mudah untuk melihat tren data tersebut [8]. Metode *Moving Average* dapat dirumuskan seperti persamaan (1).

$$A_t = \frac{D_t + D_{t-1} + D_{t-2} + \dots + D_{t-N+1}}{N} \quad (1)$$

dengan:

A_t = prediksi pada periode t+1

D_t = data rentet waktu

N = total jumlah periode rataaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengambilan data di lokasi pengamatan menggunakan interval setiap 10 detik yang sama dengan durasi eksposur kamera, dan menghasilkan sebanyak 205 data foto. Selanjutnya, dilakukan pemilihan dan reduksi data citra untuk mendapatkan hasil terbaik sesuai pada rentang waktu pengambilan gambar tersebut. Berikut adalah hasil data yang diperoleh.

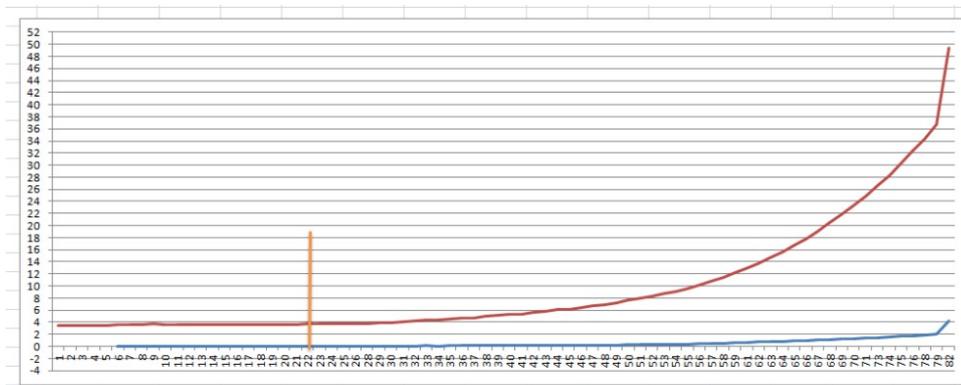
Data yang diproses adalah data dengan rentang setiap sekitar 30 detik sekali. Setiap citra yang telah dipisahkan diolah satu-persatu untuk mendapatkan nilai pada citra tersebut seperti pada Gambar 4. Dengan menggunakan fitur pada *software* ImageJ,

peneliti bisa mendapatkan nilai rata-rata pixel setiap citra. Nilai rata-rata ini yang akan menjadi rujukan dan diproses lebih lanjut untuk melihat perubahan nilai pada setiap citra.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Citra

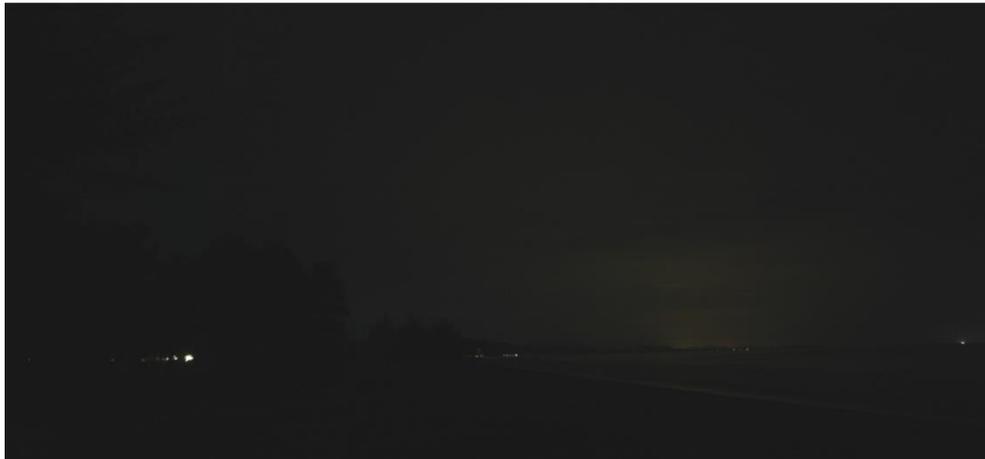
No	Photo ID	Mean	Time	Dip (deg)
1	DSC08001	3,4	05.18.00	-20:04:12
2	DSC08005	3,519	05.19.00	-19:49:17
3	DSC08007	3,448	05.20.00	-19:34:22
4	DSC08009	3,462	05.20.30	-19:26:54
5	DSC08013	3,478	05.21.00	-19:19:27
6	DSC08015	3,636	05.21.30	-19:11:59
7	DSC08017	3,682	05.22.00	-19:04:32
8	DSC08021	3,638	05.22.30	-18:57:05
.
.
20	DSC08051	3,685	05.28.30	-17:27:35
21	DSC08053	3,645	05.29.00	-17:20:08
22	DSC08055	3,781	05.29.30	-17:12:40
23	DSC08057	3,755	05.30.00	-17:05:13
24	DSC08059	3,778	05.30.30	-16:57:45
.
.
.
75	DSC08165	30,36	05.49.00	+02:32:48
76	DSC08167	32,338	05.49.30	+02:40:15
78	DSC08169	34,403	05.50.00	+02:47:42
79	DSC08171	36,668	05.50.30	+02:55:10
82	DSC08174	49,361	05.51.00	+03:02:37

Setelah menjadi angka, dilakukan proses analisis menggunakan metode MA pada *software* Microsoft Excel untuk mendapatkan titik nilai perubahan kecerahan langit. Selanjutnya data diproses menjadi grafik atau melakukan *plotting* kemudian menelaah antara hasil dari tabel dan hasil plot atau grafik untuk melihat awal perubahan langit subuh seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



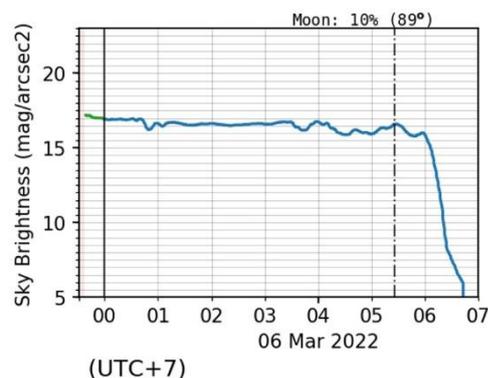
Gambar 5. Grafik kecerlangan langit dan pendekatan Moving Average

Berdasarkan pendekatan metode MA didapatkan perubahan warna langit ditemukan pada citra nomor 22 (Gambar 6) atau pada pengambilan sekitar pukul 05:29:30 WIB dengan ketinggian matahari pada saat itu berada pada elevasi $-17^{\circ} 12' 40''$. Dari hasil penelitian ini didapatkan selisih sebesar $2^{\circ} 47' 20''$ atau 11 menit lebih lama daripada dip matahari berdasarkan kriteria Kemenag yang menggunakan dip -20° sebagai awal waktu subuh pada pukul 05:18 WIB untuk daerah Kota Barus, Tapanuli Tengah.



Gambar 6. Hasil citra nomor 22 setelah dinaikkan kecerahan 10%

Pada hasil visual gambar juga dapat terlihat peningkatan kecerahan warna langit antara citra 21 ke 22 dan semakin terang pada citra setelahnya. Metode MA menunjukkan dapat membantu mengambil keputusan dan menunjukkan titik balik kurva yang menjadi awal waktu subuh dari data yang diambil.



Gambar 7. Hasil pengamatan awal waktu subuh pada SQM

Pada pengamatan peneliti menggunakan SQM di waktu dan lokasi yang sama juga memberikan hasil awal waktu subuh pada titik yang hampir sama dengan hasil pada pengolahan citra DSLR melalui metode MA, yaitu pada waktu mendekati pukul 05:29 WIB yang ditunjukkan oleh Gambar 7.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis menggunakan pendekatan metode MA peneliti memperoleh penentuan titik pancung (*cut off*) saat grafik mulai menunjukkan perubahan nilai signifikan dari data citra yang berada pada pukul 05.29.30 WIB dengan fajar Shadiq muncul terjadi pada saat Matahari berada pada dip $-17^{\circ} 12' 40''$ dibawah ufuk, hal ini berarti menunjukkan selisih sebesar waktu terdapat 11 menit lebih lama dari awal waktu subuh yang ditetapkan Kemenag yang menggunakan kriteria Matahari berada pada dip -20 . Data dari pembacaan SQM juga menunjukkan hasil yang sama dengan pengolahan citra kamera DSLR.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Pimpinan Universitas yang telah memberikan kesempatan, persetujuan dan bantuan finansialnya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan, dan kepada para pihak yang ikut serta terlibat baik secara langsung dan tidak langsung terhadap penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. A. Damanhuri, Pengamatan dan Penelitian Awal Waktu Subuh: Semua Bisa Melakukannya. Sidoarjo: Nizamia Learning Center (2020), p. 72-73.
2. A. J. R. Butar-Butar, *et al.* *The feasibility study of Barus city as the new astrotourism destination from astronomical and meteorological aspects.* Journal of Physics: Conference Series 2214 (2022), p.5.
3. A. Y. Raisal, Pemanfaatan Metode MA dalam Menentukan Awal Waktu Shalat Subuh Menggunakan Sky Quality Meter (SQM). Al-Marshad: Jurnal Astronomi Islam dan Ilmu-Ilmu Berkaitan. Vol. 5, No. 1 Juni 2019 (2019), p.8.
4. B. Dharmawan, Belajar Fotografi dengan Kamera DSLR: Jalan Menuju Fotografer Profesional. Yogyakarta: Pustaka Baru Press (2013).
5. D. Herdiwijaya, Makalah Narasumber Halaqah Nasional Ahli Hisab dan Fikih Muhammadiyah. Yogyakarta: Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah (2016).
6. H. Putraga, Astronomi Dasar. Medan: CV. Prima Utama. (2016), p.139.
7. H. R. Setiawan, H. Putraga, Stellarium dan Google Earth, Simulasi waktu shalat dan arah Kiblat. Medan: UMSU Press (2018), p. 128.
8. I. Abbas, Penerapan Metode MA(MA) Berbasis Algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk Membandingkan Pola Kurva dengan Trend Kurva pada Trending Forex Online. Jurnal Ilmiah ILKOM Volume 8 Nomor 1 (2016), p. 38.
9. Muwardi et al., Pengolahan Citra dan Pengklasifikasi Jarak. vol. 3, no.1 (2016), pp. 14– 131.
10. Q. Zaman, Terbit Fajar dan Waktu Subuh (Kajian Nash Syar'i dan Astronomi). Mahakim: Journal of Islamic Family Law. Vol. 2 No.1 Januari 2018 (2018) 27-29.
11. S. Sugiarti, S, Peningkatan Kualitas Citra Dengan Metode Fuzzy Possibility Distribution, Ilk. J. Ilm., vol. 10, no. 1 (2018), p.100-104.

ANALISIS PERCEPATAN GETARAN TANAH MAKSIMUM UNTUK MEMETAKAN KERAWANAN BENCANA GEMPA BUMI DENGAN METODE FUKUSHIMA-TANAKA, ESTEVA DAN EUCLIDEAN DISTANCE DI PULAU LOMBOK

AMALIA LATIFA, LALU AHMAD DIDIK MEILYADI *, BAHTIAR

*Program Studi Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
Universitas Islam Negeri Mataram
Jln. Gajah Mada no.100, Jempong Mataram, Kota Mataram, Lombok, Indonesia*

**email : laludidik@uinmataram.ac.id*

Abstrak. Pulau Lombok merupakan suatu daerah kecil yang berada pada perbatasan antara lempeng besar Asia dengan lempeng Australia sehingga pulau Lombok sangat rawan terhadap bencana gempa bumi. Tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi bergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik serta percepatan getaran tanah maksimum wilayah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis percepatan getaran tanah untuk memetakan kerawanan bencana gempa bumi menggunakan metode Fukushima Tanaka, Esteva, Dan Euclidean Distance di pulau Lombok. Data yang digunakan adalah data sekunder gempa bumi di pulau Lombok bulan Juli-September 2018. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum paling tinggi sebesar 100.810 gal yang berada di wilayah kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara. Sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum paling kecil terjadi di daerah mataram dan sekitarnya dengan nilai 0,3603 gal. Dari ketiga rumusan, dapat dilihat bahwa nilai percepatan getaran tanah yang dihitung di wilayah pulau Lombok menggunakan metode Fukushima Tanaka adalah rumusan yang paling sesuai untuk menghitung nilai percepatan tanah di pulau Lombok. Hal itu dikarenakan nilai hasil percepatan getaran tanah dari Fukushima Tanaka hampir sama dengan nilai percepatan getaran tanah dari akselerograph.

Kata kunci: Gempa Bumi, Percepatan Getaran Tanah Maksimum, Metode Empiris

Abstract. Lombok island is a small area located on the border between the large Asian plate and the Australian plate so that the island of Lombok is very vulnerable to the earthquake disasters. The level of damage caused by an earthquake depends on the strength and quality of the building, geological, and geotechnical conditions and the maximum ground vibration acceleration of the area. This study aims to analyze the acceleration of ground vibrations to map earthquake vulnerability using the Fukushima Tanaka, Esteva, and Euclidean Distance methods on the island of Lombok. The data used is secondary data for earthquakes on the island of Lombok in July-September 2018. The calculation result shows that the maximum ground vibration acceleration value is the highest of 100.810 gal located in the districts of East Lombok and North Lombok. While the smallest maximum ground vibrations acceleration value occurs in the Mataram and surrounding areas with a value of 0,3603 gal. From the three formulations, it can be seen that the value of ground vibration acceleration calculated in the area of the island of Lombok using the Fukushima Tanaka method is the most appropriate formula for calculating the value of ground acceleration on the Lombok island. That is because the value of the ground vibration acceleration from Fukushima Tanaka is almost the same as the ground vibration acceleration value from the accelerograph.

Keywords: Earthquake, Maximum Ground Vibration Acceleration, Empirical Method

1. Pendahuluan

Pulau Lombok adalah salah satu daerah yang berada pada jalur gempa bumi. Pulau Lombok merupakan suatu daerah kecil yang berada pada perbatasan antara lempeng besar Asia dengan lempeng Australia. Gempa bumi yang pernah terjadi pada daerah ini cukup meresahkan masyarakat sekitar walaupun skalanya tidak begitu besar seperti yang telah terjadi pada wilayah lain di Indonesia. Gempa bumi yang pernah melanda daerah ini terakhir terjadi pada awal tahun 2013 silam. Guncangan akibat gempa bumi tersebut dirasakan oleh sebagian besar masyarakat Lombok pada khususnya dan wilayah NTB pada umumnya. Adapun kerusakan yang cukup parah terjadi di daerah Kabupaten Lombok Utara. Meskipun tidak menimbulkan korban jiwa namun kerugian material akibat bencana alam gempa bumi tersebut ditaksir sampai jutaan ribu rupiah [1].

Adapun, Secara garis besar tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bumi bergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik serta percepatan tanah maksimum daerah lokasi gempa bumi terjadi. Oleh karena itu mikrozonasi wilayah rawan terjadi bencana gempa bumi bisa dimanfaatkan untuk meminimalisir terjadinya kerusakan di wilayah tersebut. Berdasarkan morfologi dan batuan penyusunnya, disusun oleh Satuan Geologi Lingkungan (SGL), yaitu pedataran aluvium, pedataran berombak lempung hitam dan terarosa, perbukitan rendah batu gamping, perbukitan kars, dan perbukitan napal dan batu lempung [2].

Beberapa penelitian penelitian telah dilakukan untuk menghitung pergeseran tanah maksimum dengan menggunakan metode empiris. Jamal et al. telah melakukan analisis tentang kecocokan nilai percepatan tanah Pulau Lombok berdasarkan perhitungan empiris dengan data percepatan tanah dari akselerograf Stasiun Mataram. Metode yang digunakan adalah metode Fukushima Tanaka dengan persentase kesalahan rata-rata terendah sebesar 220% dibandingkan dengan rumusan lainnya yang memiliki persentase kesalahan rata-rata 2586% untuk metode Mc Guire, 614% untuk metode Esteva [3]. Bessi & Sianturi melakukan Analisa percepatan tanah dengan menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* di lokasi pembangunan Observatorium Nasional Desa Bitobe Kabupaten Kupang. Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai percepatan tanah maksimum menggunakan persamaan empiris Kanai berkisar antara 32 gal – 261 gal, Mc.Guire berkisar antara 128 gal – 134 gal, dan Esteva berkisar antara 147 gal – 156 gal. Nilai PGA yang didapatkan ketiga metode di atas berbeda dengan nilai PGA pada peta *hazard* gempa Indonesia. Hal ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu adanya perbedaan metode, persamaan empiris dan konstanta pada persamaan, serta PGA pada peta *hazard* gempa Indonesia adalah PGA pada batuan dasar [4].

Taruna et al. melakukan penelitian tentang percepatan tanah maksimum di Kota Mataram menggunakan metode Fukushima-Tanaka, Esteva, dan Euclidean Distance [5] [6].

Berdasarkan penelitian sebelumnya, belum ada yang melakukan penelitian tentang percepatan getaran tanah maksimum untuk memetakan kerawanan bencana gempa bumi dengan membandingkan metode Fukushima Tanaka, Esteva, dan Euclidean Distance. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk menentukan percepatan tanah maksimum di Pulau Lombok dengan menggunakan ketiga persamaan tersebut.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode empiris Fukushima Tanaka, Esteva, dan Euclidean Distance dalam menganalisis percepatan getaran tanah maksimum untuk memetakan kerawanan bencana gempa bumi lombok. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli-September 2018 di Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) Selaparang.

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil pada katalog gempa bulan Juli-September 2018 dari Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) Selaparang. Data yang digunakan adalah waktu kejadian, hiposenter, dan manitude gempa bumi. Proses pengolahan data menggunakan software Matlab 2014 dan ZMAP 6.0.

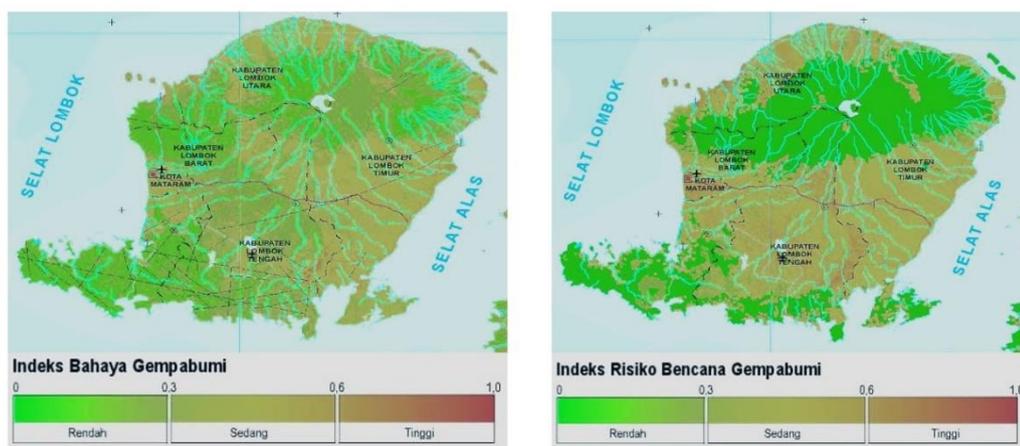
Perhitungan percepatan getaran tanah dilakukan menggunakan persamaan empiris Fukushima Tanaka seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 [7]. Persamaan empiris Esteva ditunjukkan pada persamaan 2 [3]. Dan persamaan empiris Euclidean Distance ditunjukkan pada persamaan 3 [5] yang ditulis secara berurutan sebagai berikut:

$$\log a = 0,41 MS - \log (R + 0,033 \times 10^{0,41 MS}) - 0,0034 R + 1,28 \tag{1}$$

$$a = \frac{5600 \cdot 10^{0,5 MW}}{(R + 40)^2} \tag{2}$$

$$EDR^2 = k \times \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N MDE_i^2 \tag{3}$$

Dengan a adalah percepatan getaran tanah (gal), R adalah jarak hiposenter (km). MS adalah magnitude gelombang permukaan (M), MW adalah magnitude momen (M), EDR adalah euclidean distance ranking, MDE adalah modified euclidean distance, dan N adalah jumlah data.



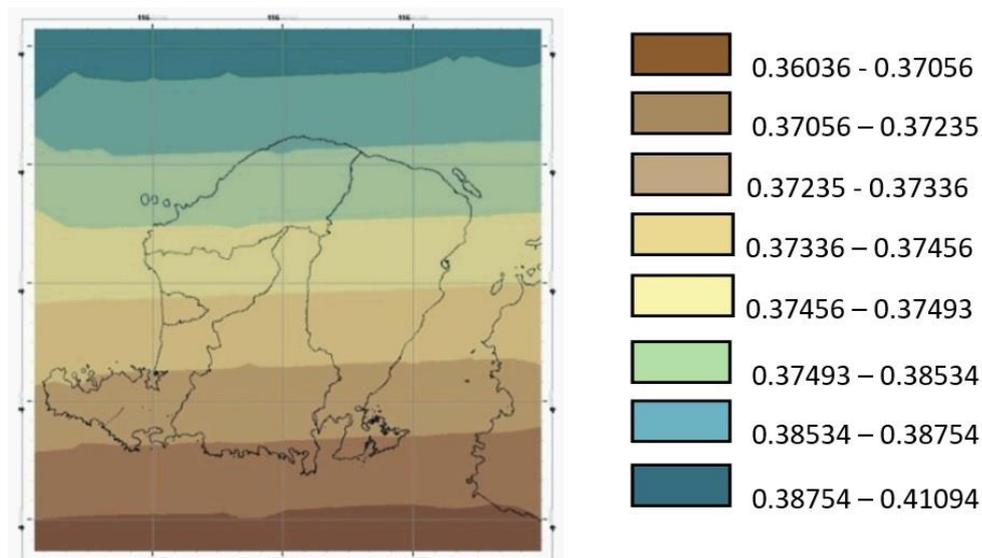
Gambar 1. Peta bahaya dan resiko bencana gempa bumi wilayah pulau Lombok diperoleh dari USGS dan BMKG berdasarkan warna untuk menentukan tinggi dan rendahnya bahaya gempa bumi disetail kabupaten yang ada di Pulau Lombok

3. Hasil dan Pembahasan

Pulau lombok merupakan kawasan yang rawan terhadap gempa bumi, pada bulan Juli 2018 terjadi gempa dengan magnitudo yang cukup tinggi sehingga mengguncang Pulau Lombok seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 tampak bahwa terjadinya bahaya dan resiko gempa bumi dipulau lombok yang merupakan wilayah yang sangat rawan terjadinya gempa bumi dan kerusakan material karena getaran gempa. Disetiap warna menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai resiko tinggi dan rendah sehingga mengakibatkan kerusakan yang bervariasi, sehingga perlu adanya mitigasi bencana sebelum terjadinya gempa bumi yang memakan banyak korban.

Nilai percepatan getaran tanah maksimum di pulau Lombok dengan titik koordinat Latitude: -8.39 , longitude: 116.48 dari magnitudo $6,8$ SR – $7,0$ SR dengan kedalaman 28 km – 10 km. Dari hasil perhitungan dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai percepatan tanah maksimul yang ada dipulau lombok sebesar $0,36036$ gal – $0,41094$ gal dengan menggunakan rumus Fukushima-Tanaka seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

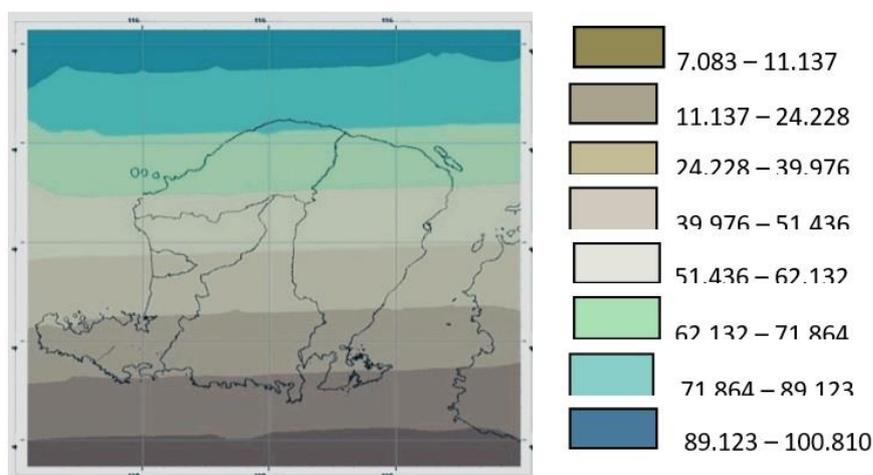
Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum di pulau Lombok dengan menggunakan rumusan Fukushima-Tanaka yang ditandai sesuai dengan warna pada kontur diatas yang mempunyai nilai percepatan getaran tanah maksimum paling tinggi yaitu $0,41094$ gal yang berada di wilayah kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara. Sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum paling rendah yaitu $0,36036$ gal berada di wilayah mataram dan sekitarnya.



Gambar 2. Peta Kontur percepatan tanah maksimum menggunakan rumus Fukushima-Tanaka gempa bumi 05 Agustus 2018 dengan magnitudo $6,8$ – 7.0 SR

Nilai percepatan tanah maksimum di pulau Lombok dengan menggunakan rumus esteva dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3 tampak bahwa nilai percepatan tanah maksimum 7.083 – 100.810 gal. Perhitungan nilai percepatan

getaran tanah maksimum didasarkan dengan besarnya magnitudo dan jarak hiposenternya. Dikarenakan nilai percepatan getaran tanah antara kabupaten lombok timur dengan magnitudo 6,8 SR mempunyai nilai berbeda dengan daerah kabupaten lombok utara dengan magnitudo 7,0 SR, karena kedua kabupaten diatas jaraknya berdekatan sehingga memiliki kedalaman gempa yang cukup dangkal dan memberikan kontribusi nilai percepatan getaran tanah sangat besar. Dari hasil perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan rumus Esteva dengan rumus Fukushima Tanaka memiliki perbedaan hasil yang cukup besar. Pada rumusan Esteva nilai yang paling rendah yaitu 7.083 gal yang terdapat di wilayah kota Mataram dan sekitarnya. Dan nilai terbesarnya 100.810 gal terdapat pada wilayah Kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara. Wilayah kabupaten Lombok Timur sekitar obel-obel dan lombok utara bagian timur memiliki tekstur tanah yang berpasir sehingga menimbulkan efek guncangan gempa dangkal yang bermagnitudo skala 6-7 SR yang mengakibatkan banyaknya kerusakan bangunan.

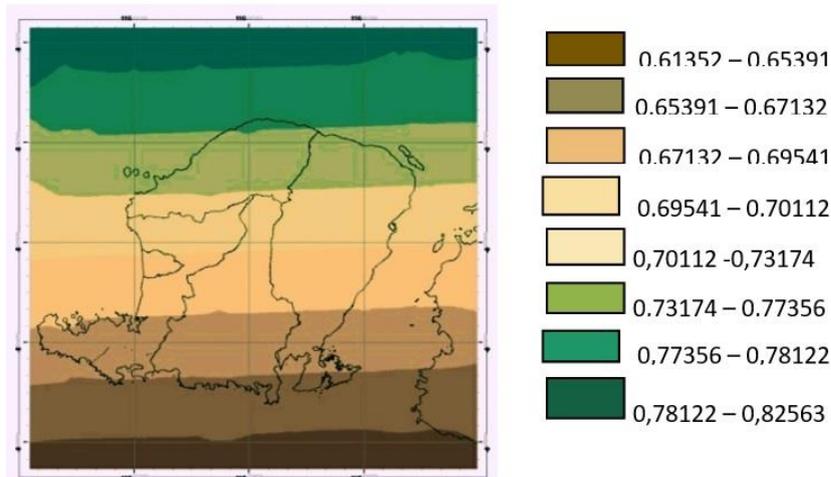


Gambar 3. Peta Kontur percepatan tanah maksimum menggunakan rumus Esteva gempa bumi 05 Agustus 2018 dengan magnitudo 6,8 – 7,0 SR

Berdasarkan hasil perhitungan dari rumus Euclidean Distance bahwa nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan kedalaman 10 km dan magnitudo 7,0 SR di pulau lombok sebesar 0,82563 gal yang berada di kawasan Lombok Timur dan Lombok Utara seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang terendah yaitu 0,61352 gal terdapat di kota Mataram karena jauh dari pusat gempa.

Gempa bumi yang terjadi pada bulan Juli-September 2018 lalu yang ada di pulau lombok dengan episenter $-8^{\circ} 24' BT - 116^{\circ} 30' LS$ dengan magnitudo 6,8 SR sedangkan pada magnitudo 7,0 SR dengan episenter $8^{\circ} 39' BT - 116^{\circ} 48' LS$ dan terdapat 3694 gempa kecil. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 1 bahwa posisi selatan terdapat zona subduksi lempeng induk Australia yang menunjам kebawah, sedangkan dari utara terdapat struktur geologi sesar naik Flores atau disebut *Flores Back Arc Thrusting*, sehingga Pulau Lombok memiliki potensi bahaya gempa sangat besar. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan bahwa terjadinya bahaya dan resiko gempa bumi dipulau lombok yang merupakan wilayah yang sangat rawan terjadinya gempa bumi dan kerusakan material karena getaran gempa.

Disetiap warna menunjukkan bahwa daerah tersebut mempunyai resiko tinggi dan rendah sehingga mengakibatkan kerusakan yang bervariasi, sehingga perlu adanya mitigasi bencana sebelum terjadinya gempa bumi yang memakan banyak korban.



Gambar 4. Peta kontur percepatan getaran tanah maksimum menggunakan rumus Euclidian Distance gempa bumi 05 Agustus 2018 dengan magnitudo 6.8 – 7.0 SR

Dari hasil perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan menggunakan rumus Esteva dengan rumus Fukushima Tanaka memiliki perbedaan hasil yang cukup besar. Pada rumusan Esteva nilai yang paling rendah yaitu 7.083 gal yang terdapat di wilayah kota Mataram dan sekitarnya. Dan nilai terbesarnya 100.810 gal terdapat pada wilayah Kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara. Wilayah kabupaten Lombok Timur sekitar obel-obel dan Lombok Utara bagian timur memiliki tekstur tanah yang berpasir sehingga menimbulkan efek guncangan gempa dangkal yang bermagnitudo skala 6-7 SR yang mengakibatkan banyaknya kerusakan bangunan.

Dari ketiga metode ini memiliki hasil yang relatif jauh karena menggunakan parameter berbeda-beda yaitu Fukushima Tanaka perhitungannya menggunakan jarak hiposenter dan magnitudo gelombang permukaan, Esteva menggunakan jarak hiposenter dan magnitudo momen, dan Euclidean Distance menggunakan EDR (*Euclidean Distance Ranking*), MDE (*Modified Euclidean Distance*), dan N (jumlah data). Nilai percepatan getaran tanah maksimum akan semakin besar apabila magnitudenya semakin tinggi, maka getaran yang dihasilkan ke permukaan akan semakin kuat dan nilai percepatan getaran tanah maksimum akan semakin meningkat. Semakin dekat jarak antara kota atau kabupaten dengan pusat gempa, maka getaran yang dihasilkan akan semakin besar sehingga nilai percepatan getaran tanah maksimum akan semakin besar pula.

Wilayah penelitian ini memiliki tekstur tanah yang lunak biasanya tidak tahan dengan guncangan gempa yang terjadi, dikarenakan didalam tanah tersebut terdapat jenis pasir yang halus dan longgar sehingga tidak dapat menopang beban terlalu lama dan mengakibatkan banyak bangunan yang roboh. Sesuai dengan fakta dilapangan pada bulan Juli hingga September terdapatnya bangunan yang runtuh (roboh) dan mengakibatkan banyaknya korban yang diakibatkan oleh besarnya magnitudo gempa yang dihasilkan antara dua lempeng tersebut.

Sesuai dengan ketiga metode tersebut, kecocokan penggunaan suatu rumusan percepatan getaran tanah di suatu wilayah tergantung dari kondisi tektonik dan karakteristik setiap sumber gempa yang digunakan. Berdasarkan perhitungan nilai percepatan getaran tanah yang telah dihitung dengan menggunakan rumus Fukushima Tanaka, Esteva, dan Euclidean Distance dapat dilihat bahwa nilai percepatan getaran tanah yang dihitung di wilayah pulau Lombok menggunakan metode Fukushima Tanaka adalah rumusan yang paling sesuai untuk menghitung nilai percepatan tanah di pulau Lombok.

Perbandingan metode dengan penelitian terdahulu di pulau Lombok dengan metode *pertama* yaitu metode donovan menggunakan parameter magnitudo gelombang permukaan dan jarak hiposenter dari hasil perhitungan nilai percepatan tanah maksimum yaitu 0,01992 gal - 0,11161 gal terdapat nilai tertinggi di wilayah kabupaten Lombok Utara, *kedua* metode Mc. Guirre menggunakan parameter magnitudo gelombang permukaan dan jarak hiposenter dari hasil perhitungan nilai percepatan tanah maksimum 0,03441 gal – 0,03503 gal terdapat nilai terendah di wilayah lombok tengah dan nilai tertinggi di wilayah Lombok Utara dan Lombok Timur bagian utara, *ketiga* metode M.V. Mickey menggunakan parameter magnitudo gelombang permukaan dan jarak hiposenter dari hasil perhitungan nilai percepatan tanah maksimum sebesar 0,03441 gal – 0,03487 gal terdapat nilai terendah di wilayah kabupaten Lombok Tengah bagian selatan. Sedangkan dari penelitian ini terdapat metode yang berbeda dari penelitian sebelumnya yaitu, *pertama* metode Fukushima-Tanaka menggunakan parameter magnitudo gelombang permukaan dan jarak hiposenter dari hasil nilai percepatan getaran tanah maksimum terendah 0,36036 gal yang terdapat di wilayah kota Mataram dan sekitarnya, sedangkan nilai tertinggi 0,41094 gal yang terdapat di wilayah kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara Bagian Utara, *kedua* metode Esteva menggunakan parameter magnitudo momen dan jarak hiposenter dari hasil nilai percepatan getaran tanah yang terkecil 7.083 gal terdapat di wilayah kota Mataram dan sekitarnya, sedangkan nilai tertinggi 100.810 gal yang terdapat di wilayah kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara bagian utara, *ketiga* metode Euclidean Distance dengan menggunakan parameter EDR, MDE, dan jumlah data dari hasil nilai percepatan getaran tanah yang terkecil 0,61352 gal terdapat di wilayah kota Mataram dan sekitarnya, sedangkan nilai tertinggi 0,82563 gal terdapat di wilayah kabupaten Lombok Timur dan Lombok Utara bagian utara. Sehingga bisa disimpulkan bahwa ketiga metode yang digunakan peneliti ini memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu [8]. Yang membedakannya adalah parameter yang digunakan rumusan dari metode tersebut sehingga nilai yang dihasilkan jauh berbeda dengan wilayah penelitian yang sama.

4. Kesimpulan

Nilai percepatan tanah maksimum akan semakin besar apabila magnitudenya semakin tinggi, maka getaran yang dihasilkan ke permukaan akan semakin kuat dan nilai percepatan tanah maksimum akan semakin meningkat. Semakin dekat jarak antara kota atau kabupaten dengan pusat gempa, maka getaran yang dihasilkan akan semakin besar dan nilai percepatan getaran tanah maksimum akan semakin besar pula sehingga wilayah yang nilai percepatan getaran tanahnya besar rawan akan

terjadinya gempa bumi. Nilai percepatan getaran tanah maksimum di pulau Lombok dengan titik koordinat Latitude: -8.39, longitude: 116.48 dari magnitude 6,8 SR – 7,0 SR dengan kedalaman 28 km – 10 km sebesar 0,36036 gal – 0,41094 gal dengan menggunakan rumus Fukushima-Tanaka. Dan nilai percepatan tanah maksimum di pulau Lombok dengan menggunakan rumus Esteva nilai sebesar 7.083 – 100.810 gal. Kemudian dengan metode Euclidean distance nilai percepatan getaran tanah maksimum dengan kedalaman 10 km dan magnitude 7,0 SR di pulau Lombok sebesar 0,82563 gal yang berada di kawasan Lombok Timur dan Lombok Utara. Sedangkan nilai percepatan getaran tanah maksimum yang terendah yaitu 0,61352 gal terdapat di kota Mataram karena jauh dari pusat gempa.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih BMKG Kota Mataram yang telah mengizinkan peneliti untuk melakukan observasi dan memberikan arahan mengenai penyelesaian penelitian ini

Daftar Pustaka

1. M. F. Ramadhan, “Sensor Getaran Dua Dimensi (2-D) Berbasis Koil Datar Untuk Mengukur Frekuensi Getaran Gempa Di Wilayah Lombok Nusa Tenggara Barat,” vol. 11, no. 1, pp. 24–36, 2015.
2. R. J. Jamal, Lantu, S. Aswad, and C. Sulaiman, “Dengan Studi Peak Ground Acceleration Menggunakan Metode Boore Atkinson Dan Data,” vol. 1, no. 1, pp. 5–12, 2017.
3. D. Saputri and D. Pujiastuti, “Analisis Kecocokan Nilai Percepatan Tanah Pulau Lombok Berdasarkan Perhitungan Empiris dengan Data Percepatan Tanah dari Akselerograf di Stasiun Mataram,” vol. 9, no. 1, pp. 79–84, 2020.
4. A. M. Bessi and H. L. Sianturi, “Pemetaan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Deterministic Seismic Hazard Analysis Di Bitobe Kecamatan Amfoang Tengah Kabupaten Kupang,” vol. 3, no. 1, pp. 49–53, 2018.
5. R. M. Taruna, T. Azhar, and P. Setiadi, “Akibat Gempa Bumi Di Kota Mataram Menggunakan Metode Euclidean Distance,” vol. 9, no. 1, pp. 20–29, 2020.
6. M. F. Ramadhan, “Sensor Getaran Dua Dimensi (2-D) Berbasis Koil Datar Untuk Mengukur Frekuensi Getaran Gempa Di Wilayah Lombok Nusa Tenggara Barat,” vol. 11, no. 1, pp. 24–36, 2015.
7. R. J. Jamal, Lantu, S. Aswad, and C. Sulaiman, “Dengan Studi Peak Ground Acceleration Menggunakan Metode Boore Atkinson Dan Data,” vol. 1, no. 1, pp. 5–12, 2017.
8. D. Saputri and D. Pujiastuti, “Analisis Kecocokan Nilai Percepatan Tanah Pulau Lombok Berdasarkan Perhitungan Empiris dengan Data Percepatan Tanah dari Akselerograf di Stasiun Mataram,” vol. 9, no. 1, pp. 79–84, 2020.

PENGARUH AKTIVATOR DAN KALSINASI TERHADAP LUAS PERMUKAAN ARANG AKTIF ECENG GONDOK

OTONG NURHILAL *, QUADRANT BAROKATUS SALAM, SAHRUL HIDAYAT,
RISDIANA

*Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Padjadjaran
Jln. Raya Bandung Sumedang Km. 21 Jatinangor 45363*

**email : otong.nurhilal@phys.unpad.ac.id*

Abstrak. Eceng gondok telah digunakan sebagai prekursor arang aktif dengan aktivator H_3PO_4 , KOH dan $ZnCl_2$. Aktivator berfungsi untuk mengembangkan dan membentuk pori baru pada arang aktif. Namun demikian aktivator juga harus dibersihkan setelah proses aktivasi selesai melalui proses kalsinasi. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kalsinasi terhadap porositas arang aktif. Setelah proses aktivasi sampel arang aktif diberikan perlakuan tanpa kalsinasi dan kalsinasi pada temperatur $800\text{ }^\circ\text{C}$ selama satu jam pada suasana gas Ar. Masing-masing sampel arang aktif diuji dengan absorpsi N_2 pada 77 K untuk mengetahui luas permukaan spesifik, volume total spesifik pori dan jari-jari pori yang terbentuk. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa kalsinasi memberikan pengaruh sangat signifikan terhadap sifat-sifat arang aktif. Kalsinasi arang aktif dengan aktivator KOH memberikan pengaruh yang paling besar terhadap sifat arang aktif dibandingkan dengan aktivator yang lainnya. Arang aktif dengan aktivator KOH yang dikalsinasi memiliki luas permukaan spesifik $365,62\text{ m}^2/\text{g}$, volume total spesifik pori $0,42\text{ cm}^3/\text{g}$ dan radius pori $2,28\text{ nm}$.

Kata kunci: Eceng gondok, arang aktif, karbonisasi, aktivator, kalsinasi

Abstract. Water hyacinth has been used as a precursor for activated charcoal with H_3PO_4 , KOH and $ZnCl_2$ activators. After the activation process, the activated charcoal samples were treated without calcination and calcination at a temperature of $800\text{ }^\circ\text{C}$ for one hour in an Ar gas atmosphere. Each sample of activated charcoal was characterized by N_2 absorption at 77 K to determine the specific surface area, specific total pore volume and pore radius formed. From the test results, it was found that the calcination had a very significant effect on the properties of activated charcoal. Calcination of activated charcoal with KOH activator has the greatest effect on the properties of activated charcoal compared to other activators. Activated charcoal with KOH activator which was calcined had a specific surface area of $365.62\text{ m}^2/\text{g}$, a specific total pore volume of $0.42\text{ cm}^3/\text{g}$ and a pore radius of 2.28 nm .

Keywords: Water hyacinth, activated charcoal, carbonization, activator, calcination

1. Pendahuluan

Eceng Gondok (EG) adalah tanaman air terapung bebas yang terkenal dengan kemampuan produksinya dan menghilangkan polutan dari air [1]. Ia mampu tumbuh dengan cepat hingga kepadatan yang sangat tinggi (lebih dari 60 kg/m^2) [2]; ini berarti penutupan permukaan air dapat terjadi, yang merugikan lingkungan, kesehatan manusia dan pembangunan ekonomi yang mengurangi pendapatan perkapita manusia [3]. Dampak negatif dari tanaman EG ini bisa dikurangi dengan pemanfaatan EG, salah satunya sebagai bahan dasar pembuatan arang aktif. EG

memiliki komponen bio-kimia 31,5% Selulosa, 20,8% Hemiselulosa dan 21,3% Lignin [4].

Pada umumnya arang aktif dibuat dengan aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia melibatkan aktivator kimia berupa aktivator asam, basa dan garam seperti asam pospat (H_3PO_4), potasium hidroksida (KOH) dan seng klorida ($ZnCl_2$). Fitur umum dari semua zat yang digunakan di proses aktivasi kimiawi adalah agen dehidrasi yang mempengaruhi dekomposisi pirolitik dan menghambat pembentukan tar, sehingga meningkatkan kadar karbon terikat (*fixe carbon*), mempengaruhi pirolisis pada prekursor dan mendorong pelepasan zat terbang melalui aromatisasi [5]. Namun demikian ketiga aktivator tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Aktivator H_3PO_4 dan $ZnCl_2$ digunakan untuk aktivasi bahan lignoselulosa yang belum dikarbonisasi sebelumnya; sedangkan senyawa logam seperti KOH digunakan untuk aktivasi prekursor batubara atau arang. Jika dibandingkan dengan $ZnCl_2$, H_3PO_4 adalah yang paling banyak dipilih karena tidak merugikan lingkungan [6]. Berbeda dengan $ZnCl_2$ yang menyebabkan korosi dan tidak bisa digunakan di farmasi dan industri makanan karena bisa mencemari produk. Sementara itu KOH dalam pembuatan arang aktif mampu mengembangkan mikroporositas besar, namun hasil karbon aktif yang direndam dengan KOH lebih rendah dari yang direndam dengan $ZnCl_2$ atau H_3PO_4 , dan pada temperatur tinggi, yaitu $\pm 650\text{ }^\circ\text{C}$, kandungan atom karbonnya lebih sedikit dari kadar karbon terikatnya di prekursor awal. Kehadiran logam kalium akan berinterkalasi ke matriks karbon, menghasilkan hasil karbon aktif yang lebih rendah, lebih sedikit dari karbon yang ada pada bahan bakunya [7].

Sedangkan aktivasi fisika melibatkan temperatur tinggi ($800\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$) untuk menghilangkan residu aktivator setelah diaktivasi secara kimia. Untuk membuang residu aktivator tersebut diperlukan proses pemanasan atau kalsinasi pada temperatur tertentu yang tidak merusak struktur arang aktif yang telah terbentuk. Masing-masing aktivator akan teruapkan pada temperatur kalsinasi yang berbeda-beda bergantung pada temperatur titik leleh aktivator [7].

Selain proses aktivasi, pembentukan porositas arang aktif bergantung juga pada kadar karbon terikat arang EG. Proses karbonisasi diperlukan untuk mendapatkan karbon terikat tinggi yang berasal dari dekomposisi lignoselulosa yang ada pada EG. Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan arang aktif dari EG yang dikarbonisasi terlebih dahulu dan diaktivasi dengan tiga aktivator. Dari arang aktif yang diperoleh akan dibandingkan sifatnya antara arang aktif tanpa kalsinasi dan dengan kalsinasi.

2. Metode Penelitian

Sebelumnya EG dikeringkan di bawah matahari selama 4-5 hari. EG kering dilembutkan dengan blender kemudian dikarbonisasi dengan *Muffle Furnace Thermo Scientific* pada temperatur $400\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Arang hasil karbonisasi disaring menggunakan *mesh 200*. Selanjutnya proses aktivasi dengan tiga jenis aktivator yaitu H_3PO_4 , KOH dan $ZnCl_2$ dengan konsentrasi masing-masing 30% dan rasio arang dan aktivator 1:3 yang direndam selama 24 jam pada temperatur kamar. Arang hasil aktivasi kemudian dicuci dengan aquades untuk aktivator $ZnCl_2$, 3M NaOH untuk aktivator H_3PO_4 dan HCL 3M untuk aktivator KOH, selanjutnya arang aktif disaring menggunakan kertas *Whatman No.42* untuk mengetahui indikasi pH netral. Arang aktif yang telah dicuci dan disaring selanjutnya

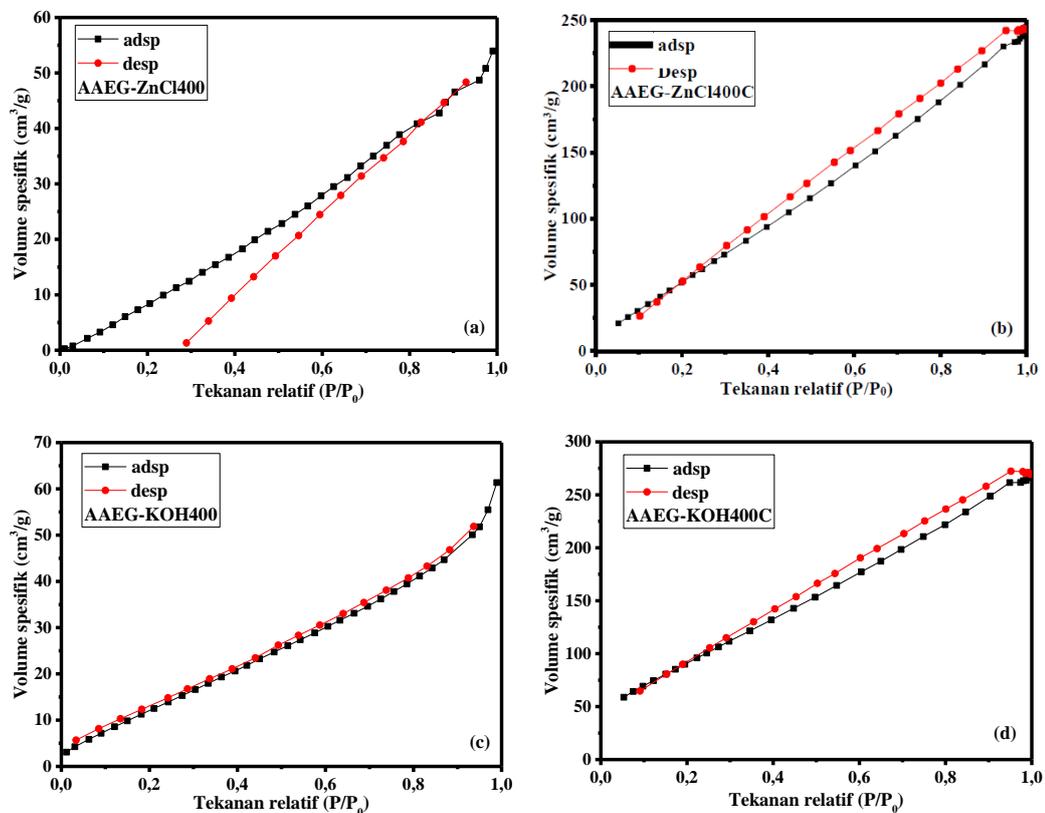
dikeringkan di dalam oven pada temperatur 110 °C selama 12 jam. Sebagian arang aktif selanjutnya dikalsinasi pada temperatur 800 °C selama 1 jam dalam suasana gas argon (Ar). Pengujian meliputi uji proksimasi dan uji luas permukaan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji proksimasi arang EG di cantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil uji proksimasi EG dan AEG

Sampel	Kadar air (%)	Abu (%)	Zat volatile (%)	Karbon terikat (%)	Ref.
EG	11,70	2,29	67,27	18,74	[8]
AEG1	6,6	37,09	18,48	37,79	[9]
AEG2	5,90	29,73	30,55	33,82	
AEGR	6,25	33,41	24,52	35,81	



Gambar 1. Kurva adsorpsi-desorpsi semua sampel arang teraktivasi; (a,c dan e) sampel tanpa kalsinasi dan (b,d dan f) sampel dengan kalsinasi

Biomassa yang ideal sebagai bahan arang aktif dengan struktur pori yang tinggi harus memiliki zat volatil yang tinggi [10]. Berdasarkan Tabel 1, karbonisasi menghasilkan arang yang ideal untuk bahan arang aktif dikarenakan adanya peningkatan kadar abu dan kadar karbon terikat serta menurunkan kadar zat volatile [11]. Dari dua kali proses karbonisasi diperoleh kadar karbon terikat rata-rata sebesar 35,81%.

Hasil uji isothermal gas N₂ pada temperatur 77 K untuk semua sampel arang aktif tanpa kalsinasi dan dengan kalsinasi ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 kurva bawah (warna hitam) adalah kurva adsorpsi N₂ dan kurva atas (warna merah) adalah kurva desorpsi. Kurva adsorpsi digunakan untuk menghitung luas permukaan spesifik dengan metode *Brunaur-Emmett-Teller* (BET). Kurva adsorpsi menunjukkan perbandingan antara volume gas yang masuk kedalam pori-pori sampel dengan perubahan tekanan relatif (P/P_0) pada temperatur konstan. Gambar 1 (a,c dan e) adalah kurva adsorpsi-desorpsi untuk sampel arang aktif yang tidak dikalsinasi. Ketiga sampel dengan masing-masing aktivator memiliki kurva adsorpsi-desorpsi yang berbeda. Gambar 1(a) menunjukkan banyaknya gas N₂ yang diserap lebih besar dari pada gas N₂ yang di keluarkan pada tekanan relatif yang semakin kecil. Sedangkan Gambar 1(c) kurva adsorpsi-desorpsi hampir berimpit selama perubahan tekanan relatif dengan struktur mikropori. Gambar 1(e) menunjukkan bahwa gas N₂ yang dilepaskan lebih banyak dari N₂ yang diserap selama perubahan tekanan relatif dengan struktur mesopori. Gambar 1 (b, d dan f) adalah sampel arang aktif yang telah dikalsinasi (aktivasi fisika) pada temperatur 800 °C selama 1 jam di bawah suasana gas Ar. Kurva adsorpsi-desorpsi dari ketiganya memberikan karakteristik yang sama selama perubahan tekanan relatif. Penyerapan gas N₂ semakin besar dengan kenaikan tekanan relatif (P/P_0) hampir mendekati linier. Demikian pula untuk pelepasan N₂ menurun dengan menurunnya tekanan relatif. Namun terdapat perbedaan kurva adsorpsi dan desorpsi dengan membentuk histerisis dari tekanan relatif 0,2-0,9. Keadaan ini menggambarkan pori yang terbentuk pada arang aktif dominan berukuran mesopori (2-50 nm) dan sedikit berukuran makropori (diatas 50 nm). Perilaku adsorpsi pada mesopori berupa adsorpsi multilayer yang diikuti oleh kondensasi pori yang menggambarkan transisi fase uap ke cairan, yang ditentukan oleh interaksi sampel dengan gas dan juga oleh interaksi antara molekul adsorbat pada keadaan terkondensasi. [12].

Hasil pengukuran luas permukaan spesifik, total volume pori dan radius pori dtampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas permukaan spesifik, total volume pori dan radius pori untuk semua sampel

No	Sampel AA-EG	Luas Permukaan Spesifik (m ² /g)	Total Volume pori (cm ³ /g)	Radius pori (nm)	Ket.
1	ZnCl-400	104,32	0,083	1,64	Tanpa
2	KOH-400	62,53	0,094	3,04	kalsinasi
3	H ₃ PO ₄ -400	264,78	0,266	2,01	
4	ZnCl-400	297,76	0,378	2,54	Kalsinasi
5	KOH-400	365,62	0,417	2,28	800 °C
6	H ₃ PO ₄ -400	347,52	0,440	2,56	

Berdasarkan Tabel 2 untuk temperatur karbonisasi 400 °C dan proses aktivasi pada temperatur kamar dan tanpa kalsinasi, dihasilkan luas permukaan spesifik terbesar untuk aktivator H₃PO₄ (264,78 m²/g) dan terkecil untuk KOH (62,53 m²/g). Menurut Hayashi dkk [13], temperatur karbonisasi memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap aktivator. Setelah diberi perlakuan kalsinasi pada temperatur 800 °C, untuk aktivator H₃PO₄, ZnCl₂ dan KOH luas permukaan spesifik masing-masing naik 82,74 m²/g, 193,44 m²/g dan 303,09 m²/g. Pengaruh temperatur kalsinasi sangat kecil terhadap peningkatan luas permukaan untuk H₃PO₄ dan sangat besar untuk KOH. Untuk aktivator KOH, temperatur kalsinasi

berpengaruh terhadap reaksi antara KOH dengan karbon (C). Pada temperatur kalsinasi 600-800 °C KOH yang bereaksi dengan atom C akan menghasilkan logam potassium yang berperan pada pembentukan jaringan pori. Sedangkan reaksi antara atom C dan H₂O dan CO₂ pada proses aktivasi secara fisika berpengaruh terhadap pengembangan porositas pada karbon [14].

4. Kesimpulan

Pemanfaatan limbah Eceng Gondok dalam bentuk arang aktif telah berhasil dibuat melalui perlakuan karbonisasi, variasi aktivator dan kalsinasi. Kalsinasi memiliki pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat arang aktif. Temperatur kalsinasi yang optimal akan memberikan pengaruh terhadap reaksi aktivator dengan atom karbon. Untuk aktivator KOH, kalsinasi berpengaruh terhadap reaksi antara aktivator dengan atom C untuk menghasilkan logam potassium. Sifat arang aktif dengan aktivator KOH setelah perlakuan kalsinasi menghasilkan luas permukaan spesifik 365,62 m²/g, total volume pori 0,417 cm³/g dan radius pori 2,28 nm. Hasil ini lebih baik dibandingkan dengan jenis aktivator H₃PO₄ dan ZnCl₂.

Daftar Pustaka

1. U. Santoso, E.S. Mahreda, F. Shadiq, D. Biyatmoko. Pengolahan limbah cair sasirangan melalui kombinasi metode filtrasi dan fitoremediasi sistem lahan basah buatan menggunakan tumbuhan air yang berbeda. *EnviroScientee* 10:157–170 (2014). doi: 10.20527/es.v10i3.1978.
2. P. Obianuju, D. Ilo Mulala, Simatele, L. S'phumelele, Nkomo, M. Ntandoyenkosi, Mkhize and Nagendra G. Prabhu. The Benefits of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for Southern Africa: A Review Sustainability, 12, 9222, (2020), doi:10.3390/su12219222.
3. R. Sindhu, B. Parameswaran, P. Ashok, M. Aravind, A. Jose Anju, V. Narisetty, G. Egard, C. Eulogio, F. Vincenza. Water hyacinth a potential source for value addition: An overview. *Bioresource Technology* 230, 152–162 (2017).
4. R. Kiplangat, M. Damaris, N. Njagi, George N. Karuku, I. Michira, Rachel F. Ajayi. Biodegradable water hyacinth cellulose-graft-poly (ammonium acrylate-co-acrylic acid) polymer hydrogel for potential agricultural application. *Heliyon* 5 e01416, (2019).
5. M.A. Yahya, Z. Al - Qodah, C. W. Zanariah Ngah. Agricultural bio-waste materials as potential sustainable precursors used for activated carbon production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 46, 218–235, (2015).
6. P. Devarly, Y. Kartika, N. Indraswati, S. Ismadji Activated carbon from jackfruit peel waste by H₃PO₄ chemical activation: Pore structure and surface chemistry characterization. *Chemical Engineering Journal* 140, 32–42, (2008).
7. N. Mohamad Nor, C. Lau Lee, T.K.Lee, M. Abdul Rahman. Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control—a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1 658–666, (2013).
8. A. S. Soegiarto, H. Nova, J.Yi-Hsu, I. Suryadi, Felycia Edi Soetaredjo, Artik Elisa Angkawijaya. Preparation of carbon fiber from water hyacinth liquid tar. *Int J Ind Chem* 6:1–7, (2015).

9. O. Nurhilal, R.S. Lesmana, K. Ramadayanti, S. Habibah, S. Hidayat, D. Sumiarsa, Risdiana, Synthesis of high quality porous carbon from Water Hyacinth, *Key Engineering Materials*. 860, pp. 173-177, (2020).
10. P.T. Williams, A.R. Reed. Pre-formed activated carbon matting derived from the pyrolysis of biomass natural fibre textilewaste. *JAnal Appl Pyrol*; 70 : 563–77, (2003).
11. O. Ioannidou, A. Zabaniotou. Agricultural residues as precursors for activated carbon production – a review. *Renew Sustain Energy Rev*; 11 : 1966–2005, (2017).
12. O. Francisco, Katie A. Cychosz, T. Matthias. Characterization of Micro/Mesoporous Materials by Physisorption: Concepts and Case Studies. *Acc. Mater. Surf. Res, Vol.3 (No.2)*, 34-50, (2018).
13. J. Hayashi, A. Kazehaya, K. Muroyama, A.P. Watkinson. Preparation of activated carbon from lignin by chemical activation. *Carbon*; 38:1873–8, (2000).
14. G. Zan, Y. Zhang, N. Song & X. Li Biomass-derived renewable carbon materials for electrochemical energy storage. *MATER. RES. LETT.*, VOL. 5, NO. 2, 69–88, (2017).

RANCANG BANGUN ALAT DETEKSI TANAH LONGSOR BERBASIS IOT DENGAN NODEMCU ESP8266 DAN MPU6050

ROSA MEGA UTAMA *, IMAM SUCAHYO, META YANTIDEWI

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
Jl Ketintang, Kampus FMIPA Universitas Negeri Surabaya, Gayungan, 60231,
Surabaya, Jawa Timur, Telp. (031) 8296427*

**email : rosa.18010@mhs.unesa.ac.id*

Abstrak. Tanah longsor adalah suatu proses geologi yang disebabkan oleh adanya perpindahan masa batuan maupun tanah. Secara umum tanah longsor disebabkan oleh kondisi geografis berupa pegunungan dan lereng serta curah hujan tinggi sehingga menyebabkan tanah menjadi tidak stabil. Penelitian ini bertujuan untuk membuat alat deteksi tanah longsor dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler dan MPU6050 sebagai sensor sehingga mampu mendeteksi percepatan bumi pada sumbu x, y, dan z dan kemiringan tanah. Alat deteksi tanah longsor ini berbasis *Internet of Thing* (IoT) sehingga memungkinkan percepatan bumi dan kemiringan tanah dapat dipantau secara real-time. Alat ini dihubungkan dengan aplikasi yang dibuat menggunakan layanan *cloud* pada *real-time database firebase* dan MIT APP Inventor untuk membangun aplikasi. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa alat dan aplikasi deteksi tanah longsor dapat bekerja sesuai dengan rancangan yaitu dapat menampilkan percepatan pergerakan dan kemiringan tanah secara *real-time* dan dapat menyampaikan status kondisi yaitu aman, waspada dan awas dengan rata-rata *error* sebesar 0,419%.

Kata kunci: tanah longsor, IoT, NodeMCU ESP8266, MIT App Inventor

Abstract. Landslide is a geological process caused by the displacement of rock and soil mass. In general, landslides are caused by geographical conditions in the form of mountains and slopes as well as high rainfall which causes the soil to become unstable. This study aims to make a landslide detection tool using NodeMCU ESP8266 as a microcontroller and MPU6050 as a sensor so that it can detect the acceleration of the earth on the x, y, and z axes and the slope of the ground. This landslide detection tool is based on the Internet of Things (IoT) so that it allows the acceleration of the earth and the slope of the ground to be monitored in real-time. This tool is linked to applications built using cloud services on a real-time database of firebase and MIT APP Inventor to build applications. From this study, it can be concluded that landslide detection tools and applications can work according to the design that is able to display the acceleration of movement and slope of the ground in real-time and can convey the condition status, namely safe, beware and alert with an average error of 0.419%.

Keywords: landslide, IoT, NodeMCU ESP8266, MIT App Inventor

1. Pendahuluan

Indonesia secara geografis berada pada pada kawasan aktivitas tektonik, yaitu pada lempeng Benua Asia dan Benua Australia. Selain itu, secara klimatologis Indonesia juga merupakan tempat pertemuan antara sirkulasi udara Hadley dan sirkulasi udara Walker. Dua hal tersebut mempengaruhi keragaman iklim di Indonesia [1]. Adanya aktifitas tektonik mengakibatkan sebagian besar wilayah Indonesia berupa pegunungan dan lereng. Hal ini menjadikan tanah longsor sebagai bencana yang

kerap kali terjadi di Indonesia. Menurut data dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) pada kurun waktu Januari sampai Desember 2021 ada 1.321 bencana tanah longsor yang terjadi di Indonesia [2]. Dari banyaknya bencana tanah longsor di Indonesia, tentu dibutuhkan alat yang dapat mendeteksi dini adanya tanah longsor sehingga kerugian dapat diminimalisir.

Tanah longsor adalah suatu proses geologi yang disebabkan oleh adanya perpindahan massa batuan maupun tanah. Tanah longsor dapat juga didefinisikan perpindahan material pembentuk lereng yang bergerak ke bawah atau keluar lereng. [3]. Secara umum tanah longsor disebabkan oleh kondisi geografis berupa pegunungan dan lereng sehingga menyebabkan tanah menjadi tidak stabil. Pergeseran tanah dan kadar air berlebih akibat curah hujan tinggi juga merupakan penyebab utama tanah longsor. Bencana tanah longsor seringkali terjadi pada musim penghujan [4]. Perpindahan material tanah longsor dapat terjadi dalam beberapa jenis perpindahan yaitu runtuh (*fall*), robohan (*topple*), longsor (*slide*), aliran (*flow*), dan pencaran (*spread*) [5].

Pada prinsipnya saat terjadi longsor gaya pendorong lebih besar dari pada gaya penahan pada tanah [4]. Gaya penahan dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan tanah penyusun lereng. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban, dan berat jenis tanah dan batuan [3]. Terlepas dari faktor alam, kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh aktifitas manusia juga meningkatkan kerawanan terjadi tanah longsor [6].

Pada lahan berbukit dan bergunung dengan kemiringan sebesar $>30\%$ dan beda ketinggian >300 m sering terjadi tanah longsor. Pada tanah dengan kemiringan lahan lebih dari 20° berpotensi mengalami tanah longsor [7]. Risiko jatuhnya korban jiwa saat terjadi tanah longsor dapat dihindari dengan proses mitigasi yang ditunjang dengan pemanfaatan teknologi. Alat yang dapat mengukur parameter penyebab terjadinya tanah longsor dapat dijadikan sebagai mitigasi dini [8].

Saat ini banyak peneliti yang menciptakan alat deteksi tanah longsor. Pada penelitian sebelumnya, alat dirancang dengan memanfaatkan sensor tasbih yang dapat mendeteksi adanya keretakan tanah. Kemudian informasi adanya keretakan tanah ini dikirimkan melalui SMS *gateway*. Namun kecepatan pengiriman informasi atau peringatan masih tergolong lambat yaitu rata-rata 143 detik setelah terjadi retakan tanah [9]. Selain itu peneliti lain ada yang menggunakan sensor ultrasonik dan infrared dengan notifikasi melalui SMS, namun hasil pengukuran alat yang dihasilkan belum bisa membaca pergerakan secara akurat pada pergeseran < 1 cm dan warga tidak bisa mengetahui kondisi pergerakan tanah secara *real time* [10]. Kemudian ada juga alat deteksi tanah longsor yang menggunakan hygrometer dan piezoelectric dengan notifikasi melalui SMS, namun pada alat ini warga juga tidak bisa memantau kondisi pergerakan tanah secara *real time* [11]. Sensor yang seringkali digunakan yaitu sensor *accelerometer*. Sensor ini dapat mendeteksi adanya kemiringan secara akurat dengan cara memanfaatkan percepatan akibat gravitasi bumi [12].

Pada penelitian ini peneliti membuat alat berbasis *Internet of Thing (IoT)*. IoT adalah teknologi yang memungkinkan objek, benda, dan mesin pintar dapat terhubung melalui internet sehingga data dapat diterima secara *real time*. Saat ini sistem IoT juga berkontribusi pada pemantauan dan pengelolaan lingkungan alam. Contohnya seperti pemantauan bencana tanah longsor yang dampaknya bersifat merusak lingkungan maupun sosial ekonomi masyarakat [13].

Salah satu papan mikrokontroler yang biasa digunakan untuk merancang proyek IoT yaitu NodeMCU ESP8266. NodeMCU ESP8266 adalah perangkat yang menggabungkan fitur beberapa papan arduino biasa dengan memungkinkan untuk dapat terhubung ke internet. Sebagai *firmware* yang bersifat *open source* NodeMCU ESP8266 memainkan peran penting dalam merancang produk yang berbasis IoT [14].

Untuk pembuatan aplikasi, peneliti menggunakan Firebase sebagai *cloud database* dan MIT App Inventor sebagai pembangun aplikasi. Firebase menyediakan beberapa layanan bagi pengguna yang ingin membuat aplikasi salah satunya yaitu *real-time database* yang memungkinkan data pada aplikasi disinkronkan dengan data yang tersimpan pada *cloud* firebase. *Real-time database* menyediakan *Application Programming Interface (API)* sehingga memungkinkan aplikasi terhubung dan terintegrasi dengan database firebase [15]. MIT App inventor adalah platform pengembangan online berbasis web untuk membangun aplikasi pada ponsel yang menggunakan sistem operasi android dan iOS. Platform ini menggunakan bahasa pemrograman berbasis blok yang dibangun di Google Blockly dan terinspirasi dari bahasa seperti StarLogo TNG dan Scratch [16].

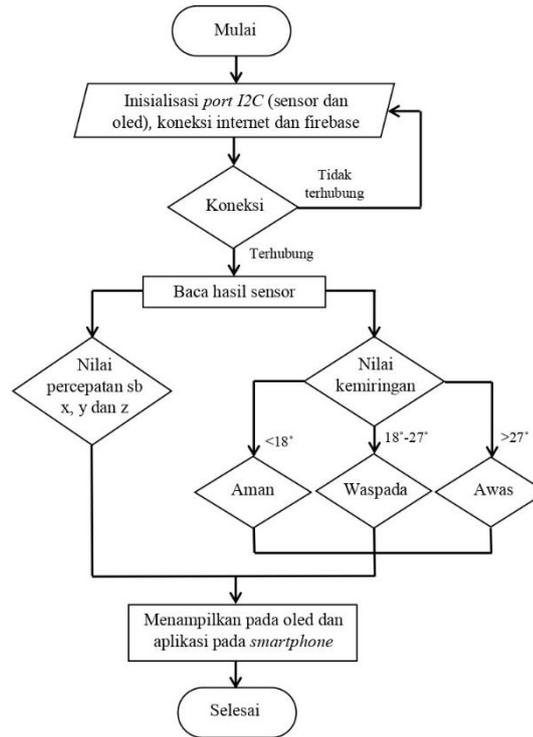
Selanjutnya pada artikel ini akan dibahas mengenai sistem rancang bangun alat deteksi tanah longsor berbasis IoT dengan memanfaatkan komponen NodeMCU ESP8266 dan sensor MPU6050.

2. Metode Penelitian

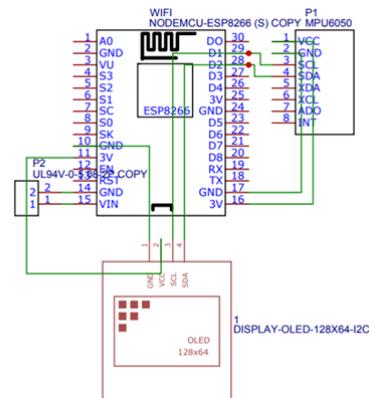
Langkah-langkah yang dikerjakan dalam penelitian ini dibagi menjadi empat tahap yaitu studi literatur, perancangan sistem, pengujian sistem, dan analisa data. Pada tahap studi literatur peneliti memperkirakan bahan yang cocok untuk diimplementasikan pada alat deteksi tanah longsor. Pemilihan bahan merupakan hal yang sangat penting dalam menunjang keberhasilan penelitian. Bahan yang digunakan untuk pembuatan rancang bangun deteksi tanah longsor terdiri dari mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor MPU6050, oled biru 1,3 inci, blok terminal (*T-Block*) dua kaki, modul *power supply step down DC-DC 5A XL4005*, baterai Li-Po 850 mAh, papan PCB, saklar, kabel, dan kotak alat.

Selanjutnya yaitu perancangan sistem. Sistem yang dirancang meliputi skematik rangkaian alat deteksi tanah longsor, desain dan alur kerja aplikasi deteksi tanah longsor yang diinstall pada *smarthphone*, dan desain 3D kotak alat. Alat deteksi tanah longsor dirancang menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor MPU6050. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 diprogram menggunakan Arduino IDE dengan menggunakan *library* *wire*, *MPU6050_light*, *U8x8lib*, dan *FirestoreESP8266*. Berikut adalah diagram alir program pada alat deteksi tanah longsor ditunjukkan pada Gambar 1.

Skematik rangkaian ditunjukkan pada Gambar 2. Sensor MPU6050 dan oled berkomunikasi secara I2C (*Inter Integrated Circuit*) sehingga SCL dan SDA dihubungkan pada pin D1 dan D2 NodeMCU ESP8266. Pada rangkaian ini *ground* yang ada di dekat Vin harus dihubungkan dengan *ground* pada pin 10 melalui kabel *jumper*



Gambar 1. Diagram alir program alat deteksi tanah longsor

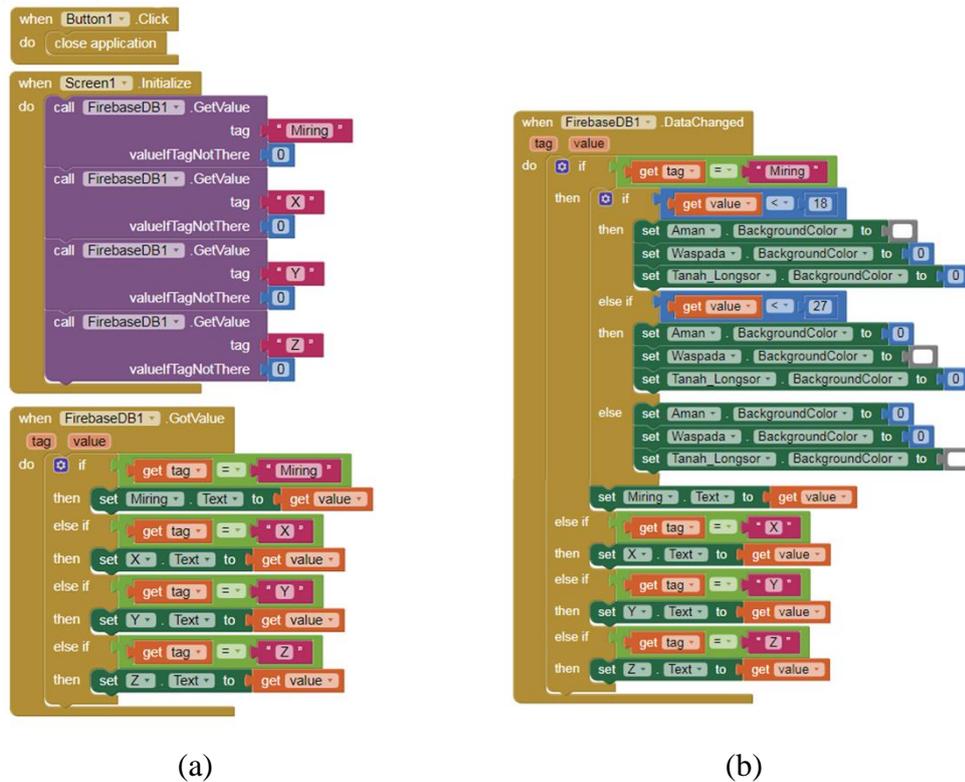


Gambar 2. Skematik rangkaian alat deteksi tanah longsor

Sumber listrik rangkaian alat ini menggunakan baterai Li-Po 850 mAh yang dihubungkan dengan *step down XL4005*. Baterai Li-Po dipilih sebagai sumber energi listrik karena elektrolit primer baterai Li-Po menggunakan bahan kering sehingga dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran [17]. Hal ini menyebabkan banyak baterai Li-Po dijual di pasaran dalam berbagai ukuran. Step down XL4005 dipilih karena memiliki kriteria dapat menurunkan tegangan dari kisaran tegangan input 4 V-38 V dan menghasilkan tegangan output 1,25 V-36 V. Pada penelitian ini keluaran step down XL4005 disetting sebesar 6,0 V untuk menyesuaikan tegangan input NodeMCU ESP8266.

Pada alat ini dihasilkan data berupa kemiringan tanah dalam satuan derajat dan percepatan gravitasi bumi pada sumbu x, y, z yang dideteksi alat dalam satuan g

m/s^2 . Konstanta g menunjukkan percepatan gravitasi bumi. Data ini kemudian ditampilkan pada oled yang terhubung dengan alat dan ditransferkan melalui koneksi internet kepada *smartphone* yang telah diinstall aplikasi deteksi tanah longsor. Aplikasi deteksi tanah longsor diprogram dan didesain menggunakan MIT App Inventor. Blok aplikasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Susunan blok aplikasi

Blok pertama pada Gambar 3a menunjukkan perintah menutup aplikasi apabila *button 1* ditekan. Selanjutnya aplikasi melakukan inisialisasi data pada firebase. Kemudian pada blok `FirebaseDB1.GotValue` data pada firebase ditransferkan kepada aplikasi secara *real time*. Blok selanjutnya pada gambar 3b berfungsi untuk mengubah status keadaan dari aman, waspada dan awas.

Pengujian sistem dilakukan dengan cara membandingkan nilai kemiringan pada alat dengan busur derajat. Kemudian data dibuat tabel dan dihitung persentase error pada alat. Selain itu data yang tertampil pada aplikasi diamati dan dibandingkan dengan data pada alat.

Analisa data dilakukan berdasarkan hasil dari pengujian sistem yang sudah sesuai. Analisa data dilakukan untuk memastikan alat dan aplikasi yang telah dibuat bekerja sesuai dengan kriteria yang dirancang. Data yang sudah dikumpulkan diolah menggunakan *microsoft excel*. Nilai persentase error dihitung menggunakan persamaan 1.

$$Error = \frac{|Y_n - X_n|}{Y_n} \times 100\% \quad (1)$$

dengan nilai

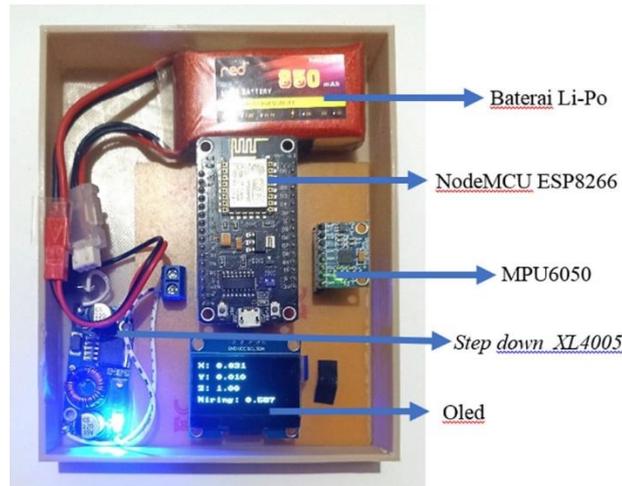
Y_n = kemiringan pada busur derajat ($^{\circ}$)

X_n = kemiringan pada alat ($^{\circ}$).

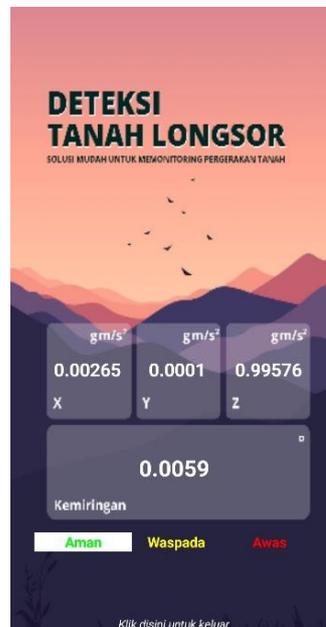
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Rangkaian Alat dan Aplikasi

Alat yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki bentuk balok dengan dimensi 10,8×13,4×2,6 cm. Hasil rangkaian alat deteksi tanah longsor dan aplikasi deteksi tanah longsor berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Rangkaian alat deteksi tanah longsor



Gambar 5. Aplikasi deteksi tanah longsor

Baik pada alat maupun aplikasi menampilkan data percepatan bumi sumbu x, y, dan z pada lokasi alat diletakkan dan kemiringan tanah.

3.2. Hasil Data Pengujian

Pengambilan data dilakukan di daerah Karangpilang-Surabaya pada tanggal 6 Juni 2022 dengan cara membandingkan kemiringan pada alat dengan kemiringan pada busur derajat. Caranya yaitu busur derajat dilekatkan pada dinding kemudian alat dimiringkan terhadap busur derajat. Pengambilan data tidak dilakukan langsung di tanah agar peneliti dapat mengetahui kesesuaian antara alat dengan acuannya secara langsung. Hasil pembacaan alat dan busur derajat haruslah sama karena alat digunakan sebagai pendeteksi kemiringan tanah dalam satuan derajat. Data kemiringan diambil tiap 5° dimulai dari 0° (saat posisi alat hizontal) hingga 90° (saat posisi alat vertikal). Ini dilakukan untuk memastikan keakurasian alat dan memastikan status pada aplikasi deteksi tanah longsor tertampil dengan sesuai. Berikut adalah Tabel 1 yang menampilkan hasil pengujian alat.

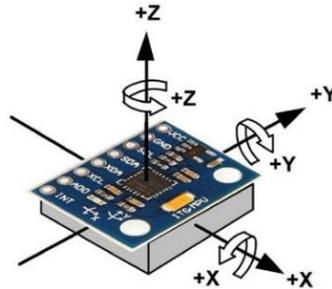
Tabel 1. Hasil pengujian alat deteksi tanah longsor

Percepatan Gravitasi ($g \text{ m/s}^2$)			Kemiringan pada Busur Derajat($^\circ$)	Kemiringan pada Alat ($^\circ$)	Error (%)	Status pada Aplikasi
Sumbu x	Sumbu y	Sumbu z				
0,0027	0,0001	0,9958	0,0	0,006	0,000	Sesuai
-0,0135	0,0881	0,9968	5,0	5,052	1,040	Sesuai
-0,0174	0,1741	0,9838	10,0	10,031	0,310	Sesuai
-0,0276	0,2661	0,9697	15,0	15,181	1,207	Sesuai
-0,0208	0,3457	0,9468	20,0	20,054	0,270	Sesuai
-0,0247	0,4197	0,8999	25,0	24,994	0,024	Sesuai
-0,0109	0,5033	0,8709	30,0	30,018	0,060	Sesuai
-0,0410	0,5745	0,8169	35,0	35,082	0,234	Sesuai
-0,0073	0,6437	0,7647	40,0	40,091	0,228	Sesuai
-0,0199	0,7080	0,6763	45,0	44,906	0,209	Sesuai
-0,0380	0,7707	0,6431	50,0	50,108	0,216	Sesuai
-0,0461	0,8230	0,5740	55,0	55,018	0,033	Sesuai
-0,0532	0,8732	0,5007	60,0	60,057	0,095	Sesuai
-0,0474	0,9090	0,4223	65,0	64,947	0,082	Sesuai
-0,0474	0,9456	0,3405	70,0	70,023	0,033	Sesuai
-0,0341	0,9684	0,2578	75,0	74,967	0,044	Sesuai
-0,0388	0,9841	0,1675	80,0	80,089	0,111	Sesuai
-0,0683	1,0007	0,0545	85,0	85,009	0,011	Sesuai
-0,0661	0,9945	-0,0027	90,0	93,373	3,748	Sesuai
Rata-rata eror					0,419%	

3.3. Pembahasan

Sensor MPU6050 termasuk dalam sensor Inertial Measurement Unit (IMU) karena dapat mendeteksi perubahan posisi pada 3 dimensi atau 3 sumbu yaitu x, y, dan z. Sensor ini mendeteksi percepatan gravitasi bumi pada setiap sumbu. Selanjutnya nilai percepatan gravitasi ini diolah hingga menghasilkan data kemiringan dalam satuan derajat. Ada 3 arah kemiringan yang dapat dibaca oleh sensor yaitu roll

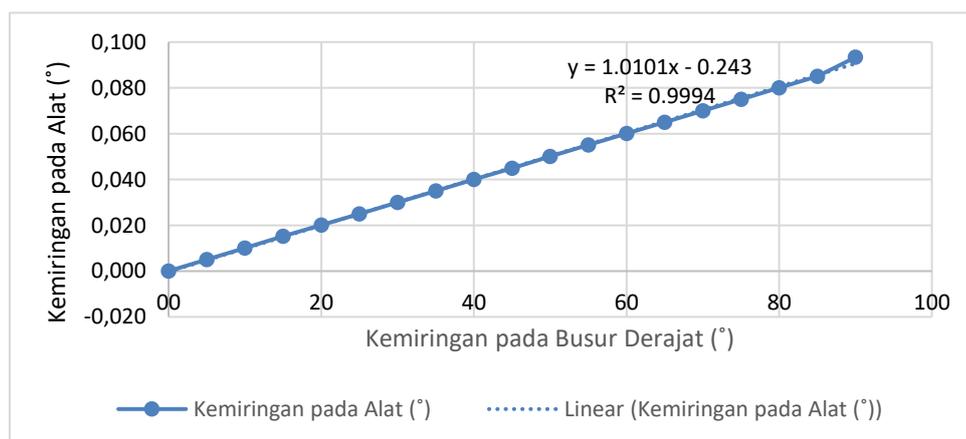
(kemiringan terhadap sumbu x), pitch (kemiringan terhadap sumbu y), dan yaw (kemiringan terhadap sumbu z). Orientasi aksis sensor MPU6050 dapat dilihat pada gambar 6 [18]. Pada alat ini hanya ditampilkan kemiringan pitch sehingga pada saat alat dipasang, kemiringan tanah sarus sejajar dengan kemiringan pitch yang dideteksi oleh alat.



Gambar 6. Orientasi aksis pada sensor MPU6050 [18]

Tabel 1 memperlihatkan bahwa percepatan gravitasi sumbu x tampak stabil antara $-0,069 \text{ g m/s}^2$ hingga $0,002 \text{ g m/s}^2$ sedangkan percepatan gravitasi pada sumbu y dan z berubah drastis. Ini dikarenakan kemiringan yang digunakan adalah kemiringan *pitch*.

Dari tabel ditunjukkan bahwa alat dapat mendeteksi kemiringan dengan baik dengan nilai kesalahan rata-rata (error) alat sebesar 0,419%. Adanya selisih antara kemiringan busur derajat dengan alat disebabkan sensor sangat sensitif sehingga mudah berubah saat sensor terkena gerakan kecil. Hal ini sesuai dengan yang dijelaskan pada *datasheet* sensor MPU6050, yaitu disebutkan bahwa sensor memiliki akurasi tinggi dan sensitif terhadap guncangan [19]. Oleh karena itu sensor harus dipasang pada posisi yang sangat stabil agar menghasilkan data yang lebih akurat. Gambar 7 menunjukkan bahwa kemiringan pada busur derajat dengan hasil pembacaan alat bernilai hampir sama.



Gambar 7. Grafik perbandingan kemiringan pada busur derajat dengan alat

Pada alat ini hasil pembacaan sensor pada aplikasi deteksi tanah longsor terbaca lebih lambat atau mengalami *delay* selama 3 detik dibandingkan dengan alat. Hal

ini karena data terlebih dahulu diterima alat baru kemudian dikirim kepada aplikasi melalui koneksi internet. Alat deteksi tanah longsor ini mengkonsumsi tegangan sebesar 0,06 Volt setiap jamnya dan batas tagangan minimum baterai agar alat tetap beroperasi adalah 5,3 Volt.

Pada aplikasi deteksi tanah longsor status aman adalah saat kemiringan bernilai $<18^\circ$, status waspada saat kemiringan $18^\circ-27^\circ$, dan status awas saat kemiringan $>27^\circ$. Range ini disesuaikan dengan artikel oleh Fitriani, dkk bahwa pada lahan berbukit dan bergunung dengan kemiringan sebesar $>30\%$ atau sekitar 27° dan beda ketinggian >300 m sering terjadi tanah longsor. [7]. Dari tabel 1 ditunjukkan bahwa aplikasi deteksi tanah longsor dapat menunjukkan status aman, waspada, dan awas dengan sesuai.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil menghasilkan alat deteksi tanah longsor dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor MPU6050. Aplikasi deteksi tanah longsor yang dibangun menggunakan platform firebase dan MIT App Inventor berfungsi dengan baik dan dapat menyampaikan status aman, waspada, dan awas dengan sesuai namun mengalami *delay* selama tiga detik dengan alat. Nilai kesalahan rata-rata alat deteksi tanah longsor sebesar 0,419%. Agar hasil pembacaan menjadi lebih akurat, sensor MPU6050 harus dipasang pada posisi yang stabil.

Daftar Pustaka

1. I. Athoillah, R. M. Sibarani och D. E. Doloksaribu, "Analisis Spasial El Niño Kuat Tahun 2015 dan La Nina Lemah Tahun 2016 (Pengaruhnya Terhadap Kelembapan, Angin dan Curah Hujan di Indonesia)," *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca 18.1*, pp. 33-41, 2017.
2. Badan Nasional Penanggulangan Bencana, "Badan Nasional Penanggulangan Bencana," 17 Februari 2022. [Online]. Available: <https://bnpb.go.id>. [Använd 18 Juni 2022].
3. M. R. Maulana, G. Mukarrom och N. F. Aminy, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Tanah Longsor Menggunakan Sensor Gyroscope dan Hygrometer Berbasis IoT," *Perpustakaan Poltektegal*, 2020.
4. O. O. Artha, B. Rahmadya och R. E. Putri, "Sistem Peringatan Dini Bencana Longsor Menggunakan Sensor Accelerometer dan Sensor Kelembaban Tanah Berbasis Android," *Journal of Information Technology and Computer Engineering*, pp. 14-20, 2018.
5. M. E. Moulal, O. Debauche, S. Mahmoudi, L. A. Brahim, P. Manneback och F. Lebeau, "Monitoring system using internet of things for potential landslides," *Procedia computer science 134*, pp. 26-34, 2018.
6. F. M. "Analisis Tingkat Kerawanan Tanah Longsor dengan Menggunakan Metode Frekuensi Rasio pada Sub Sub DAS Mamasa," *Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin*, 2020.
7. P. N. Fitriani, K. D. Lestari, H. D. Pratama och M. , "RANCANG BANGUN PROTOTIPE DETEKSI DINI TANAH LONGSOR BERBASIS DOUBLE SENSOR," *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI)*, pp. 50-58, 2019.

8. A. Setyawan, J. E. Suseno, R. D. Winesthi och S. A. Otaviana, "Peringatan Dini Tanah Longsor Berdasarkan Kelembaban Tanah Secara Jarak Jauh Menggunakan Sensor FC-28 dan Node MCU," *Jurnal Ilmu Lingkungan*, pp. 242-246, 2020.
9. M. B. Bilah, H. Erdyanto och T. A. Sholikin, "THOR (Pendeteksi Tanah Longsor): Deteksi Bencana Tanah Longsor Menggunakan Sensor "TASBIH" Berbasis SMS Gateway," *Jurnal Edukasi Elektro*, pp. 87-91, 2018.
10. D. Widhiantoro, "Purwarupa Sistem Pendeteksi Tanah Longsor Menggunakan Ultrasonik Dan Infrared Dengan Notifikasi Sms," *urnal Kajian Teknik Elektro 1.2*, p. 132, 2016.
11. N. K. D. Parwati, D. M. Wiharta och W. Setiawan, "Rancang Bangun Sistem Peringatan Dini Bahaya Tanah Longsor Dengan Sensor Hygrometer Dan Piezoelectric," *Jurnal SPEKTRUM 5.2*, pp. 183-190, 2018.
12. A. Dwiantara, I. M. B. Suksmadana och S. Ch., "SIMULASI PENDETEKSIAN TANAH LONGSOR MENGGUNAKAN SENSOR AKSELEROMETER TIPE MMA 7361 L," *Dielektrika Vol. 3, No. 2*, pp. 105-112, 2016.
13. S. M. Karunaratne, M. Dray, L. Popov, M. Butler, C. Pennington och C. M. Angelopoulos, "A technological framework for data-driven IoT systems: Application on landslide monitoring," *Computer Communications 154*, pp. 298-312, 2020.
14. A. Al Dahoud och M. Fezari, "NodeMCU V3 For Fast IoT Application Development," *Notes 5*, 2018.
15. C. Khawas och P. Shah, "Application of firebase in android app development-a study.," *International Journal of Computer Applications*, vol. 179, nr 46, pp. 49-53, 2018.
16. E. W. Patton, M. Tissenbaum och F. Harunani, "MIT app inventor: Objectives, design, and development," i *Computational thinking education*, Singapore, Springer, 2019, pp. 31-49.
17. S. A. Putri, A. A. B och A. Fitri, "Perancangan Prototype Mesin Pembersih kabel transmisi listrik berbasis internet," *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA) 4.1*, pp. 12-17, 2019.
18. F. Mangkusasmito, D. Y. Tadeus, H. Winarno och E. Ariyanto, "Peningkatan Akurasi Sensor GY-521 MPU-6050 dengan Metode Koreksi Faktor Drift," *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, vol. XII, nr 2, pp. 91-95, 2020.
19. Inc., IvenSense;, "IvenSense," 19 Agustus 2013. [Online]. Available: <https://invensense.tdk.com>. [Använd 14 Juni 2022].

RANCANG BANGUN ALAT MONITORING PASANG SURUT AIR LAUT BERBASIS IOT DENGAN NODEMCU ESP8266 DAN HC-SR04

RIA DWI AGUSTIN *, IMAM SUCAHYO, META YANTIDEWI

*Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
Jl Ketintang 60231, Gayungan, Surabaya, Jawa Timur*

**email : ria.18017@mhs.unesa.ac.id*

Abstrak. Peristiwa pasang surut air laut yaitu proses naik turunnya air laut secara periodik yang disebabkan perbedaan gravitasi dari pergantian posisi antara matahari, bulan relatif terhadap satu titik pada permukaan bumi. Fenomena pasang surut penting untuk dikaji guna menunjang kehidupan manusia, seperti dalam hal transportasi, dan mitigasi bencana. Pada penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat alat monitoring pasang surut air laut berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan NodeMCU ESP8266 dan HC-SR04 sebagai sensor pengukur ketinggian air. Alat ini dihubungkan dengan web ThingSpeak sebagai platform IoT dengan API terbuka yang berguna sebagai server basis data sehingga dapat diakses secara realtime. Selain itu data hasil pengukuran juga disimpan pada micro SD card sehingga data dapat diakses secara offline. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa alat monitoring pasang surut air laut dapat bekerja dengan baik dengan rata-rata error sebesar 1,263%.

Kata kunci: pasang surut air laut, Internet of Things (IoT), ThingSpeak, micro SD card

Abstract. Tidal events are the process of periodic rising and falling of sea water caused by differences in gravity from changing positions between the sun and the moon relative to a point on the earth's surface. Tidal phenomena are important to study in order to support human life, such as in terms of transportation and disaster mitigation. In this study, the aim of this research is to create a tidal monitoring tool based on the Internet of Things (IoT) using NodeMCU ESP8266 and HC-SR04 as sensors measuring water levels. This tool is connected to the ThingSpeak web as an IoT platform with an open API that is useful as a database server so that it can be accessed in real time. In addition, the measurement data is also stored on a micro SD card so that the data can be accessed offline. From this research, it is concluded that the tide monitoring tool can work well with an average error of 1.263%.

Keywords: tides, Internet of Things (IoT), ThingSpeak, micro SD card

1. Pendahuluan

Indonesia yang merupakan salah satu Negara kepulauan terbesar dengan 17.499 pulau dan memiliki wilayah dengan luas berkisar 7,81 juta km² dengan 3,25 juta km² berupa lautan, 2,55 juta km² merupakan wilayah Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), dan 2,01 juta km² merupakan daratan [1]. Karena sebagian besar wilayah Indonesia berupa lautan, sehingga kebutuhan terhadap transportasi laut cukup tinggi untuk menunjang aktivitas perniagaan maupun kegiatan lainnya. Keamanan di pelabuhan merupakan faktor penting untuk menunjang keselamatan transportasi laut seperti kapal yang akan masuk dan keluar dari dermaga, hal ini dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut[2].

Peristiwa pasang surut air laut (pasut) yaitu gerakan vertikal air laut secara periodik, hal ini disebabkan karena perbedaan gravitasi oleh pergantian posisi antara matahari dan bulan relatif terhadap satu titik dipermukaan bumi [3]. Peristiwa pasang surut memiliki periode yang bervariasi yaitu antara 12 jam 25 menit sampai 24 jam 50 menit, menurut pola gerakan muka laut peristiwa pasang surut air laut dibagi menjadi tiga tipe yaitu tipe harian tunggal (*diurnal*), harian ganda (*semi diurnal*), atau campuran (*mixed tides*) [4]. Jika suatu perairan bertipe pasang surut tunggal maka dalam satu hari mengalami satu kali surut dan satu kali pasang, jika tipe pasang surut ganda maka dalam sehari terjadi dua kali surut dan dua kali pasang, dan pasang surut campuran yaitu peralihan antara tipe pasang surut tunggal dan pasang surut ganda [5].

Metode konvensional yang lumrah diterapkan untuk mengukur pasang surut air laut adalah menggunakan *tide staff*, tetapi metode ini memiliki kelemahan karena membutuhkan sumber daya manusia yang banyak, waktu untuk mengamati dan mencatat variasi serta tidak semua lokasi memiliki stasiun pasut [6]. Selain itu, hasil pengamatan yang diperoleh bersifat subjektif berdasarkan pengamat yang rentan terjadi kesalahan pembacaan terutama saat malam hari [5]. Sedangkan manusia memiliki keterbatasan waktu dan tenaga serta tingkat akurasi yang rendah akibat perubahan ketinggian air laut yang berlangsung cepat.

Saat ini banyak dilakukan penelitian mengenai alat monitoring pasang surut air laut. Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan sensor *water level* dan NodeMCU ESP8266 dengan data yang dikirimkan melalui telegram berupa informasi peringatan, namun alat tersebut tidak dapat menyimpan data hasil pengukuran [4]. Dalam penelitian lain menggunakan sensor Ultrasonik HC-SR04, arduino uno dengan mengirimkan notifikasi melalui SMS dan data disimpan pada *Micro SD card*, namun data hasil penelitian tidak dapat diakses melalui internet secara real-time [5]. Selain itu, dalam penelitian lain yang juga menggunakan sensor HC-SR04 yang dihubungkan ke arduino uno dengan hasil pengukuran ditampilkan menggunakan *software* Delphi 7 dalam bentuk grafik, namun alat tersebut perlu dikembangkan lagi agar dapat menyimpan data pada *Micro SD card* [7]. Dan pada penelitian lain yang menggunakan sensor HC-SR04, arduino uno serta *buzzer* sebagai peringatan dini, namun data hasil pengukuran tidak dapat diakses secara *real time* [8].

Seiring kemajuan teknologi terkini, pengukuran otomatis menggunakan mikrokontroler menjadi populer karena kemudahan serta data dapat diakses secara *real time* [9]. Sehingga memungkinkan untuk merancang alat monitoring pasang surut air laut tanpa pengamatan secara langsung, terutama untuk mendapatkan informasi yang dapat diakses kapan saja tidak terbatas waktu. Untuk dimanfaatkan dalam penyampaian informasi yang bersifat darurat, dan dapat diakses dengan mudah. Informasi ini diperlukan untuk meminimalisir dampak negatif dari bencana alam yang sering terjadi di wilayah pesisir akibat pasang surut air laut seperti banjir rob, pasang surut air laut maksimum bahkan bencana tsunami.

Sistem perangkat yang didalamnya terdapat sensor dan perangkat lunak yang terkoneksi ke jaringan internet sehingga menghasilkan data pengukuran secara *real time* disebut *Internet of Thing* (IoT) [10]. IoT dapat mempermudah kegiatan manusia karena adanya kontrol perangkat yang terhubung sehingga akan lebih efektif tanpa terbatas waktu dan jarak [1]. Bagian utama yang berfungsi mengontrol keseluruhan sistem IoT yaitu NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler berkomunikasi secara serial dengan sensor HC-SR04 [4].

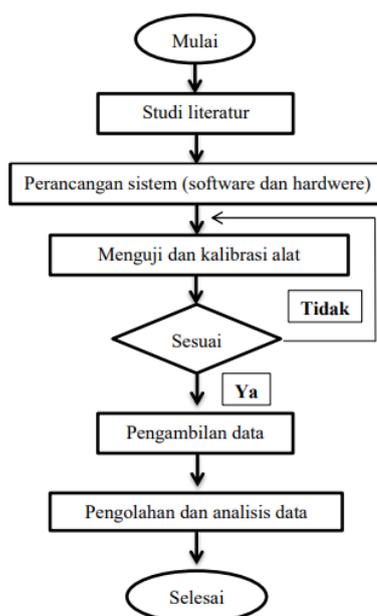
Sensor HC-SR04 sering diaplikasikan dalam merancang alat monitoring pasang surut air laut. Sensor ini bekerja dinterval delayengan prinsip pantulan gelombang suara yang memiliki frekuensi berkisar 40 KHz sampai 400 KHz, sehingga dapat mendeteksi keberadaan objek didepannya [11]. Pada dasarnya manusia tidak dapat mendengar gelombang suara ultrasonik, dan gelombang ini dapat didengar oleh hewan tertentu seperti lumba-lumba, kelelawar, anjing, dan kucing [1]. Sensor HC-SR04 memiliki tegangan kerja berkisar 3 – 5v dengan arus listrik 15 mA, dan mengukur dalam rentang jarak 2 – 400 cm dengan akurasi 3 mm [12].

Software pendukung pada penelitian ini yaitu ThingSpeak, yang merupakan platform IoT dengan API terbuka yang berguna sebagai server basis data untuk menyimpan data yang diproses oleh mikrokontroler serta berkomunikasi melalui jaringan internet [1]. ThingSpeak dapat dikontrol dan diakses pada PC melalui web ThingSpeak maupun *smartphone* dengan menginstal aplikasi thingView secara gratis pada playstore. Data hasil pengukuran yang diperoleh juga disimpan pada *micro SD card*. *Micro SD card* dapat diakses, dibaca maupun menyimpan data dengan *micro SD card adapter* yang dihubungkan ke mikrokontroler menggunakan sistem antarmuka SPI (*Serial Parallel Interface*) yang sebelumnya telah diprogram menggunakan aplikasi arduino IDE [11].

Untuk memonitoring pasang surut air laut memerlukan alat yang memadai, namun umumnya memerlukan biaya yang cukup mahal. Sehingga perlu dikembangkan rancang bangun alat monitoring pasang surut air laut berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan sensor HC-SR04.

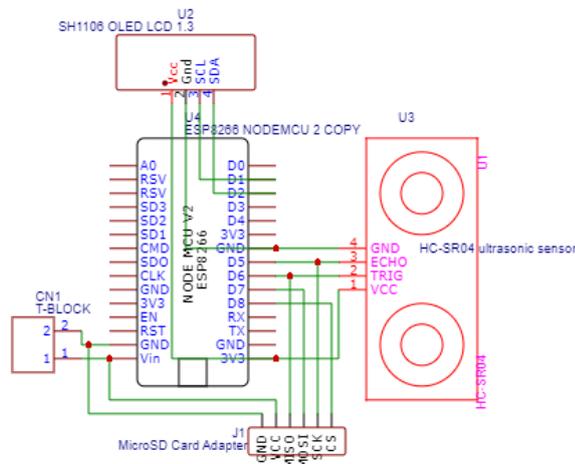
2. Metode Penelitian

Rancangan alat monitoring pasang surut air laut berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan sensor HC-SR04 dilakukan dalam lima tahap penelitian, yakni studi literatur, perancangan dan implementasi sistem pada alat, pengujian sistem, pengambilan data, serta pengolahan dan analisis data seperti pada diagram alir Gambar 1 berikut.



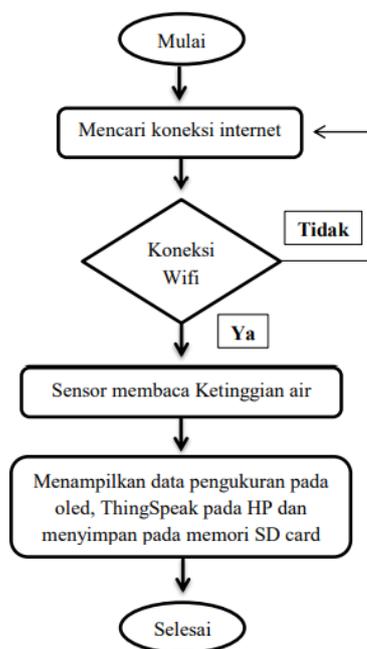
Gambar 1. Diagram alir prosedur penelitian

Pada tahap perancangan sistem dibagi menjadi dua yaitu perancangan sistem perangkat keras (*hardware*) dan perancangan sistem program pada perangkat lunak (*software*). Pada tahap ini dirancang untuk dapat mengukur pasang surut air laut secara otomatis dan data yang diperoleh dikirim secara realtime. Pada perancangan sistem perangkat keras yaitu dengan menentukan komponen yang akan digunakan, diantaranya mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor HC-SR04, *micro SD card adapter*, oled SH1106 1.3 inch, dan *step down* LM2596. Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 digunakan karena dapat berfungsi sebagai mikrokontroler sekaligus dapat terkoneksi ke internet, sehingga cocok diaplikasikan pada proyek IoT [13]. Selain itu kelebihan lain dari NodeMCU ESP8266 adalah kompetibel dengan *library* yang dapat mendukung kerja berbagai sensor, harganya yang cukup terjangkau serta mudah didapatkan [14]. Penggunaan sensor HC-SR04 yang berfungsi untuk mengukur jarak ke objek dengan deteksi jangkauan nonkontak yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dengan akurasi tinggi dan pembacaan yang stabil dan mudah digunakan [15]. Kelebihan lainnya yaitu dapat memperoleh nilai jarak dari pantulan gelombang suara yang dipancarkan oleh pin trigger dengan sangat cepat dan ditangkap oleh pin echo dalam port yang berbeda sehingga data jarak dapat dengan mudah diperoleh [16]. Setelah dilakukan perancangan pada perangkat keras, kemudian merancang skematik rangkaian alat seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik rangkaian alat

Setelah membuat skematik, dilanjutkan dengan merancang sistem program pada perangkat lunak menggunakan aplikasi arduino IDE, program / koding akan diimplementasikan ke rancangan alat pengukur dan pengiriman data pasang surut air laut, yang di upload pada mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Selanjutnya mikrokontroler akan mencari koneksi ke jaringan internet yang sudah diprogramkan, kemudian sensor HC-SR04 akan mengukur ketinggian air dan data hasil pengukuran akan ditampilkan secara otomatis dan realtime. Berikut merupakan diagram alir pada alat monitoring pasang surut air laut.



Gambar 3. Diagram alir alat monitoring pasang surut air laut

Rancangan alat ini menggunakan sumber tegangan baterai Li-Po 850 mAh yang memiliki tegangan 7,4 volt yang dihubungkan dengan *step down* LM2596 untuk menurunkan tegangan baterai, karena tegangan kerja yang dibutuhkan oleh rangkaian alat berkisar 5,5 volt. *Step down* LM2596 cocok digunakan dalam rangkaian ini karena dapat menurunkan tegangan input berkisar 4-35 volt dan menghasilkan tegangan output berkisar 1,23 – 30 volt, dengan arus maksimal 3 A [17].

Pada alat ini menghasilkan data berupa ketinggian air dengan satuan cm dari permukaan air. Data yang diperoleh ditampilkan pada oled yang terhubung secara I2C sehingga pin SCL dan SDA oled dihubungkan pada pin D1 dan D2 mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Selain itu, data yang diperoleh juga dikirim melalui jaringan internet ke web ThingSpeak atau pada aplikasi ThingView yang telah diinstal secara gratis pada *smartphone* melalui playstore. ThingSpeak dipilih karena merupakan salah satu platform IoT dengan API terbuka yang mudah digunakan dan dapat diakses oleh siapapun.

Tahap selanjutnya yaitu pengujian sistem, tahap ini sangat penting dilakukan guna mengetahui apakah alat yang dirancang sudah sesuai dan dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Pada tahap ini dilakukan dengan membandingkan hasil yang terukur pada alat dengan mistar. Jika hasil belum sesuai maka perlu adanya perbaikan lagi. Jika sudah sesuai dapat dilanjutkan dengan pengambilan data.

Pada tahap pengambilan data diambil dengan menggunakan prototype dalam bentuk sederhana menggunakan bak air dengan kedalaman 50 cm, yang kemudian dibandingkan dengan alat ukur mistar. Data yang diperoleh dimasukkan pada tabel data. Data diambil pada kedalaman 50 cm karena rentang pasang dan surut air laut biasanya kecil.

Data yang sudah diperoleh diolah dengan Microsoft excel untuk mencari persentase eror pada alat menggunakan persamaan berikut.

$$XY = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\% \quad (1)$$

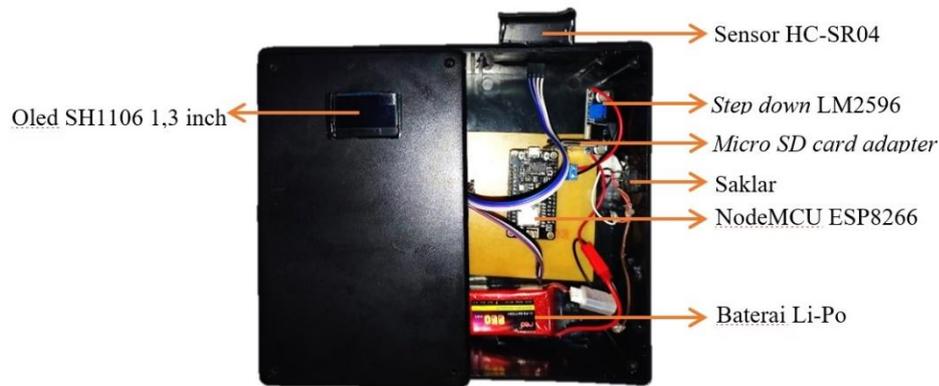
Dengan X_n = Nilai pada alat pembanding

Y_n = Nilai pada alat ukur [17]

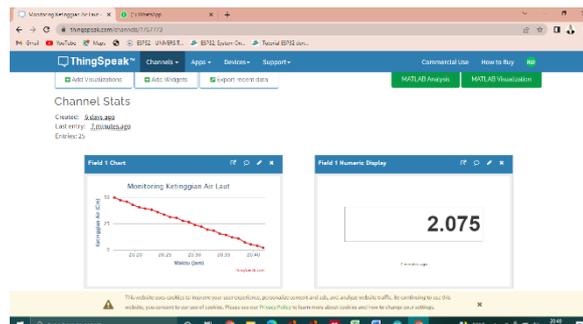
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Rangkaian Alat dan Aplikasi

Rangkaian komponen pada alat monitoring pasang surut air laut ini diletakkan pada box hitam berbentuk balok dengan dimensi $18,5 \times 11,5 \times 6,5$ cm seperti pada Gambar 4. Data hasil pengukuran ditampilkan pada oled dan web ThingSpeak serta disimpan pada *micro SD Card*, seperti yang terdapat pada Gambar 5, 6 dan 7.

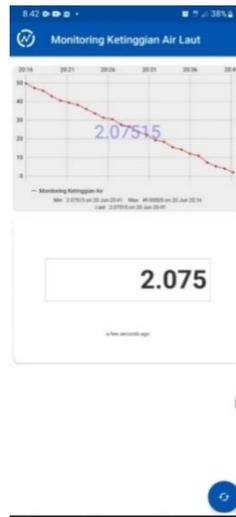


Gambar 4. Rangkaian alat (Dok. Pribadi)

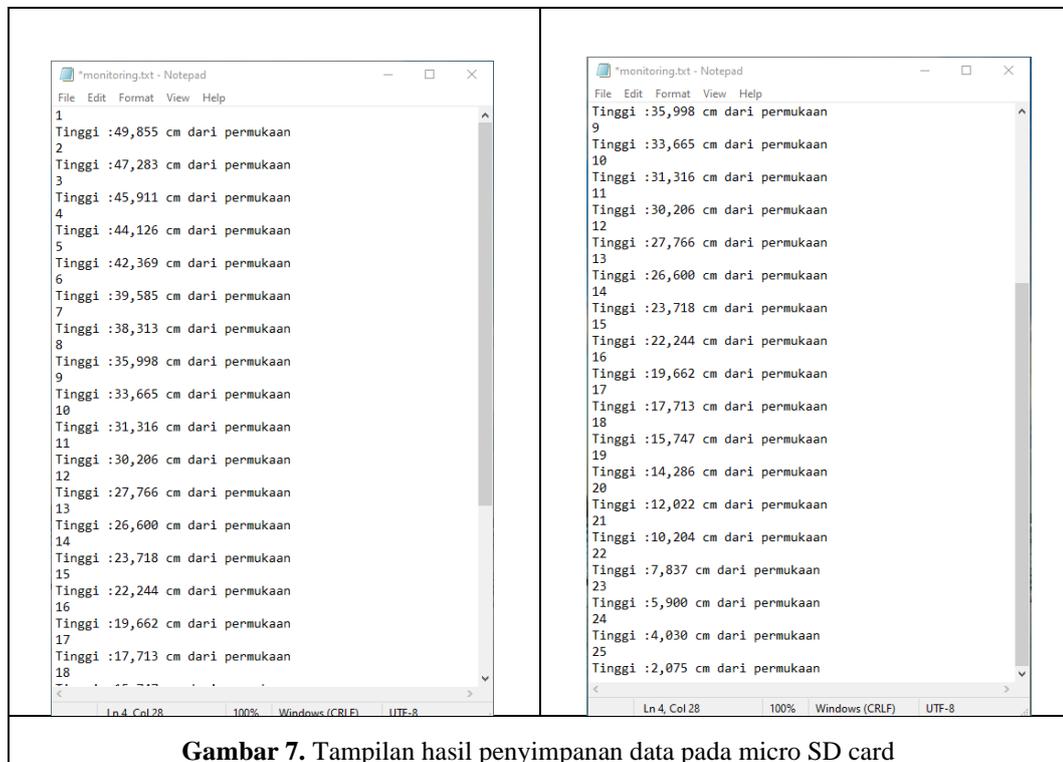


Gambar 5. Tampilan aplikasi ThingSpeak pada web

Data hasil pengukuran ketinggian air akan ditampilkan pada oled maupun web ThingSpeak dengan satuan cm dari permukaan air, serta hasil pengukuran berhasil disimpan pada *micro SD card* dalam file bernama monitoring dengan format txt.



Gambar 6. Tampilan aplikasi ThingView pada smartphone



Gambar 7. Tampilan hasil penyimpanan data pada micro SD card

3.1. Hasil Data Pengujian

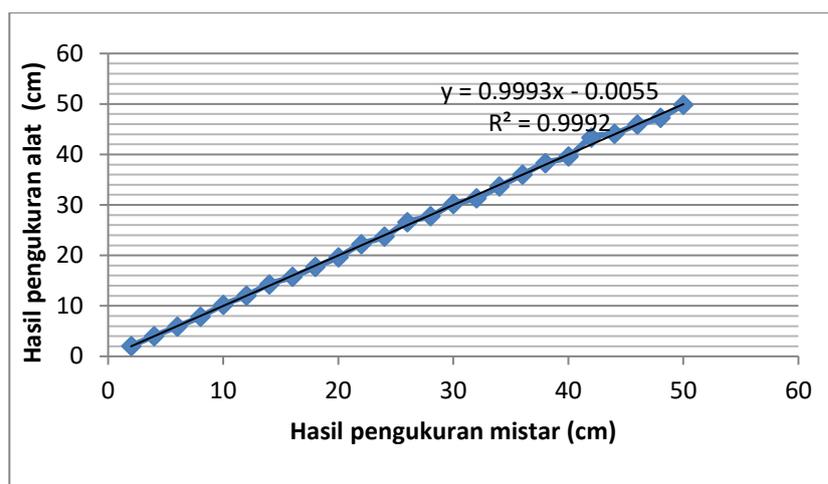
Dalam penelitian ini data diambil dengan menggunakan prototype sederhana menggunakan bak air dengan kedalaman 50 cm, data diambil dengan rentang waktu 1 menit dengan manipulasi ketinggian sebesar 2cm, yang kemudian dibandingkan dengan alat ukur mistar sehingga diperoleh data pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil pengujian alat monitoring pasang surut air laut

Tinggi Air pada Mistar (cm)	Tinggi Air pada Alat (cm)	Error (%)
50	49,855	0,290
48	47,283	1,494
46	45,911	0,193
44	44,126	0,286
42	43,369	0,878
40	39,585	1,037
38	38,313	0,824
36	35,998	0,005
34	33,665	0,985
32	31,316	2,137
30	30,206	0,687
28	27,766	0,836
26	26,600	2,306
24	23,718	1,175
22	22,244	1,109
20	19,662	1,690
18	17,713	1,594
16	15,747	1,581
14	14,286	2,042
12	12,022	0,183
10	10,204	2,040
8	7,837	2,037
6	5,900	1,667
4	4,030	0,750
2	2,075	3,750
Error rata - rata		1,263

3.1. Pembahasan

Dapat dilihat pada tabel 1 menunjukkan bahwa alat dapat mengukur ketinggian air dalam rentang 2manipulasi ketinggian – 50 cm dengan baik, seperti pada spesifikasi sensor HC-SR04 yaitu dapat mengukur jarak minimal 2 cm dan maksimal 400 cm dengan akurasi jangkauan mencapai 3 mm, dan diperoleh nilai eror terendah sebesar 0,005% dan eror tertinggi sebesar 3,75% dengan rata – rata interval delay 1,263%. Dari nilai eror yang diperoleh ada beberapa hasil pengukuran dengan persentase eror cukup tinggi hal ini dikarenakan sensor bekerja kurang maksimal. Sensor HC-SR04 bekerja dengan prinsip pemantulan gelombang, namun kadang pantulan gelombang yang dihasilkan kurang sesuai, sehingga menyebabkan hasil pengukuran kurang maksimal, maka saat pemasangan sensor harus diperhatikan letak posisi sensor agar pantulan gelombang yang dihasilkan akurat [8]. Adanya selisih antara hasil pengukuran ketinggian pada alat dengan mistar disebabkan karena sensor sangat sensitif, sensor dapat bekerja maksimal jika diletakkan pada tempat yang stabil dan dengan posisi sudut <math><15^\circ</math> [15].



Gambar 8. Grafik perbandingan hasil pengukuran alat dengan mistar

Seperti pada Gambar 8, dapat dilihat bahwa grafik menunjukkan hasil pengukuran ketinggian air pada alat dan mistar bernilai hampir sama. Hasil data yang diperoleh akan dikirimkan ke web ThingSpeak melalui jaringan internet dengan data yang direkam, dengan interval delay 15-19 sekon, dikarenakan instrumen ini mengandalkan WiFi yang bersumber dari hotspot seluler untuk mengirim data ke server thingspeak, banyak data yang mengalami keterlambatan perekaman hingga beberapa menit [6]. Saat melakukan penelitian data hasil pengukuran akan ditampilkan pada ThingSpeak baik pada laptop maupun pada *smartphone* dengan aplikasi ThingView. Pada aplikasi ThingView untuk menampilkan data hasil pengukuran kadang terjadi delay beberapa detik sehingga harus di refresh terlebih dahulu untuk melihat data terbaru yang telah terkirim, hal ini dikarenakan jaringan internet tidak cukup kuat sehingga terjadi delay pengiriman data. Agar alat dapat mengukur ketinggian dan mengirim data secara realtime dengan baik, koneksi internet harus dipastikan dalam kondisi yang stabil sehingga tidak ada kendala dalam pengiriman data.

4. Kesimpulan

Rancangan alat monitoring pasang surut air laut dengan menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor HC-SR04 berhasil dibuat dan dapat berfungsi dengan baik, dan data yang diperoleh dikirimkan melalui jaringan internet ke website ThingSpeak dengan delay pengiriman data sebesar 15 sekon, dan data juga berhasil disimpan pada *micro SD card* dengan format file txt. Dalam percobaan ini alat digunakan untuk mengukur ketinggian air dalam rentang 2 – 50 cm dengan manipulasi ketinggian sebesar 2 cm. Pada alat monitoring pasang surut air laut diperoleh nilai eror rata-rata alat sebesar 1,263%. Agar alat dapat mengukur ketinggian dan mengirim data secara *real time* dengan baik koneksi internet harus dipastikan dalam kondisi yang stabil.

Daftar Pustaka

1. M. H. Kurnia, R. E. Saputra, and C. Setianingsih, "High-Low Detection of Sea Water Waves With Multi-Sensor System Based on Iot," *e-Proceeding Eng.*, vol. 8, no. 5, pp. 6175–6182, 2021.
2. Gopinda, D. Budiman, and L. Irfan, "Perancangan Prototype Sistem Monitoring Tinggi Pasang Surut Air Laut Dan Peringatan Dini Tsunami Berbasis Internet of Things ...," pp. 1–8, 2020, [Online]. Available: <http://eprints.unram.ac.id/16233/>.
3. M. I. Quraisy, Z. Zainuddin, and Z. Hasanuddin, "Sistem Monitoring Dan Estimasi Pasang Surut Air Laut Pada Kantor Perhubungan Laut Kab. Majene," *J. It*, vol. 10, no. 1, pp. 24–30, 2019, doi: 10.37639/jti.v10i1.91.
4. R. Akram and L. Fitria, "Rancang Bangun Sistem Deteksi Level Ketinggian Air Laut Berbasis Internet Of Thing," *JITE (Journal Informatics Telecommun. Eng.* Available, vol. 4, no. January, pp. 1–9, 2021.
5. R. Fadly and C. Dewi, "Pengembangan Sensor Ultrasonic Guna Pengukuran Pasang Surut Laut Secara Otomatis dan Real Time," *J. Rekayasa*, vol. 23, no. 1, pp. 1–16, 2019.
6. N. A. Haq, Khomsin, and D. G. Pratomo, "The Design of an Arduino Based Low-Cost Ultrasonic Tide Gauge with the Internet of Things (Iot) System," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 698, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/698/1/012004.
7. I. K. Missa, L. A. seseragi Lapono, and A. Wahid, "Rancang Bangun Alat Pasang Surut Air Laut Berbasis Arduino Uno dengan menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04," *J. Fis. sains dan Apl.*, vol. 3, pp. 102–105, 2018.
8. M. Yakob, N. Sagita, and R. A. Putra, "Rancang bangun alat pendeteksi ketinggian permukaan air berbasis mikrokontroler arduino uno," *J. Ilm. Jurutera*, vol. 06, pp. 10–13, 2019, [Online]. Available: ejurnalunsam.id/index.php/jurutera.
9. H. A. Kusuma and N. Oktaviani, "Electronic design and simulation of low cost ocean tides monitoring instrument using Labcenter Proteus," *J. Appl. Geospatial Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 63–68, 2017, doi: 10.30871/jagi.v1i2.431.
10. S. R. Noptian, A. Suhendi, and R. A. Salam, "Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Laut Menggunakan Accelerometer Berbasis Iot," *e-Proceeding Eng.*, vol. 7, no. 2, pp. 4517–4522, 2020.
11. D. N. P. Hartoto, R. Fadly, and A. Zakaria, "Studi Akurasi Sensor Ultrasonik Tipe US-015 Untuk Pengukuran Pasang Surut Air Laut Daerah Bergelombang," *JRSDD*, vol. 8, no. 1, pp. 33–52, 2020.
12. R. Fikri, B. P. Lapanporo, and M. I. Jumarang, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Permukaan Air Menggunakan Mikrokontroler ATMEGA328P Berbasis Web Service," *Positron*, vol. 5, no. 2, pp. 42–48, 2015, doi: 10.26418/positron.v5i2.11666.
13. N. H. L. Dewi, M. F. Rohmah, and S. Zahara, "Prototype Smart Home Dengan Modul Nodemcu Esp8266 Berbasis Internet of Things (Iot)," *J. Tek. Inform.*, p. 3, 2019.
14. Fathurrahmani and Agustiannoor, "Smartpot untuk Efisiensi Monitoring Tanaman Hias Berbasis IoT," vol. 9, no. 2, pp. 203–212, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.30700/jst.v9i2.490>.

15. Cytron Technologies, "Hc-Sr04," pp. 1–10, 2013, [Online]. Available: <http://raspoid.com/download/datasheet/HCSR04%0A2019-05-24>.
16. M. Andriyan, A. Harijanto, and H. B. Prastowo, "Rancang Bangun Alat Praktikum Penentuan Indeks Bias Zat Cair Berbantuan Arduino dan Sensor Jarak HC-SR04," *J. Pendidik. Fis. Undiksha*, vol. 11, no. 2, pp. 19–29, 2021.
17. N. Nikmah, I. Sucahyo, and M. Yantidewi, "Rancang Bangun Pengukur Suhu dan Hand Sanitizer Otomatis Berbasis Arduino Uno," *Jambura Phys. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 54–64, 2020, [Online]. Available: <http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/JPJ>.

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK SEL SUPERKAPASITOR BERBAHAN KOMPOSIT GO/TiO₂ YANG DIBUAT MELALUI PROSES TERMAL DENGAN DAN TANPA AUTOCLAVE

SAAJIDAH FATHINAL HAQ¹, NUR KHANIFAH¹, FITRILAWATI¹, I MADE JONI^{1,2},
NORMAN SYAKIR^{1*}

¹Departemen Fisika FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat

² Functional Nano Powder University Center of Excellent, Universitas Padjadjaran

*email : n.sjakir@phys.unpad.ac.id

Abstrak. Komposit rGO/TiO₂ dibuat dengan metode termal menggunakan autoclave dan tanpa autoclave. Komposit rGO/TiO₂ tanpa autoclave dibuat dari dispersi GO dan dispersi TiO₂ dengan rasio massa 3:2 melalui pemanasan pada 50 °C selama 5 jam, sedangkan komposit rGO/TiO₂ dengan autoclave dibuat dari dispersi GO dan dispersi TiO₂ dengan rasio massa 3:2 melalui pemanasan pada 120 °C selama 24 jam. Untuk elektroda superkapasitor lapisan komposit rGO/TiO₂ dibuat pada pelat nickel (Ni) dengan menggunakan teknik UV Oven spraying. Model superkapasitor yang dibuat berbentuk sel simetris terdiri dari sepasang lapisan komposit rGO/TiO₂ pada pelat Ni sebagai elektroda dan larutan 1M KOH sebagai elektrolit. Superkapasitor yang menggunakan elektroda komposit rGO/TiO₂ yang dibuat menggunakan autoclaves memiliki performa lebih tinggi dibanding superkapasitor yang menggunakan elektroda komposit rGO/TiO₂ tanpa autoclaves, dengan nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik, dan daya spesifik masing-masing adalah 8,21 F/g, 1,14 Wh/kg, dan 164,1 Watt/kg. Performa superkapasitor komposit rGO/TiO₂ tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan superkapasitor yang menggunakan elektroda GO dan TiO₂ murni.

Kata kunci: Autoclaves, komposit rGO/TiO₂, superkapsitor, UV-Oven spraying

Abstract. The rGO/TiO₂ composites were prepared by thermal method using an autoclave and without an autoclave. The rGO/TiO₂ composite without an autoclave was prepared from GO dispersion and TiO₂ dispersion with a mass ratio of 3:2 through heating at 50 °C for 5 hours, while the rGO/TiO₂ composite with an autoclave was prepared from GO dispersion and TiO₂ dispersion with a mass ratio of 3:2 through heating at 120 °C for 24 hours. As supercapacitor electrodes, the rGO/TiO₂ composite layer was deposited on nickel plates (Ni) using the UV Oven spraying technique. The configuration of supercapacitor model was a symmetrical cell that consists of a pair of rGO/TiO₂ composite layers on the Ni plate as electrodes and a 1M KOH solution as an electrolyte. The supercapacitor with the electrodes of rGO/TiO₂ composite made using autoclaves has higher performance compared to the supercapacitor with the electrodes of rGO/TiO₂ composite without autoclave, with the specific capacitance values, specific energy, and specific power of 8.21 F/g, 1.14 Wh/kg, and 164.1 Watt/kg. The performance of the rGO/TiO₂ composite supercapacitors are higher than that of supercapacitors using pure GO and TiO₂ as electrodes.

Keywords: Autoclaves, rGO/TiO₂ composite, supercapacitor, UV-Oven spraying

1. Pendahuluan

Seiring dengan pertumbuhan kebutuhan energi maka diperlukan piranti penyimpanan energi yang memiliki kapasitas besar. Sudah banyak upaya yang dilakukan untuk mengembangkan dan menyempurnakan media penyimpan energi, salah satunya adalah pengembangan superkapasitor. Superkapasitor sangat menarik dalam teknologi penyimpanan energi listrik karena memiliki kerapatan energi yang lebih tinggi dibandingkan kapasitor konvensional dan kerapatan daya yang lebih tinggi dibandingkan baterai. Selain itu, superkapasitor memiliki kelebihan lain yaitu tingkat pengisian yang cepat dan umur siklus pengisian yang panjang [1].

Ada dua kelompok superkapasitor yang banyak diteliti yaitu *electrochemical double layer capacitors* (EDLC) dan pseudokapasitor [2]. Superkapasitor EDLC menggunakan bahan elektroaktif berbasis karbon alotrop seperti karbon aktif, karbon *nanotube*, *graphene*, dan lain-lain. Mekanisme penyimpanan energi EDLC melalui akumulasi muatan pada antarmuka elektroda-elektrolit sehingga menghasilkan stabilitas jangka panjang dan pengisian daya yang cepat. Namun superkapasitor jenis ini memiliki kekurangan yaitu kepadatan energi yang rendah dan aksesibilitas ionik yang terbatas [1, 3, 4]. Di lain pihak, pseudokapasitor yang menggunakan bahan elektroaktif berbasis oksida logam dan mekanisme penyimpanan muatan melalui reaksi redoks pada permukaan elektroda, memiliki kapasitas spesifik yang tinggi, dan kepadatan energi yang tinggi [5]. Menimbang kelebihan dan kekurangan dari superkapasitor EDLC dan pseudokapasitor, banyak dilakukan upaya dengan menggabungkan superkapasitor EDLC dan pseudokapasitor untuk menghasilkan superkapasitor hibrida [6].

Graphene adalah lembaran karbon 2D hibridisasi sp² yang sangat potensial dijadikan sebagai elektroda superkapasitor jenis EDLC. Beberapa keunggulan bahan *graphene* antara lain adalah konduktivitas listrik tinggi dan luas permukaan tinggi (>2500 m²g⁻¹) [3]. Sementara itu, titanium dioksida (TiO₂) merupakan bahan oksida logam yang banyak dipelajari untuk pseudo-superkapasitor karena memiliki keunggulan seperti biaya rendah, stabil secara kimia, bahan bakunya berlimpah, luas permukaan yang tinggi, namun memiliki kapasitas teoritis yang lebih rendah dan resistivitasnya yang tinggi [4, 5]. Oleh karena itu, penggunaan komposit rGO/TiO₂ sebagai elektroda superkapasitor hibrida diharapkan dapat meningkatkan kinerja superkapasitor.

Pada penelitian Xiang dkk, dilaporkan bahwa elektroda superkapasitor komposit rGO/TiO₂ yang dibuat dengan teknik deposisi *doctor blade* memiliki kinerja yang baik dengan nilai kapasitansi spesifik 60 F/g, daya spesifik sebesar 90 W/kg dan energi spesifik sebesar 8 Wh/kg [2]. Pada penelitian Khanifah dkk, telah berhasil dibuat lapisan rGO menggunakan teknik *UV-oven spraying*, dimana ketebalan lapisan dapat dikontrol melalui pengaturan dengan jumlah pengulangan lapisan [7]. Teknik ini juga dapat menghasilkan lapisan film rGO berkualitas baik langsung dari dispersi GO.

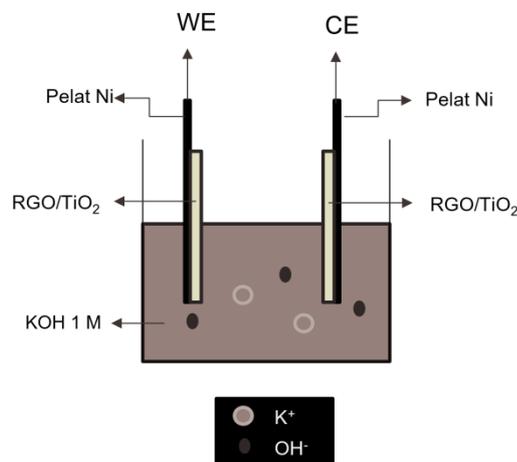
Pada makalah ini dilaporkan karakteristik superkapasitor yang menggunakan elektroda dari lapisan komposit rGO/TiO₂ dengan rasio massa 3:2 yang dibuat dengan dan tanpa *autoclave*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perbedaan metode preparasi komposit rGO/TiO₂ terhadap kinerja elektroda superkapasitor.

2. Metode Penelitian

Dispersi komposit rGO/TiO₂ disiapkan dengan menggunakan metode termal dengan dan tanpa *autoclaves*. Metode termal tanpa *autoclaves* dilakukan dengan mencampurkan 0,5 mg/ml. dispersi GO komersial (Graphenea SA ES a75022608) dan 0,5 mg/ml dispersi TiO₂ komersial (P25, ACS material, CAS No. 13463-67-7) dengan perbandingan rasio massa GO:TiO₂ 3:2. Kemudian campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (IKA C-MAG HS 7) pada suhu 50°C selama 5 jam. Terakhir dilakukan sonikasi selama 30 menit menggunakan *ultrasonic bath* (Branson 1800) agar dapat tercampur secara merata.

Sementara itu, pembuatan komposit rGO/TiO₂ menggunakan *autoclaves* dilakukan dengan mencampurkan dispersi GO konsentrasi 1,5 mg/ml sebanyak 18 mL dengan 33,3 ml etanol dan 48,7 ml *mili-Q water*. Kemudian 18 mg serbuk TiO₂ (P25) ditambahkan sehingga rasio massa GO dan TiO₂ menjadi 3:2. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam dengan kecepatan 250 rpm untuk mendapatkan suspensi yang lebih homogen. Kemudian campuran dipindahkan ke dalam *autoclaves* dan dipanaskan menggunakan *furnace* (Yamada Denki CO., LTD) pada suhu 120°C selama 24 jam dengan kenaikan suhu 5°C/menit. Setelah itu, produk komposit dikeringkan diatas hotplate dengan suhu 50°C selama 2 jam dan dilanjutkan penggerusan serbuk kering komposit rGO/TiO₂. Selanjutnya dilakukan pembuatan dispersi komposit rGO/TiO₂ konsentrasi 0,5 mg/ml yaitu dengan mencampurkan serbuk komposit rGO/TiO₂ dengan *mili-Q water*.

Elektroda komposit rGO/TiO₂ dibuat dengan melapiskan dispersi komposit rGO/TiO₂ dari kedua metode yang telah dilakukan pada pelat nikel menggunakan teknik *UV-Oven Spraying*. Pada teknik ini, pelapisan film tipis dilakukan dengan metode *spray coating* sambil memberikan iradiasi UV (HPL-n Mercury Lamp 125 Watt) intensitas 130 mJ/cm²menit. Pelapisan dilakukan dengan penyemprotan berulang secara manual menggunakan *micro airbrush* (Mollar) sebanyak 80x, dimana pada tiap pengulangan penyemprotan diberikan interval waktu 10 menit. Iridiasi UV terus diberikan selaca proses penyemprotan berlangsung. Adapun tekanan kompresor (Krisbow) yang dilakukan adalah 45 psi.



Gambar 1. Skema model sel superkapsitor simetris elektroda komposit rGO/TiO₂ dan elektrolit 1M KOH

Model superkapasitor yang dibuat adalah model simetris dengan lapisan film tipis komposit rGO/TiO₂ pada plat nikel sebagai elektroda dan larutan 1 M KOH dengan volume 14 ml sebagai elektrolit seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Jarak antar elektroda yaitu 5 mm dan tinggi yang tercelup dari masing-masing elektroda adalah 15 mm. Karakteristik model superkapasitor diukur melalui pengukuran *Cyclic Voltammetry* (CV) menggunakan *MIT BST8-Stat*. Pengukuran dilakukan pada rentang tegangan $-0,5$ V sampai $0,5$ V dengan variasi *scanrate* dari 10 mV/s sampai dengan 100 mV/s. Sebagai pembanding dibuat juga model superkapasitor yang menggunakan GO, dan rGO. Kode sampel yang digunakan pada elektroda komposit rGO/TiO₂ yang disiapkan tanpa *autoclaves* dan dengan *autoclaves* masing-masing adalah rGO/TiO₂ (T) dan rGO/TiO₂ (H).

Nilai kapasitansi spesifik, daya spesifik, dan energi spesifik ditentukan menggunakan kurva histerisis yang dihasilkan dari pengukuran CV menggunakan persamaan (1), (2), (3), dan (4). Pada persamaan tersebut P adalah daya, i adalah arus, V adalah tegangan, ΔV adalah rentang potensial pemindaian (V), dan m adalah massa bahan aktif (kg). P_{sp} adalah daya spesifik (W/kg), C_{sp} adalah kapasitansi spesifik (F/g), dan E_{sp} adalah energi spesifik (Wh/kg).

$$P = \left(\int_{V_i}^{V_f} i dV - \int_{V_f}^{V_i} i dV \right) \quad (1)$$

$$P_{sp} = \frac{P}{m} \quad (2)$$

$$C_{sp} = \frac{P}{2m} \Delta V s \quad (3)$$

$$E_{sp} = \frac{1}{2} C_{sp} \Delta V^2 \quad (4)$$

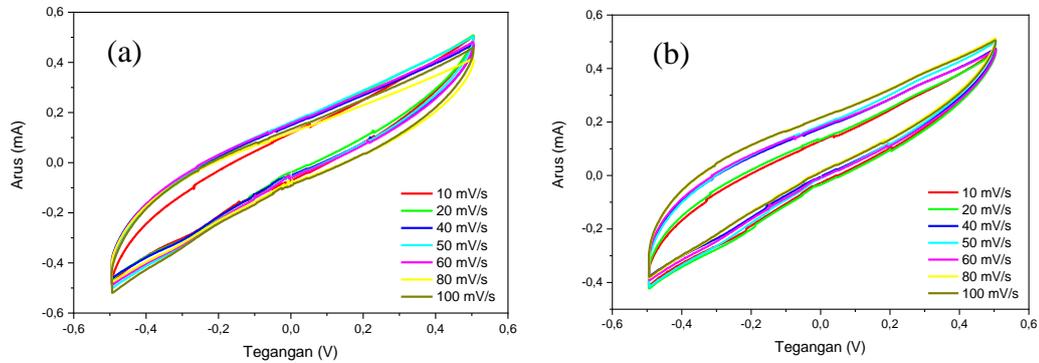
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran CV berupa kurva respon arus terhadap siklus tegangan yang diberikan ketika tegangan dinaikkan dari $-0,5$ V hingga $0,5$ dan diturunkan kembali ke tegangan $-0,5$ V. Adanya histerisis pada kurva tersebut mengindikasikan bahwa terjadi mekanisme penyimpanan muatan akibat akumulasi muatan pada permukaan elektroda dan elektrolit.

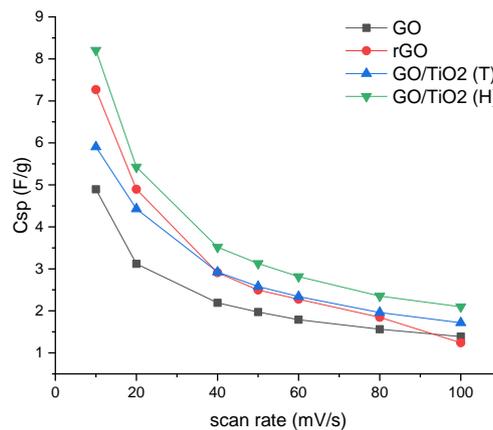
Gambar 2 menunjukkan kurva histerisis komposit rGO/TiO₂ (T) (a) dan rGO/TiO₂ (H). Tampak bahwa *scan rate* memengaruhi luas area kurva histerisis CV yang dihasilkan. Yaitu, semakin besar *scan rate*, maka semakin besar luas histerisis CV. Penggunaan *scan rate* yang tinggi, akan memberikan pengaruh terhadap kecepatan *transport* dan separasi ion.

Nilai kapasitas spesifik (C_{sp}) pada seluruh sampel dihitung menggunakan persamaan 3, dimana Gambar 3 menunjukkan hubungan C_{sp} terhadap *scan rate* pada sampel GO, rGO, rGO/TiO₂ (T), dan rGO/TiO₂ (H). Terlihat bahwa C_{sp} pada setiap sampel menurun seiring dengan kenaikan *scanrate*. Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketika *scanrate* diperbesar, maka waktu pencuplikan data

pada CV akan semakin cepat, sehingga akumulasi ion-ion elektrolit yang melekat pada permukaan elektroda menjadi lebih sedikit, dan menghasilkan C_{sp} kecil. Begitu pun sebaliknya, ketika *scanrate* diperkecil, maka waktu pencuplikan data pada CV semakin melambat, sehingga akumulasi ion-ion yang melekat pada permukaan elektroda menjadi lebih banyak.



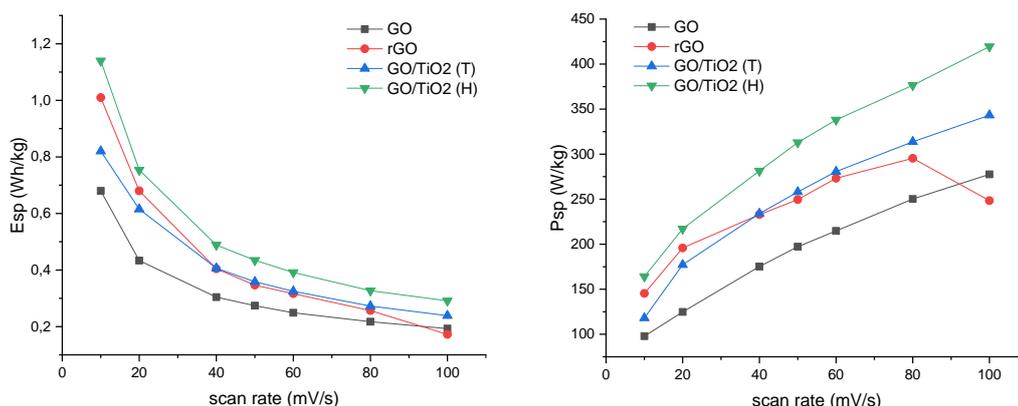
Gambar 2. Kurva Cyclic Voltammetry untuk sampel (a) komposit rGO/TiO₂ (T) (b) komposit rGO/TiO₂ (H)



Gambar 3. Perbandingan Kapasitansi Spesifik terhadap perubahan scan rate pada sampel GO, rGO, rGO/TiO₂ (T), dan rGO/TiO₂ (H)

Analisis C_{sp} maksimum ditinjau pada *scanrate* terkecil, yaitu 10 mV/s. Terlihat bahwa elektroda komposit rGO/TiO₂ pada kedua metode pembuatan memiliki letak kurva lebih tinggi daripada GO. Adapun rGO/TiO₂ (H) memiliki letak kurva lebih tinggi daripada sampel rGO dan rGO/TiO₂ (T). Hal tersebut menunjukkan bahwa sampel rGO/TiO₂ (H) memiliki kinerja kapasitif tinggi sehingga menghasilkan C_{sp} tertinggi daripada seluruh sampel.

Hubungan energi spesifik (E_{sp}) yang dihitung menggunakan Persamaan (2) terhadap *scan rate* ditunjukkan pada Gambar 4(a). Nilai E_{sp} semakin menurun seiring dengan kenaikan *scan rate*, dimana sampel rGO/TiO₂ (H) memiliki letak kurva tertinggi daripada seluruh sampel. Analisis E_{sp} maksimum juga ditinjau pada *scanrate* 10 mV/s, yang berarti sampel rGO/TiO₂ (H) juga memiliki nilai E_{sp} terbesar.



Gambar 4. Perbandingan (a) Energi Spesifik (b) Daya spesifik terhadap perubahan scanrate pada sampel GO,rGO, komposit GO/TiO₂ (T) dan komposit GO/TiO₂ (H)

Berdasarkan *Ragone Plot* superkapasitor, daya spesifik (Psp) memiliki hubungan berbanding terbalik dengan energi spesifik. Karena daya merupakan energi per satuan waktu. Hal ini berkorelasi dengan nilai *scan rate* yang diberikan pada saat pengukuran CV. Apabila *scan rate* diperbesar, misalkan pada 100 mV/s maka respon arus yang muncul pada karakteristik CV juga semakin besar, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus menjadi lebih singkat yang mengindikasikan bahwa energi tersimpan kecil, daya yang tersimpan besar, begitupun sebaliknya. Adapun hubungan Psp terhadap *scan rate* ditunjukkan pada Gambar 4(b), terlihat Psp meningkat seiring dengan peningkatan *scan rate*. Analisis Psp maksimum ditinjau pada *scan rate* 100 mV/s dan terlihat bahwa sampel rGO/TiO₂ (H) memiliki letak kurva tertinggi daripada seluruh sampel yang berarti memiliki nilai Psp tertinggi.

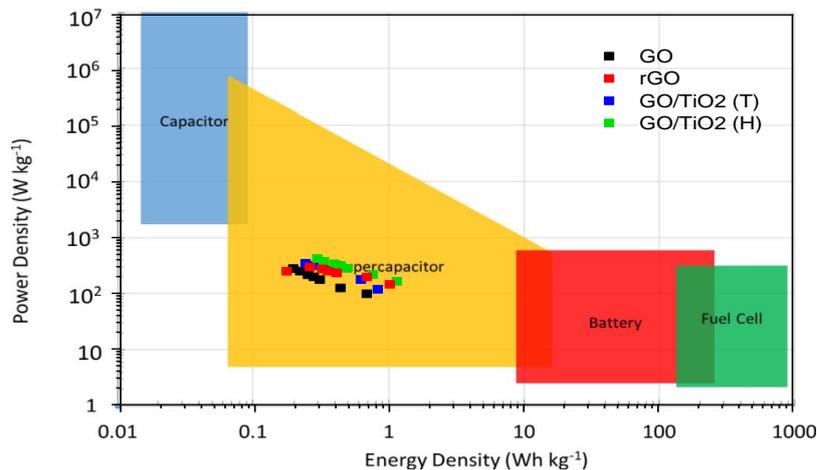
Tabel 1. Perbandingan kapasitansi spesifik, daya spesifik, dan energi spesifik pada sampel GO, rGO, komposit GO/TiO₂ (T) dan komposit GO/TiO₂ (H)

No.	Parameter	Ni GO	Ni rGO	Ni GO/TiO ₂ (T)	Ni GO/TiO ₂ (H)
1	Kapasitansi Spesifik (F/g)	4,89	7,27	5,9	8,21
2	Energi Spesifik (Wh/kg)	0,68	1,01	0,82	1,14
3	Daya Spesifik (W/kg)	97,89	145,4	118,1	164,14

Nilai kapasitansi spesifik, energi spesifik, dan daya spesifik maksimum model sel superkapasitor pada seluruh sampel ditunjukkan pada Tabel 1. Dari parameter Csp, Esp dan Psp yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kinerja sel superkapasitor dengan elektroda rGO/TiO₂ (H) lebih baik jika dibandingkan dengan model sel simetris elektroda rGO/TiO₂ (T). Dengan kata lain, performa superkapasitor elektroda rGO/TiO₂ (H) yang dihasilkan lebih tinggi daripada elektroda rGO/TiO₂ (T).

Gambar 5 menunjukkan bahwa seluruh sampel telah berada pada daerah superkapasitor yang berarti memiliki karakteristik superkapasitor. Sehingga dapat dikatakan bahwa sampel rGO/TiO₂ (T) dan rGO/TiO₂ (H) yang dideposisi diatas pelat Ni menggunakan teknik *UV-Oven spraying* dapat digunakan sebagai elektroda

superkapasitor. Selain itu, terlihat bahwa elektroda rGO/TiO₂ (H) memiliki letak titik tertinggi diantara seluruh sampel, sementara elektroda rGO/TiO₂ (T) cenderung berhimpit dengan rGO namun masih lebih tinggi daripada elektroda GO. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggabungan rGO dan TiO₂ dengan metode termal menggunakan *autoclaves* berhasil meningkatkan performa superkapasitor daripada elektroda GO dan rGO murni. Adapun penggabungan bahan rGO dan TiO₂ dengan metode termal tanpa menggunakan *autoclaves* berhasil meningkatkan performa superkapasitor elektroda GO murni, namun belum dapat meningkatkan performa elektroda dari rGO murni. Jika dibandingkan dengan penelitian Xiang dkk, 20212 [2] dengan nilai kapasitansi spesifik sebesar 60 F/g, preparasi bahan yang dilakukan penelitian ini dengan menggunakan *autoclaves* memiliki nilai yang cenderung lebih kecil yaitu 8,21 F/g. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti penggunaan elektrolit yang berbeda, dan perbandingan rasio massa rGO dan TiO₂. Karena untuk meningkatkan performa superkapasitor tidak cukup menggunakan bahan komposit rGO/TiO₂ saja, tetapi hal lainnya seperti elektrolit dan rasio perbandingan yang harus dipertimbangkan.



Gambar 5. Perbandingan nilai Esp dan Psp hasil pengukuran CV terhadap karakteristik superkapasitor pada Ragone Plot

Dari hasil tersebut didapatkan, bahwa dengan mengkompositkan rGO dan TiO₂ dengan menggunakan *autoclaves* adalah metode yang lebih baik karena dapat meningkatkan performa superkapasitor jika dibandingkan dengan GO dan rGO murni.

4. Kesimpulan

Model sel superkapasitor dengan menggunakan elektroda komposit GO/TiO₂ (T) dan GO/TiO₂ (H) telah berhasil dibuat dan karakteristik dari kedua model superkapasitor tersebut memenuhi kriteria superkapasitor. Model superkapasitor yang menggunakan komposit GO/TiO₂ (T) menghasilkan nilai $C_{sp}= 5,9$ F/g, $P_{sp}= 118,10$ W/kg, $E_{sp}= 0,82$ Wh/kg. Sedangkan model superkapasitor yang menggunakan komposit GO/TiO₂ (H) menghasilkan nilai $C_{sp}= 8,27$ F/g, $P_{sp}= 164,14$ W/kg, $E_{sp}= 1,14$ Wh/kg. Model superkasitor yang menggunakan elektroda

dari bahan komposit yang dibuat dengan *autoclave* memiliki performa yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan elektroda dari komposit yang dibuat tanpa *autoclave*.

Ucapan Terima Kasih

Sebagian dari penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) nomor kontak 1207/UN6.3.1/PT.00/2021 tanggal 9 Maret 2021 dan proyek Academic Leadership Grant (ALG) nomor kontak 1959/UN6.3.1/PT.00/2021 tanggal 22 April 2021

Daftar Pustaka

1. M. Zuleta, P. Björnbohm, and A. Lundblad, "Effects of Pore Surface Oxidation on Electrochemical and Mass-Transport Properties of Nanoporous Carbon," *Journal of The Electrochemical Society*, vol. 152, no. 2 (2005), p. A27.
2. C. Xiang, M. Li, M. Zhi, A. Manivannan, and N. Wu, "Reduced graphene oxide/titanium dioxide composites for supercapacitor electrodes: shape and coupling effects," *Journal of Materials Chemistry*, vol. 22, no. 36 (2012), pp. 19161–19167.
3. B. Xu *et al.*, "What is the choice for supercapacitors: graphene or graphene oxide?," *Energy & Environmental Science*, vol. 4, no. 8 (2011), pp. 2826–2830.
4. A. K. Mishra and S. Ramaprabhu, "Magnetite decorated multiwalled carbon nanotube based supercapacitor for arsenic removal and desalination of seawater," *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 114, no. 6 (2010), pp. 2583–2590.
5. W. Wang *et al.*, "Hydrous Ruthenium Oxide Nanoparticles Anchored to Graphene and Carbon Nanotube Hybrid Foam for Supercapacitors," *Scientific Reports 2014 4:1*, vol. 4, no. 1 (2014), pp. 1–9.
6. A. V. Fulari, M V Ramana Reddy, S T Jadhav, G S Ghodake, D Y Kim, and G M Lohar, "TiO₂/reduced graphene oxide composite based nano-petals for supercapacitor application: effect of substrate," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 29, no. 13 (2018), pp 10814–10824.
7. N. Khanifah, D. U. Dzujah, V. Marcelina, R. Hidayat, Fitrilawati, and N. Syakir, "Optical characteristics of multilayer reduced graphene oxides films fabricated using uv oven spraying technique with various interval irradiation time," *Materials Science Forum*, vol. 1028 MSF (2021), pp. 279–284.

STUDY OF CHEMICAL STRUCTURE AND ELECTRICAL PROPERTIES OF NITROGEN-DOPED ACTIVATED CARBON FROM CANDLENUT SHELL (ALEURITES MOLUCCANA)

SAHRUL HIDAYAT^{1,*}, SARIFAH MUDAIM², OTONG NURHILAL¹, RISDIANA¹

¹*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang, West Java, Indonesia 45363*

²*Magister of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang km 21 Jatinangor, Sumedang, West Java, Indonesia 45363*

*email : sahrul@unpad.ac.id

Abstract. Li-Sulphur batteries have a high theoretical energy density of 1300 Ah/kg which is about 3 times of commercial lithium ion batteries today. It has several problems in application, especially low electrical conductivity (5×10^{-30} S/cm) and the swelled volume during the charge/discharge process due to the formation of polysulfide. The solution of this problem is binded the Sulphur particles in porous carbon host. Binder Carbon/Sulphur will increase electrical conductivity while preventing swell the volume of Sulphur during the charge/discharge. In this paper, the nitrogen doped of activated carbon from candlenut shell was investigated for host material of carbon. The chemical structure and electrical conductivity of activated carbon doped nitrogen was studied. The synthesis of activated carbon was carried out by the pyrolysis process at 700°C and then activated by impregnation process for 24 hours using KOH as activator. The pyrolysis process is followed by nitrogen doped using NH₃ as a source of nitrogen. The weight ratio of carbon and NH₃ is 1:3 using 10% and 25% of NH₃ concentrations. The sample was then heated in a furnace at 850°C for 3 hours. The results of BET characterization can be determined the surface area of activated carbon from candlenut shell around 681 m²/g. The process of nitrogen doping of activated carbon has been carried out successfully proved by the presence of C-N functional groups through FTIR analysis. Based on the results of SEM-EDS analysis, the nitrogen content in activated carbon is around 0.52% and 0.34% for NH₃ concentration of 25% and 10% respectively. The electrical conductivity of nitrogen doped activated carbon is around $2,31 \times 10^2$ S/cm and $2,03 \times 10^2$ S/cm for NH₃ concentration of 25% and 10% respectively.

Keywords: Candlenut shell, Li-Sulphur batteries, activated carbon, nitrogen doped

Abstrak. Baterai Li-Sulfur memiliki kerapatan energi teoretis yang tinggi sekitar 1300 Ah/kg atau 3 kali lebih besar dibanding baterai lithium ion komersial saat ini. Di dalam aplikasinya, baterai Li-Sulfur memiliki beberapa kendala terutama karena nilai konduktivitasnya rendah (5×10^{-30} S/cm) dan terjadi penambahan volume selama proses pengisian/pengosongan akibat terbentuknya polisulfida. Solusi dari masalah tersebut adalah mengikat partikel Sulfur dengan material karbon berpori. Komposit Karbon/Sulfur akan meningkatkan konduktivitas listrik sekaligus mencegah bertambahnya volume Sulfur selama proses pengisian/pengosongan. Pada penelitian ini telah dilakukan kajian doping nitrogen dari karbon aktif tempurung kemiri sebagai material pengikat Sulfur. Struktur kimia dan konduktivitas listrik dari karbon aktif yang didoping nitrogen telah dikaji. Sintesis karbon aktif dilakukan dengan proses pirolisis pada suhu 700°C kemudian diaktivasi dengan proses impregnasi selama 24 jam menggunakan KOH sebagai aktivator. Proses pirolisis dilanjutkan dengan doping nitrogen menggunakan NH₃ sebagai sumber nitrogen. Perbandingan berat karbon dan

NH₃ adalah 1:3 menggunakan konsentrasi NH₃ 10% dan 25%. Sampel kemudian dipanaskan dalam furnace pada suhu 850°C selama 3 jam. Hasil karakterisasi BET dapat diketahui luas permukaan karbon aktif dari tempurung kemiri sekitar 681 m²/g. Proses doping nitrogen karbon aktif telah berhasil dibuktikan dengan adanya gugus fungsi C-N melalui analisis FTIR. Berdasarkan hasil analisis SEM-EDS, kandungan nitrogen dalam karbon aktif sekitar 0,52% dan 0,34% masing-masing untuk konsentrasi NH₃ 25% dan 10%. Konduktivitas listrik karbon aktif yang didoping nitrogen adalah 2,31 x 10² S/cm dan 2,03 x 10² S/cm masing-masing untuk konsentrasi NH₃ 25% dan 10%.

Kata Kunci: Tempurung kemiri, baterai Li-Sulfur, karbon aktif, doping nitrogen

1. Introduction

The development of lithium-ion batteries based on Li-Sulphur cathodes has several advantages i.e., high energy density, low production costs, raw materials abundance in Indonesia and more environment friendly. Li-Sulphur has a high theoretical energy density, gravimetrically 1300 Ah/kg and volumetrically 1400 Ah/L, these energy densities are about 3 times of current commercial lithium-ion batteries [1]. In experimentally application, Li-Sulphur batteries have several disadvantages, especially their low electrical conductivity (5x10⁻³⁰ S/cm) and have volume expansion during the charge/discharge due to the formation of polysulfide [2]. The solution to overcome this disadvantage is to bind Sulphur particles in activated carbon host doped by nitrogen. The use of nitrogen-doped activated carbon will increase the electrical conductivity while preventing volume expansion of sulphur because it bonds in a strong carbon structure. Furthermore, the nitrogen doped carbon structure will facilitate the lithiation/de-lithiation process during the charge/discharge. The utilization of carbon from organic waste able to solving environmental problems and allows pore size engineering as well as nitrogen doped engineering which can improve carbon quality and facilitate the formation of bonds with Sulphur [3].

Activated carbon is a type of carbon that has been activated using chemical process or by heat treatment which formed many pores in the order of micro until nanometres and produce a high specific surface area [4]. Activated carbon can be synthesized from various type of biomass, such as: wood, coconut shells, water hyacinth, oil palm bunches, bamboo, rice husks, corn cobs and others [5] [6]. Candlenut shell waste is one of biomass which has a high carbon content however has not been widely studied. Candlenut shell contains high percentage of hemicellulose and lignin [7]. Previous research show that candlenut shell activated carbon has better adsorption effectiveness than coconut shell activated carbon [8].

Activated carbon has been known having a widely application including as supercapacitor material [5], [9], additive material for battery electrode [10], adsorbent of metal pollutants [11], [12], and catalyst material [2], [13]. Activated carbon has unique characteristics, i.e., large specific surface area and its surface functional groups allow to interact with any ions. In activated carbon from biomass, the surface functional group is dominated by OFG (oxygenated functional group) which serves as the active region for redox reactions [14]. Moreover, the addition of nitrogen functional groups through doping process has been shown to increase the distribution of electrons which contribute to increasing the value of conductivity [15].

Candlenut shell as a raw material for activated carbon has a high carbon content in hemicellulose compounds (49,22%) and lignin (54,46%) [7]. Candlenut shell

activated carbon is obtained through a carbonization process followed by an activation process and a modification process by adding impurities or doping into the matrix carbon bond. In the nitrogen doping process, NH_3 is added as a nitrogen source on activated carbon which aims to form nitrogen functional groups on activated carbon. NH_3 compound is a source of nitrogen which stable, easily obtained and relatively low price [15]. In this study, variations of NH_3 concentration as dopants and the heating time of the nitrogen doping process were carried out to determine the effect on the chemical structure and electrical conductivity of activated carbon.

2. Methods

The experiment was started with the synthesis of activated carbon from candlenut shell waste. The candlenut shell was crushed into small pieces and then washed by aquadest to remove dust and other dirt. The carbonization process was carried out in a furnace at 700°C for 1 hour. After the carbonization process, the sample was crushed by mortar and pestle following by ball milling process then sieved using 200 mesh. The next step is the activation process using 30% KOH solvent as an activator. The activation process is carried out by impregnation for 24 hours which the ratio of carbon sample and activator is 1:3. The next process is filtering followed by washing process using 3 M HCl until the filtrate solution is neutral. The sediment from the filtering process was then rinsed with distilled water to remove residual activator and HCl. Furthermore, the sample was dried in an oven at 110°C for 3 hours and the activated carbon was obtained in a fine powder.

The next step is the process of doping activated carbon using nitrogen. The doping process was carried out by two variations of NH_3 concentration i.e., 10% and 25%. Activated carbon and NH_3 were prepared in a ratio of 1:3, then the nitrogen doping was carried out using impregnation process for 24 hours. The doping process was continued by heating in a furnace at 850°C by two variations of time i.e., 3 hours and 5 hours. At the final step, the sample was cooled at a cooling rate of $5^\circ\text{C}/\text{min}$ until room temperature then crushed to obtain nitrogen-doped activated carbon powder. Samples are labelled for simplify identification i.e., CN 10% 3h for 10% NH_3 by 3 hours heating process, CN 10% 5h for 10% NH_3 by 5 hours heating process, CN 25% 3h for 25% NH_3 by 3 hours heating process and CN 25% 5h for 25% NH_3 by 5 hours heating process. Some characterization has been carried out to determine the quality of the sample which was obtained i.e., FTIR characterization for determine chemical functional groups present in the sample, SEM-EDS for determine the percentage of each element in the sample and four-point probe method for electrical conductivity.

3. Results and Discussion

The product of activated carbon was characterized by FTIR, the results for samples of activated carbon and activated carbon doped by nitrogen were shown in Figure 1. The doping process of nitrogen heteroatom was successfully conducted which indicated by changing the chemical structure of activated carbon before and after doping process. The FTIR spectrum of activated carbon show absorption peaks only come from the C-H, C=C and C-C functional groups. These functional groups were

dominated by carbon bond which indicated the successfully of carbonization process.

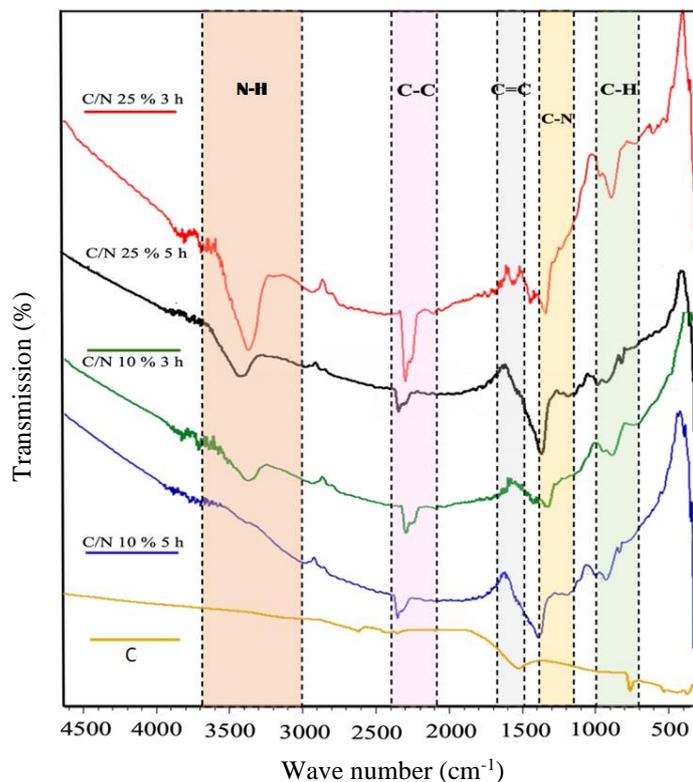


Figure 1. The FTIR spectrum of activated carbon (C) and nitrogen doped activated carbon (C/N)

The FTIR spectrum for activated carbon doped by nitrogen show arising several new absorption peaks i.e., C-N and N-H functional groups. Analysis of FTIR spectrum show the nitrogen doping process disrupted the C=C bond and turned into a C-N functional group which indicated by arising of absorption peaks in the 1180-1360 cm^{-1} region. The presence of C-N functional group was indicated the successfully of nitrogen doping process. In its application as battery electrode, the presence of nitrogen will strengthen the bonding of sulphur and activated carbon. Moreover, the nitrogen doping has also a positive impact on the wettability of activated carbon which will increase the ability of electrochemical reactions in its application as battery electrodes [16][15].

Figure 1 shows the intensity of the N-H functional group in the CN 10% 3h and CN 10% 5h samples lower than CN 25% 3h and CN 25% 5h, these data indicate the increasing of NH_3 concentration are proportionally to the formation of the N-H functional group [16]. Whereas the C-H functional group is arised consistent before and after the nitrogen doping process. The presence of the C-N functional group was indicated by absorption peak in the region of 1180 – 1360 cm^{-1} which was followed by shrunked the absorption of the C=C functional group in the region of 1500 – 1600 cm^{-1} [17]. These results show the nitrogen functional group from NH_3 reacted with carbon functional group from activated carbon during doping process. The compound of 1-deoxy-2-amino-1-ketose has formed during that reaction can

Table 1 shows the results of the SEM-EDS analysis of nitrogen-doped activated carbon. In general, all variations of samples are dominated by carbon and oxygen elements with a few inorganic impurities i.e., potassium, aluminum, calcium, copper, and magnesium. The data in Table 1 shows the percentage element of carbon for all sample above 90% which indicate the success of the carbonization process in decomposing cellulose compounds into carbon bonds. The nitrogen as a doping element was detected with percentage of 0.26% until 0.52% (wt.%). The results of SEM-EDS analysis correlated with the results of FTIR which showed the presence of nitrogen and indicated the successfully of doping process.

The data in Table 1 shows that the percentage of nitrogen element at a heating time of 5 hours is smaller than the heating time of 3 hours. These results probably due to the longer heating time will break the C-N bond consequently the percentage of nitrogen is smaller for sample at 5 hours heating time. Masud Rana et.al. explains that the nitrogen doping will act as Lewis base which interaction with lithium dipolysulfide acid in its application as a battery electrode. Furthermore, the nitrogen doping on carbon bonds will increase the adsorption of polysulfide on the cathode layer [15].

Table 2. Electrical conductivity of activated carbon before and after nitrogen doping

Sample	$\bar{\sigma}$ (S/cm)
C Activator KOH	$1,12 \times 10^2$
C/N 10% 3 h	$2,03 \times 10^2$
C/N 10% 5 h	$1,91 \times 10^2$
C/N 25% 3 h	$2,31 \times 10^2$
C/N 25% 5 h	$2,44 \times 10^2$
commercially activated carbon	$3,27 \times 10^2$

Table 2 shows the electrical conductivity of activated carbon before and after nitrogen doping and its comparing with the electrical conductivity of commercially activated carbon. The data in Table 2 shows that electrical conductivity of nitrogen-doped activated carbon is higher than undoped activated carbon. These results correspond with report from Masud Rana et.al. which the nitrogen doping can increase the value of electrical conductivity [15]. The electrical conductivity of nitrogen-doped activated carbon is still smaller than commercially activated carbon but already in the same order. This is probably due to the purity of the activated carbon from candlenut shell still lower than the purity of commercially activated carbon.

4. Conclusions

The synthesis of activated carbon from candlenut shell and its nitrogen doping have been successfully carried out. The nitrogen doping was impacted of changing the chemical structure of activated carbon which was identified by presence of the C-N functional group through FTIR. The nitrogen doping has proved by SEM-EDS which obtain the highest percentage of nitrogen content around 0.52% for C/N 25% 3 h. The nitrogen doping has also contributed to increasing the electrical conductivity of activated carbon by approximately two time.

Acknowledgement

This research has been financially supported by Hibah Penelitian Dasar from Directorate General of Higher Education, Ministry of Education, Culture, Research, and Technology Indonesia, contract no: 042/E5/PG.02.00.PT/2022, March 16, 2022

References

1. A. Elmouwahidi, Z. Zapata-Benabithé, F. Carrasco-Marín, and C. Moreno-Castilla, "Activated carbons from KOH-activation of argan (*Argania spinosa*) seed shells as supercapacitor electrodes," *Bioresour. Technol.*, vol. 111, pp. 185–190, 2012, doi: 10.1016/j.biortech.2012.02.010.
2. A. A. Arie, H. Kristianto, I. Suharto, M. Halim, and J. K. Lee, "Preparation of orange peel based activated carbons as cathodes in lithium ion capacitors," *Adv. Mater. Res.*, vol. 896, pp. 95–99, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.896.95.
3. N. R. Villarante, R. A. E. Davila, and D. P. Sumalapao, "Removal of lead (α) by lumbang, aleurites moluccana activated carbon carboxymethylcellulose composite crosslinked with epichlorohydrin," *Orient. J. Chem.*, vol. 34, no. 2, pp. 693–703, 2018, doi: 10.13005/ojc/340211.
4. H. Kristianto, "Review: Sintesis Karbon Aktif Dengan Menggunakan Aktivasi Kimia $ZnCl_2$," *J. Integr. Proses*, vol. 6, no. 3, pp. 104–111, 2017, doi: 10.36055/jip.v6i3.1031.
5. S. Mudaim and S. Hidayat, "Effect of Heating Temperature on the Chemical Structure and of Conductivity Carbon from Candlenut Shells (Aleurites moluccana)," *Materials Science Forum* 1028, pp. 302–307, 2021.
6. R. Rinawati, A. A. Kiswandono, N. L. G. R. Juliasih, and F. D. Permana, "Pemanfaatan Karbon Aktif Sekam Padi sebagai Adsorben Phenantrena dalam Solid Phase Extraction," *al-Kimiya*, vol. 6, no. 2, pp. 75–80, 2020, doi: 10.15575/ak.v6i2.6495.
7. S. Mudaim, S. Hidayat, and Risdiana, "Analisis Proksimat Karbon Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccana) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 05, no. 02, pp. 157–163, 2021
8. D. Junipuspita *et al.*, "Preparation of porous carbon made from candlenut shell (Aleurites moluccana) as a cathode for lithium ion capacitor," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1191, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1191/1/012020.
9. B. Li, M. Xie, G. Yi, and C. Zhang, "Biomass-derived activated carbon/Sulphur composites as cathode electrodes for Li-S batteries by reducing the oxygen content," *RSC Adv.*, vol. 10, no. 5, pp. 2823–2829, 2020, doi: 10.1039/c9ra09610h.
10. K. Yang, Q. Gao, Y. Tan, W. Tian, L. Zhu, and C. Yang, "Microporous carbon derived from Apricot shell as cathode material for lithium-Sulphur battery," *Microporous Mesoporous Mater.*, vol. 204, no. C, pp. 235–241, 2015, doi: 10.1016/j.micromeso.2014.12.003.
11. S. S. A. Syed-Hassan and M. S. M. Zaini, "Optimization of the preparation of activated carbon from palm kernel shell for methane adsorption using Taguchi

- orthogonal array design,” *Korean J. Chem. Eng.*, vol. 33, no. 8, pp. 2502–2512, 2016, doi: 10.1007/s11814-016-0072-z.
12. S. Maulina and M. Iriansyah, “Characteristics of activated carbon resulted from pyrolysis of the oil palm fronds powder,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 309, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/309/1/012072.
 13. Y. Shao, J. Sui, G. Yin, and Y. Gao, “Nitrogen-doped carbon nanostructures and their composites as catalytic materials for proton exchange membrane fuel cell,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 79, no. 1, pp. 89–99, 2008, doi: 10.1016/j.apcatb.2007.09.047.
 14. K. Zou, P. Cai, X. Cao, G. Zou, H. Hou, and X. Ji, “Carbon materials for high-performance lithium-ion capacitor,” *Curr. Opin. Electrochem.*, vol. 21, pp. 31–39, 2020, doi: 10.1016/j.coelec.2020.01.005.
 15. M. Rana *et al.*, “Review on areal capacities and long-term cycling performances of lithium Sulphur battery at high Sulphur loading,” *Energy Storage Mater.*, vol. 18, pp. 289–310, 2019, doi: 10.1016/j.ensm.2018.12.024.
 16. R. F. S. Yohana Fransiska Ferawati, “Peran N-Doping Terhadap Karakteristik Pori K arbon Aktif Yang Dihasilkan Dari Limbah Destilasi Akar Wangi,” pp. 59–68, 2021.
 17. J. Chen *et al.*, “Enhanced CO₂ Capture Capacity of Nitrogen-Doped Biomass-Derived Porous Carbons,” *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 1439–1445, 2016, doi: 10.1021/acssuschemeng.5b01425.
 18. Q. Wu, W. Li, S. Liu, and C. Jin, “Hydrothermal synthesis of N-doped spherical carbon from carboxymethylcellulose for CO₂ capture,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 369, pp. 101–107, 2016, doi: 10.1016/j.apsusc.2016.02.022

STUDI ADSORPSI METHYLENE BLUE OLEH GRAPHENE OXIDE DENGAN DAN TANPA PENYINARAN MENGGUNAKAN SINAR UV-A

ISTIQOMAH NURUL HIKMAH, JEDIJA MANONDANG AURELLIA HUTAPEA,
AYI BAHTIAR, NORMAN SYAKIR, FITRILAWATI *

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

** email : fitrilawati@phys.unpad.ac.id*

Abstrak. *Graphene oxides* (GO) yang memiliki band gap sekitar 3,2 eV banyak diaplikasikan untuk menghilangkan polutan warna dalam air melalui metode adsorpsi. Selain itu, GO juga banyak digunakan sebagai bahan pendukung pada nano komposit untuk aplikasi fotokatalitik. Pada penelitian ini dilakukan studi adsorpsi *methylene blue* (MB) oleh GO pada kondisi gelap dan dengan penyinaran menggunakan sinar UV-A. Uji adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan dispersi GO dengan larutan MB, kemudian diaduk selama jangka waktu tertentu. Selama proses tersebut, dilakukan pencuplikan sampel pada waktu tertentu guna mengestimasi nilai konsentrasi permeat MB. Uji adsorpsi tersebut dilakukan pada kondisi gelap (tanpa penyinaran) dan dengan penyinaran menggunakan sinar UV-A. Hasilnya menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan penurunan konsentrasi permeat MB dari 74 % menjadi 92% dengan adanya perlakuan penyinaran. Proses adsorpsi dengan dan tanpa penyinaran yang dilakukan secara berurutan juga memperlihatkan peningkatan penurunan konsentrasi MB dalam air.

Kata kunci: Adsorpsi, *graphene oxide* (GO), *methylene blue* (MB), sinar UV-A

Abstract. *Graphene oxides* (GO) that has a band gap of 3.2 eV is widely applied to remove color pollutants in water using the adsorption method. Besides, GO is also widely used as a supporting material in nanocomposites for photocatalytic applications. In this study, we carried out adsorption tests of methylene blue (MB) by GO in dark conditions and with UV-A light irradiation. The adsorption tests were carried out by mixing the GO dispersion with MB solution, then stirring for a certain period of time. During the process, samples sampling was carried out at a certain time to estimate concentration of the MB permeate. The adsorption tests were carried out in dark conditions (without irradiation) and with UV-A light irradiation. The results showed an improvement of adsorption ability of GO in reducing MB permeate concentration from 74% to 92% under the UV-A light irradiation. The process of adsorption without and under UV irradiation successively also shows an increasing reduction of concentration of MB in water.

Keywords: Adsorption, *graphene oxides* (GO), *methylene blue* (MB), UV-A light

1. Pendahuluan

Seiring dengan berjalannya waktu, kuantitas dan kualitas air di lingkungan mengalami penurunan. Hal tersebut salah satunya disebabkan adanya pelepasan sebagian limbah industri ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu. Zat pewarna banyak dipakai dalam bidang industri sehingga banyak ditemukan dalam limbah industri. Zat pewarna memiliki struktur yang kompleks sehingga polutan warna sulit terdegradasi saat masuk ke dalam perairan. *Methylene blue* (MB) adalah salah satu zat warna yang digunakan oleh industri tekstil. MB memiliki gugus

benzena yang sulit untuk diuraikan, bersifat mutagenik, karsinogenik dan toksik bagi manusia dan lingkungan [1,2].

Ada berbagai metode yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan pencemaran air akibat zat warna tekstil, salah satunya dengan metode adsorpsi. Metode adsorpsi adalah metode pemurnian air dengan penyerapan dan pengikatan polutan pada permukaan zat padat (adsorben) [3].

Pada penelitian terdahulu telah dilaporkan bahwa *Graphene Oxide* (GO) merupakan adsorben yang dapat digunakan untuk menghilangkan MB melalui proses adsorpsi [4]. Hal tersebut dimungkinkan karena GO memiliki gugus oksigen sehingga bersifat hidrofilik dan memiliki kerapatan muatan negatif yang sangat tinggi sehingga dapat mengikat MB yang bermuatan positif [5].

Telah dilaporkan juga bahwa GO banyak digunakan sebagai bahan pendukung pada nano komposit untuk aplikasi fotokatalitik karena GO dapat meningkatkan transpor muatan pada proses fotokatalitik [6]. Selain itu, sebelumnya telah dilaporkan pula bahwa GO memiliki potensi sebagai bahan fotokatalitik dengan menunjukkan bahwa kehadiran GO dapat menyebabkan proses fotoreduksi Resazurin, yang merupakan senyawa indikator redoks, di bawah iradiasi UV [7].

Pada penelitian terdahulu telah dilaporkan bahwa adsorpsi GO terhadap MB hanya mampu mengadsorpsi sekitar 74 % dari kandungan 5mg/L MB yang terdapat dalam air [4]. Hal tersebut berkaitan dengan ketersediaan tempat yang ada pada permukaan GO, setelah mengadsorpsi sekitar 74 % kandungan MB semua permukaan GO terisi penuh sehingga tidak dapat menurunkan MB lebih lanjut. Berkaitan dengan hasil yang telah dilaporkan sebelumnya bahwa GO menunjukkan potensi fotokatalitik [7], diharapkan melalui penyinaran GO dapat menguraikan MB yang terdapat pada permukaan GO sehingga kemampuannya untuk menurunkan konsentrasi MB dapat ditingkatkan. Pada makalah ini akan diuraikan hasil studi mengenai pengaruh penyinaran terhadap proses penurunan konsentrasi larutan MB oleh GO.

2. Metode Penelitian

Sifat adsorpsi GO diamati melalui eksperimen penurunan konsentrasi MB dalam air pada kondisi tanpa penyinaran, dengan penyinaran dan tanpa-dengan penyinaran secara berurutan dengan menggunakan sinar UV-A.

Eksperimen adsorpsi diawali dengan penyiapan larutan MB dengan konsentrasi 5 mg/L dan penyiapan dispersi GO dengan konsentrasi 0,5 mg/mL. Larutan MB dengan konsentrasi 5 mg/L disiapkan melalui pengenceran 25 mL larutan MB (0,05 mg/mL) dengan 220 mL akuades. Dispersi GO dengan konsentrasi 0,5 mg/mL disiapkan dengan pencampuran 3 mL GO komersial (4 mg/mL, Graphenea SA ES A75022608) dengan 21 mL akuades. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* (C-MAG HS7), selama 30 menit dengan kecepatan putaran 250 rpm, kemudian disonikasi menggunakan *ultrasonic bath* selama 30 menit pada suhu kamar.

Uji adsorpsi larutan MB oleh GO pada kondisi tanpa penyinaran dilakukan pada suhu ruang. Tahap pertama, 5 mL dispersi GO (0,5 mg/mL) dicampurkan dengan 245 mL larutan MB (5 mg/L) di dalam *beaker glass* 250 mL (Iwaki, diameter 70 mm, Tinggi 97 mm). Kemudian, campuran tersebut diaduk terus-menerus selama 180 menit dengan menggunakan *magnetic stirrer* dan kecepatan putaran 250 rpm.

Selama proses tersebut, pada kurun waktu tertentu, campuran tersebut dicuplik sebanyak 4 ml untuk diukur puncak absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Melalui puncak absorbansi MB tersebut akan diestimasi nilai konsentrasi MB pada waktu adsorpsi tertentu. Adapun rentang waktu pencuplikan sampel adalah 0,5, 1, 5, 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit.

Pengujian penurunan konsentrasi MB dalam air oleh GO pada kondisi dengan penyinaran dilakukan di dalam box (44 cm x 34 cm x 29,5 cm) yang dilengkapi lampu TL UV-A ($\lambda = 350$ nm dan intensitas cahaya = $0,45$ mW/cm²) sebagai sumber cahaya UV A. Eksperimen adsorpsi yang dilakukan sama seperti pada kondisi tanpa disinari, kecuali selama proses adsorpsi tersebut dilakukan penyinaran dengan UV A.

Selanjutnya, pengujian adsorpsi MB oleh GO pada kondisi tanpa dan dengan penyinaran diawali dengan eksperimen adsorpsi tanpa penyinaran selama 5 menit, kemudian dilanjutkan dengan eksperimen adsorpsi dengan penyinaran mulai menit ke 10 hingga menit ke 60. Adapun rentang waktu pencuplikan sampel adalah 0,5, 1, 2, 3, 4, 5 menit pada kondisi tanpa disinari dan 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 menit pada kondisi dengan penyinaran.

3. Hasil dan Pembahasan

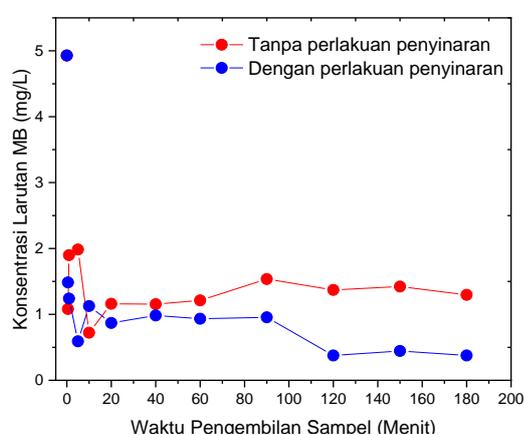
Pencampuran GO pada larutan MB telah menghasilkan proses adsorpsi MB oleh GO sehingga konsentrasi MB pada larutan berkurang seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Hasil ini serupa dengan hasil yang telah dilaporkan sebelumnya [4]. Tampak adanya perubahan warna larutan MB yang mengindikasikan adanya proses adsorpsi oleh GO sehingga kandungan MB dalam larutan berkurang. Sampel pada Gambar 1(a) adalah permeat yang dicuplik pada waktu tertentu yang mana kondisi adsorpsi dilakukan tanpa penyinaran. Gambar 1(b) adalah permeat yang dicuplik pada waktu tertentu yang mana kondisi adsorpsi disertai dengan penyinaran. Perbandingan antara gambar (a) dan (b) menunjukkan bahwa permeat yang dihasilkan pada proses adsorpsi dengan penyinaran tampak lebih bening dibandingkan dengan permeat yang dihasilkan pada proses adsorpsi tanpa penyinaran.



Gambar 1. Perbandingan permeat hasil adsorpsi larutan MB oleh GO pada berbagai waktu pencuplikan sampel pada proses adsorpsi tanpa penyinaran (a) dan proses adsorpsi dengan perlakuan penyinaran (b)

Untuk mendapatkan nilai kuantitatif mengenai penurunan konsentrasi akibat proses adsorpsi MB oleh GO, nilai konsentrasi permeat tersebut diestimasi dari spektrum

permeat hasil pengukuran spektrum UV Vis seperti yang dilakukan pada penelitian terdahulu [4]. Dengan menggunakan nilai absorbansi permeat MB pada panjang gelombang maksimum ($\lambda = 664$ nm) dan kurva kalibrasi yang mengkorelasikan absorbansi pada panjang gelombang maksimum dengan konsentrasi, maka konsentrasi permeat untuk setiap sampel yang dicuplik pada selang waktu tertentu dapat diestimasi. Besar konsentrasi permeat yang dicuplik pada selang waktu tertentu tersebut diperlihatkan pada Gambar 2. Tampak bahwa pada kondisi tanpa penyinaran (grafik warna merah), konsentrasi MB pada permeat menurun dengan sangat cepat pada setengah menit pertama, berubah dari 5 mg/L menjadi sekitar 1,1 mg/L. Penurunan konsentrasi permeat MB sekitar 74 % tersebut terjadi akibat proses adsorpsi MB oleh GO. Hal tersebut dimungkinkan karena GO bermuatan negatif dan MB bermuatan positif [8]. Ketika proses adsorpsi dikenai penyinaran, konsentrasi permeat MB juga mengalami penurunan yang signifikan seperti yang ditunjukkan oleh grafik warna biru pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan konsentrasi permeat MB hasil proses adsorpsi tanpa perlakuan penyinaran (grafik warna merah) dan konsentrasi permeat MB hasil proses adsorpsi dengan penyinaran (grafik warna biru)

Pada proses adsorpsi tanpa penyinaran tampak nilai konsentrasi permeat MB tidak mengalami perubahan yang signifikan antara menit ke 20 hingga menit ke 180, dengan nilai konsentrasi pada menit ke 180 adalah 1,297 mg/L. Pada proses adsorpsi dengan penyinaran tampak nilai konsentrasi permeat MB sedikit mengalami perubahan antara menit ke 20 hingga menit ke 180, dengan nilai konsentrasi pada menit ke 180 adalah 0,376 mg/L. Nilai konsentrasi permeat MB pada menit ke 180 pada proses adsorpsi dengan penyinaran tampak lebih rendah dibandingkan dengan nilai konsentrasi permeat MB pada menit ke 180 pada adsorpsi tanpa penyinaran. Penurunan konsentrasi MB yang terjadi akibat proses adsorpsi dengan perlakuan penyinaran tampak lebih tinggi dibandingkan dengan proses adsorpsi tanpa penyinaran, yaitu sebesar 92 %. Hal ini mengindikasikan penyinaran mempengaruhi proses penurunan konsentrasi MB dalam air pada proses adsorpsi oleh GO.

Menurunnya konsentrasi permeat pada proses adsorpsi MB oleh GO dengan perlakuan penyinaran diperkirakan berkaitan dengan sifat dari fotokatalitik MB yang telah dilaporkan sebelumnya [7]. Material GO memiliki *band gap* yang besarnya bergantung pada tingkat oksidasi [9]. Adanya foton yang diakibatkan oleh

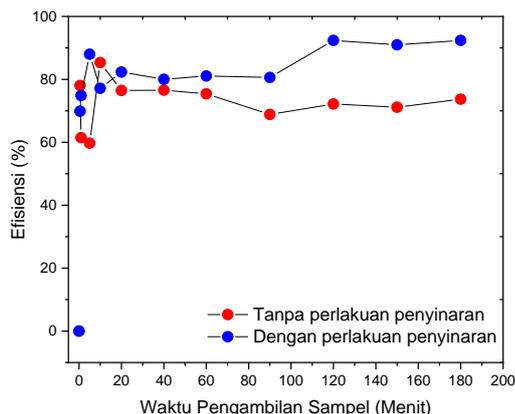
penyinaran menggunakan sinar UV mengakibatkan adanya elektron pada pita energi GO yang tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi dan adanya *hole* pada pita valensi. Pada penelitian terdahulu, hal tersebut diinterpretasikan sebagai aktivitas fotokatalitik yang menyebabkan proses fotoreduksi Resazurin [7]. Pada eksperimen ini diinterpretasikan adanya hole terbentuk saat dikenai cahaya dapat mengoksidasi polutan untuk membentuk OH radikal. Selain itu, elektron pada pita konduksi dapat mereduksi O₂ dan membentuk radikal superoksida. Kehadiran OH radikal dan radikal superoksida akibat penyinaran diyakini berkontribusi pada penambahan kemampuan GO untuk menurunkan konsentrasi MB pada saat proses adsorpsi yang dikenai proses penyinaran. Pada penelitian sebelumnya telah dilaporkan bahwa, senyawa MB yang telah teradsorpsi pada permukaan GO akan diserang oleh OH radikal secara terus menerus sehingga akan terdegradasi menjadi CO₂, H₂O dan beberapa asam [10].

Efisiensi penurunan konsentrasi MB dalam larutan (R_e) dihitung dengan menggunakan Persamaan (1).

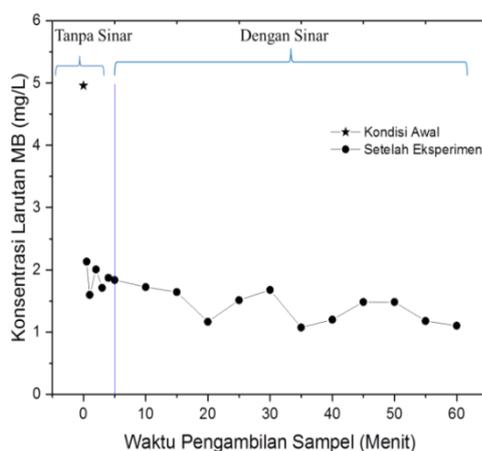
$$R_e = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

dengan C_0 adalah konsentrasi larutan pada saat awal (mg/L), dan C_e adalah konsentrasi larutan pada saat akhir (mg/L). Dengan menggunakan persamaan tersebut, nilai efisiensi adsorben dalam mengadsorpsi MB dapat diketahui. Gambar 3 memperlihatkan efisiensi GO dalam mengadsorpsi MB, dalam kurun waktu setengah menit, GO mengalami peningkatan efisiensi 78 %. Antara rentang 20 menit hingga 180 menit, efisiensi GO dalam menyerap MB tidak banyak berubah. Hal tersebut mungkin disebabkan permukaan GO yang telah terisi penuh oleh MB sehingga GO tidak mampu lagi mengadsorpsi MB. Pada saat proses adsorpsi dikenakan penyinaran, tampak bahwa efisiensi GO dalam menyerap MB pada rentang 20 menit sampai 180 menit meningkat, dan efisiensi GO mencapai 92 % pada waktu 180 menit. Nilai efisiensi tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi pada kondisi tanpa penyinaran. Hal ini menunjukkan bahwa proses penurunan konsentrasi MB oleh GO meningkat menjadi lebih efisien dengan bantuan sinar UV-A.

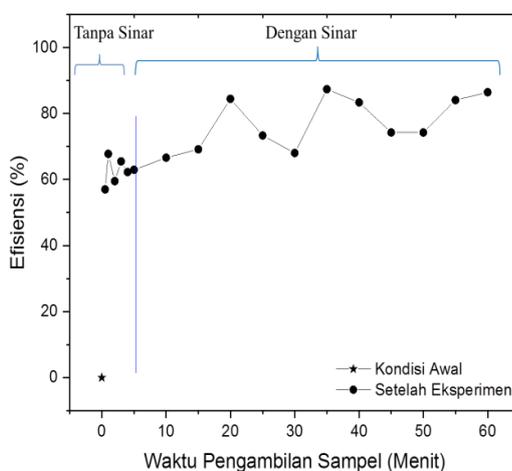
Pada Gambar 4 diperlihatkan konsentrasi permeat MB hasil proses adsorpsi tanpa-dengan penyinaran secara berurutan. Pada 5 menit pertama, proses adsorpsi MB oleh GO dilakukan tanpa penyinaran dan setelah itu dilanjutkan dengan penyinaran mulai menit ke 10 hingga menit ke 60. Tampak bahwa pada 5 menit pertama terjadi penurunan konsentrasi permeat MB dari kondisi awal 4,957 mg/L menjadi 1,84 mg/L. Setelah dikenakan penyinaran konsentrasi permeat MB terus menurun hingga mencapai 1,10 mg/L pada menit ke 60, seperti diperlihatkan oleh Gambar 4. Hasil ini konsisten dengan hasil yang telah diperoleh sebelumnya walaupun penurunannya lebih kecil dibandingkan dengan hasil ketika adsorpsi pada kondisi dengan penyinaran. Hal tersebut dapat terjadi karena penurunan konsentrasi MB melalui 2 tahapan, yaitu secara adsorpsi pada kondisi tanpa disinari dan secara degradasi pada kondisi dengan disinari.



Gambar 3. Perbandingan efisiensi GO dalam mengadsorp MB pada proses adsorpsi tanpa perlakuan penyinaran (grafik warna merah) dan pada proses adsorpsi dengan penyinaran (grafik warna biru)



Gambar 4. Konsentrasi permaat MB hasil proses adsorpsi tanpa-dengan ppenyinaran secara berurutan



Gambar 5. Efisiensi GO dalam mengadsorp MB pada proses adsorpsi tanpa- dengan penyinaran secara berurutan

Besar efisiensi penurunan konsentrasi permeal MB yang dihitung menggunakan persamaan 1 diperlihatkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut tampak bahwa setelah penyinaran, efisiensi mengalami peningkatan sebesar 11 % dibandingkan dengan kondisi tanpa penyinaran.

4. Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan, efisiensi GO dalam menurunkan konsentrasi MB mengalami peningkatan dengan bantuan sinar UV-A. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya penurunan konsentrasi larutan MB dari 74 % pada kondisi tanpa penyinaran menjadi 92 % setelah dilakukan penyinaran. Perbedaan kemampuan menghilangkan MB pada proses yang dikenakan penyinaran adalah sebesar 18 %. Pada proses adsorpsi tanpa-dengan penyinaran secara berurutan memperlihatkan, tambahan perlakuan penyinaran pada sampel telah meningkatkan efisiensi penghapusan MB sebesar 11%.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Proyek Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) nomor kontak 2064/UN6.3.1/PT.00/2022 tanggal 17 Maret 2022

Daftar Pustaka

1. S. A. Umoren, U. J. Etim, and A. U. Israel, "Adsorption of methylene blue from industrial effluent using poly (vinyl alcohol)", *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 4 no. 1 (2013), p. 75.
2. Y. S. Ho, T. H. Chiang, and Y. M. Hsueh, "Removal of Basic Dye from Aqueous Solution Using Tree Fern as A Biosorbent," *Process Biochem.*, vol. 40, no. 1 (2005), p. 119.
3. A. Dąbrowski, "Adsorption - From Theory to Practice," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 93, no. 1–3 (2001) p. 135.
4. J. M. A. Hutapea, G. Maulida, D. U. Dzujah, N. Syakir and Fitrilawati, "Effect of stirring time on methylene blue adsorption onto graphene oxides surfaces", *Materials Science Forum*, vol. 1028 (2021), p. 291.
5. S. Song, Y. Ma, H. Shen, M. Zhang, and Z. Zhang, "Removal and recycling of ppm levels of methylene blue from an aqueous solution with graphene oxide," *RSC Advances* vol 5 (2015), p. 27922.
6. C. Prasad, Q. Liu, H. Tang, G. Yuvaraja, J. Long, A. Rammohan, G.V.Zyryanov, "An overview of graphene oxide supported semiconductors based photocatalysts: Properties, synthesis and photocatalytic applications", *Journal of Molecular Liquids*, vol. 297 no. 1 (2019), p. 111826.
7. K. Krishnamoorthy, R. Mohan, and S. J. Kim, "Graphene oxide as a photocatalytic material," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98 no. 24 (2011), p. 2013.
8. G. K. Ramesha, A. V. Kumara, H. B. Muralidhara, and S. Sampath, Graphene and graphene oxide as effective adsorbents toward anionic and cationic dyes, *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 361, Issue. 1 (2011), p. 270–277.
9. K. P. Loh, Q. Bao, G. Eda, and M. Chhowalla, "Graphene oxide as a chemically tunable platform for optical applications", *Nature Chemistry* Vol. 2 (2010), 1015.

10. M. A. Kausor and D. Chakraborty, "Graphene oxide based semiconductor photocatalysts for degradation of organic dye in waste water : a review on fabrication, performance enhancement and challenges", *Inorganic Chemistry Communications*, Vol. 129 (2021), 108630.

PENGARUH PENAMBAHAN NANOPARTIKEL ZnO TERHADAP MORFOLOGI NANOKOMPOSIT TiO₂/ZnO

LUSI SAFRIANI *, ADELIA SEPTYANI, ANNISA APRILIA

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jalan Ir. Soekarno Km. 21 Jatinangor, Sumedang 45363, Jawa Barat, Telp. 022-7796014

*email : lusi.safriani@phys.unpad.ac.id

Abstrak. Lapisan fotoanoda yang pada umumnya berupa material semikonduktor oksida merupakan bagian penting pada sel surya tersensitasi dye. Fotoanoda memfasilitasi transfer elektron dari dye sensitizer ke sirkuit luar dan injeksi elektron dari *dye sensitizer*. Fotoanoda sebaiknya memiliki luas permukaan dan pori yang tinggi sehingga dapat menampung kapasitas *dye sensitizer* dengan optimal. Untuk meningkatkan fungsi fotoanoda berbasis TiO₂, dapat dilakukan dengan menambahkan nanopartikel ZnO. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel tidak mengubah struktur masing-masing komponen, ZnO memiliki struktur *hexagonal wurtzite* sedangkan TiO₂ memiliki struktur tetragonal pada fasa anatase. Morfologi permukaan nanopartikel ZnO, TiO₂ dan nanokomposit TiO₂/ZnO cukup homogen dengan partikel berbentuk sferis. Penambahan nanopartikel ZnO mempengaruhi luas permukaan spesifik dan volume pori nanokomposit TiO₂/ZnO. Dibandingkan dengan luas permukaan spesifik dan volume pori TiO₂, penambahan nanopartikel ZnO meningkatkan luas permukaan spesifik sebesar 68% dan volume pori-pori spesifik menjadi tiga kali volume pori-pori TiO₂.

Kata kunci: Fotoanoda, *dye sensitizer*, TiO₂, nanopartikel ZnO, nanokomposit TiO₂/ZnO

Abstract. The photoanode layer which is generally an oxide semiconductor material plays an important role in dye-sensitized solar cells. Photoanode facilitate electron transfer from dye to external circuit and electron injection from the dye. Photoanode should have a high surface area as well as high pore size to accommodate the dye sensitizier capacity optimally. To improve the function of TiO₂-based photoanode, it can be done by adding ZnO nanoparticles. The characterization results showed that the addition of nanoparticles did not change the structure of each component, ZnO had a hexagonal wurtzite structure while TiO₂ had a tetragonal structure in the anatase phase. The surface morphology of ZnO, TiO₂ and TiO₂/ZnO nanocomposites is quite homogeneous with spherical particles. The addition of ZnO nanoparticles affects the specific surface area and pore volume of TiO₂/ZnO nanocomposites. Compared to the specific surface area and pore volume of TiO₂, the addition of ZnO nanoparticles increased the specific surface area by 68% and the specific pore volume to three times the TiO₂ pore volume.

Keywords: Photoanode, dye sensitizier, TiO₂, ZnO nanoparticles, TiO₂/ZnO nanocomposite

1. Pendahuluan

Di antara sumber energi terbarukan, energi surya menjadi salah satu pilihan karena merupakan sumber energi terbarukan yang berkelanjutan [1]. Energi surya dapat diubah menjadi energi listrik melalui divais sel surya yang bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaiik. Berbagai jenis sel surya telah dikembangkan dengan tujuan utama peningkatan efisiensi konversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Salah

satu jenis sel surya yang saat ini mendapat perhatian adalah sel surya tersensitasi dye (*dye sensitized solar cells/DSSC*). DSSC memiliki keunggulan diantaranya dapat bekerja pada intensitas cahaya matahari rendah, proses pembuatan sederhana, biaya produksi rendah serta ramah lingkungan [2]. Keunggulan ini membuat DSSC menjadi kandidat yang baik sebagai divais sel surya selain sel surya berbasis material silikon yang selama ini telah banyak digunakan. DSSC terdiri dari beberapa komponen yaitu substrat konduktif, lapisan fotoanoda, *dye sensitizer*, elektrolit dan elektroda lawan yang dilapisi katalis [3]. Fotoanoda merupakan kerangka dari DSSC. Fotoanoda berfungsi ganda yaitu sebagai tempat bagi *dye sensitizer* dan juga lapisan pengangkut (*transport*) elektron yang tereksitasi dari *dye sensitizer* ke sirkuit eksternal [4]. Oleh karena itu, luas permukaan yang besar diperlukan untuk memastikan keberadaan *dye sensitizer* dalam jumlah yang optimal. Fotoanoda yang ideal memiliki karakteristik sebagai berikut, (i) luas permukaan yang tinggi untuk meningkatkan kapasitas *dye sensitizer*, (ii) fotoanoda harus dapat memfasilitasi transfer dan injeksi elektron dengan cepat dari *dye sensitizer* ke sirkuit eksternal, (iii) memiliki pori untuk memfasilitasi difusi *dye sensitizer* dan elektrolit, (iv) fotoanoda harus memiliki kemampuan untuk menyerap/menyebarkan sinar matahari agar *dye sensitizer* dapat berfungsi secara efisien [5].

Material yang digunakan sebagai fotoanoda adalah semikonduktor oksida seperti TiO_2 [6], ZnO [7] dan SnO_2 [8]. Material semikonduktor oksida tersebut memiliki celah pita energi lebar yaitu sekitar 3 eV dan penyerapan yang baik di rentang panjang gelombang UV [9]. TiO_2 menarik perhatian para peneliti karena memiliki karakteristik yang paling efektif untuk dijadikan sebagai fotoanoda pada divais sel surya tersensitasi dye (*dye sensitized solar cells/DSSC*). TiO_2 memiliki sifat unik seperti luas permukaan yang tinggi, struktur kristal, ukuran partikel, densitas, dan celah pita energi yang dapat diatur [5]. Saat ini, DSSC yang telah dikembangkan dengan fotoanoda berbasis material semikonduktor oksida TiO_2 dapat menghasilkan efisiensi hingga 13% [10].

Untuk mencapai kinerja DSSC yang efektif, masih terdapat beberapa masalah seperti waktu hidup pembawa muatan yang singkat, iradiasi cahaya yang tidak memadai, serta rekombinasi pembawa muatan [11], yang dapat menghambat proses transfer dan transport pembawa muatan dalam DSSC khususnya pada lapisan fotoanoda. Untuk mengatasi hal tersebut dapat menggunakan sistem *bilayer* pada lapisan fotoanoda yaitu menggabungkan dua material semikonduktor oksida [12]. Sistem *bilayer* akan memodifikasi keadaan elektronik sehingga memungkinkan transfer pembawa muatan hasil fotogenerasi antara dua semikonduktor oksida dan menjelaskan peningkatan yang diamati dari pemisahan pasangan elektron-hole, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi DSSC. Salah satu material semikonduktor oksida yang memiliki karakteristik yang sesuai dengan fotoanoda TiO_2 adalah ZnO . Energi celah pita dari ZnO (3,4 eV) mirip dengan TiO_2 (3,2 eV) [13]. Selain itu, ZnO memiliki mobilitas elektron yang lebih tinggi dibandingkan dengan TiO_2 [14]. Oleh karena itu, ZnO dianggap sebagai kandidat yang cocok untuk digabungkan dengan TiO_2 .

Dalam penelitian ini, kami melaporkan pembuatan material sistem bilayer nanopartikel TiO_2 dan ZnO membentuk nanokomposit TiO_2/ZnO . Morfologi nanokomposit akan diamati dan dianalisa melalui gambar hasil scanning electron microscope (SEM) dan pengukuran *Brunauer Emmett Teller* (BET) untuk menentukan luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik nanokomposit

TiO₂/ZnO, sedangkan struktur kristal ditentukan berdasarkan pola difraksi hasil pengukuran x-ray diffraction (XRD)

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan adalah *zinc acetate dihydrate* (Zn(CH₃COO)₂·2H₂O) sebagai precursor ZnO, *sodium hydroxide* sebagai katalis, pelarut *methanol*, *acetylacetone* dan *n-hexane*, Triton-X, serbuk TiO₂ dan *deionized water*.

Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan metode sol-gel mengikuti tahapan sintesis yang pernah dilakukan oleh kelompok peneliti lain dengan beberapa modifikasi [15, 16]. Larutan prekursor ZnO dibuat dari *zinc acetate dihydrate* (Merck, >99,9%) yang dilarutkan dalam pelarut *methanol*. *Sodium hydroxide* (Merck, >99%) sebagai katalis diteteskan selama proses sintesis dalam sistem refluks pada suhu 64 °C. Campuran larutan tersebut kemudian diaduk selama 1,5 jam sampai diperoleh larutan yang jernih, kemudian pengadukan tetap dilanjutkan hingga diperoleh larutan berwarna putih susu. Larutan kemudian didiamkan selama 24 jam, gel yang diperoleh kemudian dicuci dalam pelarut *methanol* dan *n-hexane* dengan perbandingan volume 1:1 menggunakan proses sentrifugasi dan proses dispersi menggunakan *ultrasonic bath*. Proses pencucian diulang tiga kali untuk menghilangkan prekursor yang tidak bereaksi maupun sisa katalis. Selanjutnya gel hasil pencucian dicampurkan dengan serbuk TiO₂ (*Anatase* i-Chemical) dengan perbandingan berat 1:1, diaduk dengan *magnetic stirrer* kemudian dipanaskan dalam *vacuum oven* pada suhu 150 °C selama 8 jam.

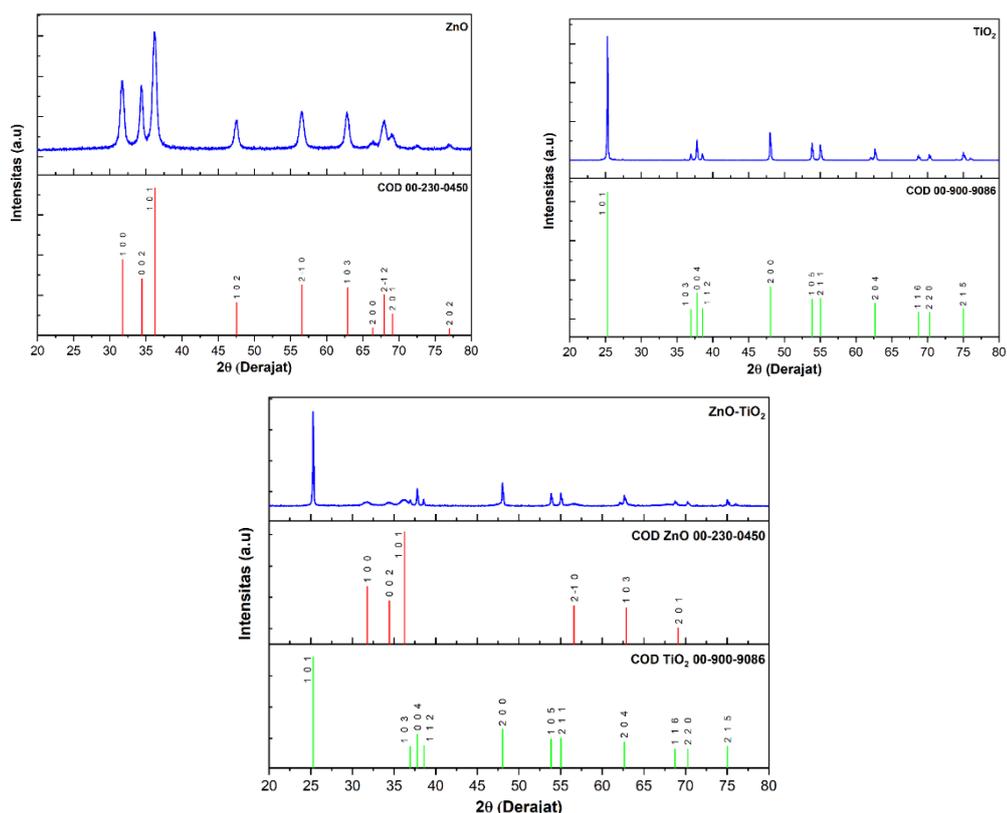
Agar dapat dibuat lapisan, 1,2 gram serbuk nanokomposit TiO₂/ZnO dilarutkan dalam 0,063 ml *acetylacetone* kemudian ditambah dengan 0,2 ml Triton-X (Solaronix) dan 0,34 ml *deionized water* hingga diperoleh pasta nanokomposit TiO₂/ZnO. Lapisan nanokomposit TiO₂/ZnO dibuat dengan teknik *screen printing* kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* pada suhu 120 °C selama ±10 menit, dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 500 °C selama 30 menit.

Karakterisasi yang dilakukan pada sampel nanopartikel ZnO yang terbentuk, TiO₂ dan nanokomposit TiO₂/ZnO adalah pengukuran pola difraksi menggunakan XRD untuk mengkonfirmasi struktur kristal, SEM untuk mengetahui morfologi permukaan dan bentuk partikel, serta pengukuran BET untuk menentukan luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik.

3. Hasil dan Pembahasan

Struktur kristal nanopartikel ZnO yang dihasilkan ditentukan berdasarkan hasil pengukuran XRD. Gambar 1(a), (b) dan (c) masing-masing menunjukkan pola difraksi nanopartikel ZnO, TiO₂ komersil dan juga nanokomposit TiO₂/ZnO. Pola difraksi ketiga sampel dibandingkan dengan database COD No. 00-230-0450 yang merupakan standar pola difraksi ZnO dan COD No. 00-230-0450 yang merupakan standar pola difraksi TiO₂. Analisis terhadap semua pola difraksi menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO memiliki struktur *hexagonal wurtzite*, sedangkan nanopartikel TiO₂ adalah *tetragonal* dalam fasa *anatase*. Dari Gambar 1(c), analisa pola difraksi memperlihatkan struktur yang sama baik pada nanopartikel TiO₂ maupun nanopartikel ZnO, dengan demikian penggabungan kedua material tersebut

tidak mengubah struktur kristal TiO₂ maupun ZnO. Ketajaman puncak yang terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1(a), (b) dan (c), berkaitan dengan lebar kurva atau yang sering disebut *full width at half maximum* (FWHM). Dengan menggunakan Persamaan *Debye-Scherrer* dapat dihitung ukuran kristal masing-masing sampel seperti diperlihatkan pada Tabel 1. Hasil tersebut menunjukkan ukuran kristal TiO₂ lebih besar dari ukuran kristal ZnO. Pada sampel nanokomposit terdapat kesesuaian ukuran kristal TiO₂, sedangkan ukuran kristal ZnO sedikit berkurang menjadi lebih kecil dibandingkan ukuran nanopartikel ZnO saja yang kemungkinan terjadi karena pengaruh pemanasan.



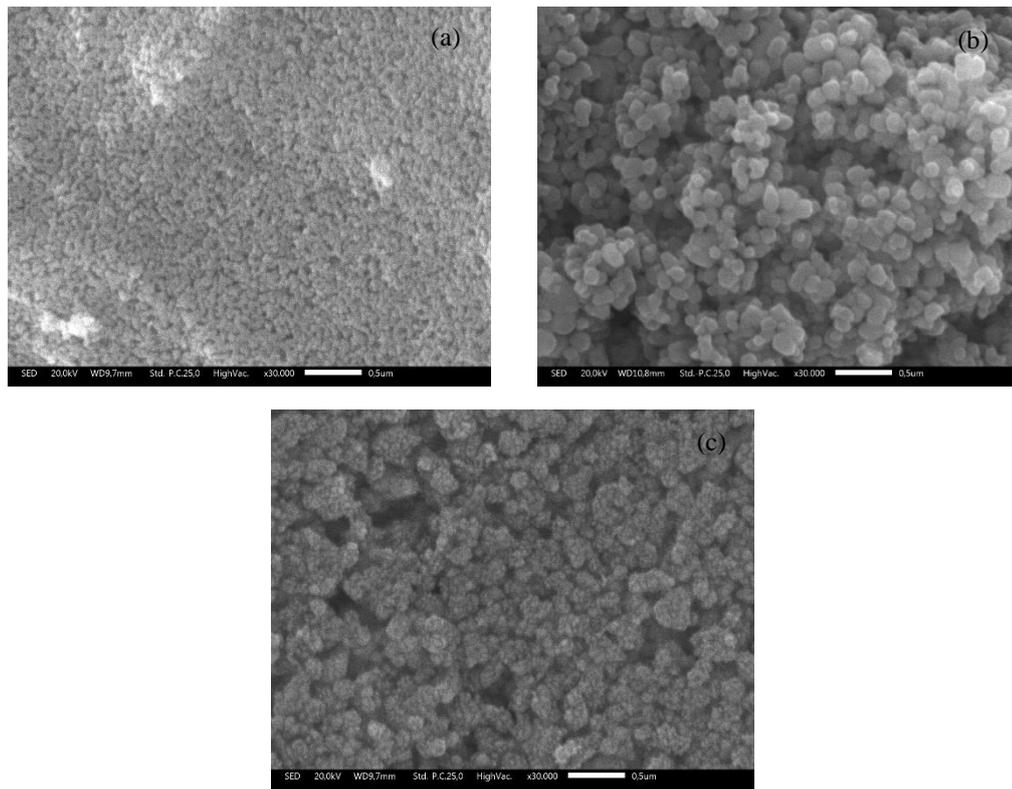
Gambar 1. Pola difraksi (a) nanopartikel ZnO (b) TiO₂ komersil (c) nanokomposit TiO₂/ZnO

Tabel 1. Ukuran kristal nanopartikel ZnO, TiO₂ dan nanokomposit TiO₂/ZnO berdasarkan Persamaan Debye-Scherrer

Sampel	hkl	Posisi Puncak (2θ)	FWHM (°)	B (rad)	D (nm)
ZnO	1 0 0	31,71	0,71991	0,006299	22,8867
TiO ₂	1 0 1	25,28	0,15096	0,001321	107,591
Nanokomposit	ZnO	1 0 0	0,93335	0,008167	17,652
TiO ₂ /ZnO	TiO ₂	1 0 1	0,19103	0,001672	85,0262

Hasil pengambilan foto SEM nanopartikel ZnO, TiO₂ dan nanokomposit TiO₂/ZnO diperlihatkan pada Gambar 2(a), (b) dan (c) dengan perbesaran 30.000 kali. Semua

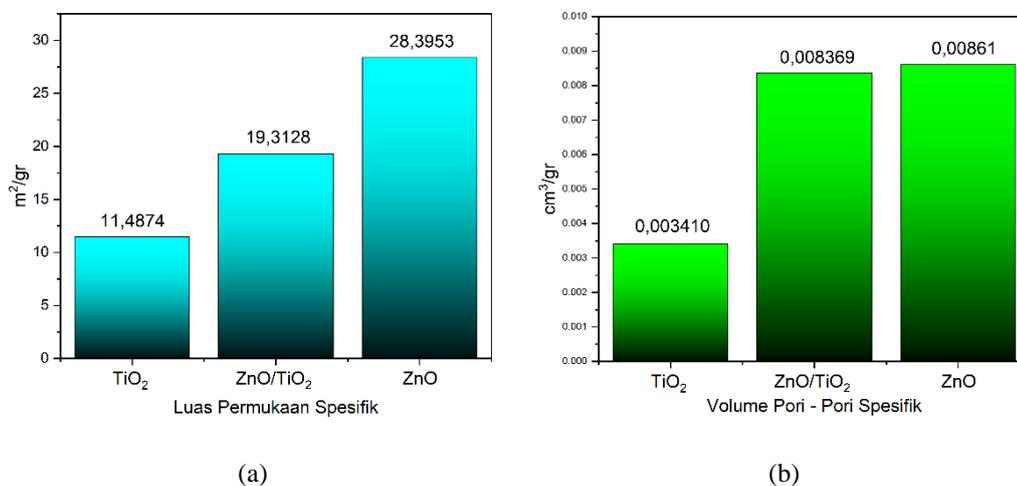
foto SEM memperlihatkan sampel cukup homogen dan bentuk masing-masing sampel terlihat sferis. Ukuran partikel ZnO lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel TiO₂. Jika dibandingkan antara foto SEM TiO₂ pada Gambar 2(b) dengan nanokomposit TiO₂/ZnO pada Gambar 2(c) terlihat perbedaan yang sangat signifikan yaitu nanopartikel ZnO terlihat mendekorasi nanopartikel TiO₂. Hasil ini menunjukkan keberhasilan proses sintesis nanokomposit TiO₂/ZnO membentuk sistem *bilayer*.



Gambar 2. Foto SEM (a) nanopartikel ZnO (b) TiO₂ (c) nanokomposit TiO₂/ZnO

Karakterisasi BET dilakukan untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik dari serbuk nanopartikel ZnO hasil sintesis dengan metode sol-gel, serbuk TiO₂ komersil dan nanokomposit TiO₂/ZnO. Gambar 3(a) dan (b) masing-masing menunjukkan luas permukaan spesifik dan volume pori. Nanopartikel ZnO memiliki luas permukaan spesifik sebesar 28,36 m²/g dengan volume pori-pori spesifik sebesar 8,37 x 10⁻³ cm³/gr, sedangkan TiO₂ komersil memiliki luas permukaan spesifik 11,49 m²/gr dengan volume pori-pori spesifik 3,41x10⁻³ cm³/gr. Luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik nanokomposit TiO₂/ZnO masing-masing adalah 19,31 m²/gr dan 8,34x10⁻³ cm³/gr. Dibandingkan dengan TiO₂ komersil, penambahan nanopartikel ZnO meningkatkan luas permukaan spesifik sebesar 68%, walaupun jika dibandingkan dengan luas permukaan spesifik nanopartikel ZnO masih lebih kecil. Hasil ini bersesuaian dengan hasil pengambilan foto SEM, dimana ukuran partikel ZnO lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel TiO₂, sehingga luas permukaan spesifik nanopartikel ZnO lebih besar daripada TiO₂. Untuk volume pori-pori spesifik,

penambahan nanopartikel ZnO terlihat dapat meningkatkan volume pori-pori menjadi sama dengan volume pori-pori nanopartikel ZnO. Seperti terlihat pada hasil SEM Gambar 2(c), nanopartikel ZnO mendekorasi partikel TiO₂ yang dapat meningkatkan volume pori ketika kedua material tersebut digabungkan.



Gambar 3. (a) Luas permukaan spesifik (b) volume pori

4. Kesimpulan

Nanokomposit TiO₂/ZnO telah berhasil disintesis dengan metode sol-gel. Penambahan nanopartikel ZnO pada TiO₂ mempengaruhi morfologi nanokomposit yang dihasilkan. Nanopartikel dengan ukuran partikel dalam orde nanometer mendekorasi partikel TiO₂ serta meningkatkan luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik. Hasil ini menunjukkan bahwa nanokomposit TiO₂/ZnO memiliki potensi sebagai material fotoanoda karena peningkatan luas permukaan spesifik dan volume pori-pori spesifik dapat meningkatkan kapasitas *dye sensitizer* dan secara langsung berkorelasi dengan peningkatan efisiensi konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (DRPMI) Universitas Padjadjaran atas dukungan dana melalui Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) dengan nomor kontrak 2064/UN6.3.1/PT.00/2022 tanggal 17 Maret 2022.

Daftar Pustaka

1. Qazi, F. Hussain, N. Abd. Rahim, G. Hardaker, D. Alghazzawi, K. Shaban, and K. Haruna, Towards Sustainable Energy: A Systematic Review Of Renewable Energy Sources, Technologies, And Public Opinions, Ieee Access, Vol. 7 (2019), p. 63837-63851.
2. T. C. Wei, J. L. Lan, C. C. Wan, W. C. Hsu, and Y. H. Chang, Fabrication of grid type dye sensitized solar modules with 7% conversion efficiency by utilizing commercially available materials, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 21, Np.8 (2012), p. 1625–1633.

3. M. Pan, N. Huang, X. Zhao, J. Fu, and X. Zhong, Enhanced Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cell by High Surface Area Anatase-TiO₂-Modified P25 Paste, *Journal of Nanomaterials*, Volume 2013, Article ID 760685 (2013).
4. H. Yu, S. Zhang, H. Zhao, B. Xue, P. Liu, and G. Will, High-Performance TiO₂ Photoanode with an Efficient Electron Transport Network for Dye-Sensitized Solar Cells, *J. Phys. Chem. C*, Vol 113 (2009), p. 16277–16282.
5. M. S. Ahmad, A.K. Pandeya, N. Abd. Rahima, Advancements in the development of TiO₂ photoanodes and its fabrication methods for dye sensitized solar cell (DSSC) applications. A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 77 (2017), p. 89–108.
6. S. Khatijah, A. Umar, S. Nafisah, S. Tan, A. Balouch, M. Shalleh, M. Oyama, Poriferous Microtablet Of Anatase TiO₂ Growth on an ITO Surface For High-Efficiency Dye Sensitized solar Cells, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 122 (2014), p. 174-182.
7. M. Zi, M. Zhu, L. Chen, H. Wei, X. Yang, and B. Cao, ZnO photoanodes with different morphologies grown by electrochemical deposition and their dye-sensitized solar cell properties, *Ceramics International*, Vol 40, No. 6 (2014), p. 7965–7970.
8. K. Basu, D. Benetti, H. Zhao, et al. Enhanced photovoltaic properties in dye sensitized solar cells by surface treatment of SnO₂ photoanodes. *Sci Rep* Vol. 6 (2016), p. 23312.
9. H. Yoon, D. Kim, M. Park, J. Kim, J. Kim, W. Srituravanich, B. Shin, Y. Jung, and S. Jeon, Extraordinary Enhancement of UV Absorption in TiO₂ Nanoparticles Enabled by Low-Oxidized Graphene Nanodots, *J. Phys. Chem. C*, Vol. 122, No. 22 (2018), p. 12114–12121.
10. S. Mathew, A. Yella, P. Gao, R. Humphry-Baker, B. F. Curchod, N. Ashari-Astani, et al., Dye-sensitized solar cells with 13% efficiency achieved through the molecular engineering of porphyrin sensitizers, *Nat. Chem.*, Vol 6 (2014), p. 242–247.
11. M. Belarb, B. Benyoucef, A. Benyoucef, T. Benouaz, S. Goumri-Said, Enhanced electrical model for dye-sensitized solar cell characterization, *Sol. Energy*, Vol. 122 (2015), p. 700–711.
12. Y. F. Wang, W. X. Zhao, X. F. Li, D. J. Li, Engineered interfacial and configuration design of double layered SnO₂@TiO₂-ZnO nanoplates ternary heterostructures for efficient dye-sensitized solar cells. *Electrochim. Acta*, Vol. 151 (2015), p. 399–406.
13. Y. Feng, Ji. Chen, X. Huang, W. Liu, Y. Zhu, W. Qin, and X. Mo, A ZnO/TiO₂ composite nanorods photoanode with improved performance for dye-sensitized solar cells, *Cryst. Res. Technol.*, Vol 51, Issue 10 (2016), p. 548-553.
14. J. Han, F. Fan, C. Xu, S. Lin, M. Wei, X. Duan, Z. L. Wang, ZnO nanotube-based dye-sensitized solar cell and its application in self-powered devices, *Nanotechnology*, Vol. 21 (2010), p. 405203.
15. M. A. Eric, Synthesis and Growth of ZnO Nanoparticles, *J. Phys. Chem. B*, Vol. 102 (1998), p. 5566-5572
16. L. Safriani, A. Aprilia, A. Bahtiar, Risdiana, M. Kartawidjaja, T. Apriani, K. Kanazawa, and Y. Furukawa, Preparation of ZnO nanoparticles for blend of P3HT:ZnO nanoparticles:PCBM thin film and its charge carrier dynamics characterization, *AIP Conference Proceedings*, Vol. 1554 (2013), p. 101-104