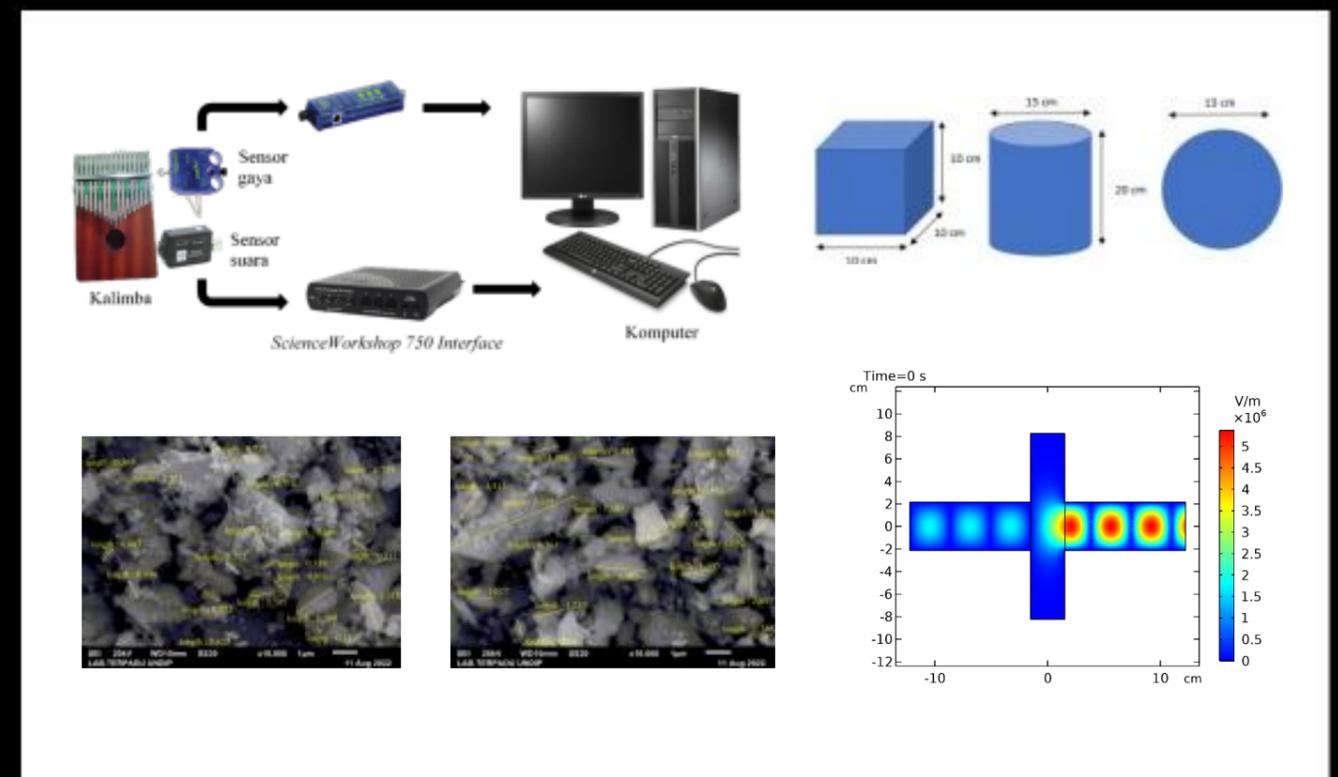


# Komunikasi Fisika Indonesia

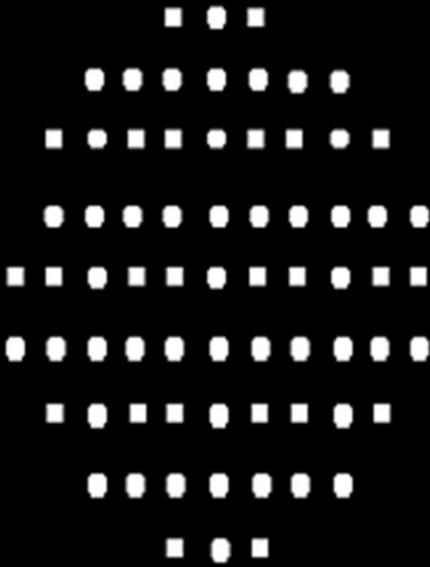


ISSN 1412 2960

Komunikasi Fisika Indonesia  
Vol. 20 No. 03  
November 2023  
Penerbit Jurusan Fisika Universitas Riau  
Pekanbaru



Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5  
Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293



# Komunikasi Fisika Indonesia

The figure illustrates an experimental setup and simulation. On the left, a diagram shows a Kalimba connected to a force sensor (Sensor gaya) and a microphone (Sensor suara), which are linked to a ScienceWorkshop 750 Interface and a computer (Komputer). To the right, 3D models of a cube (50 cm x 50 cm x 50 cm), a cylinder (50 cm diameter, 20 cm height), and a circle (50 cm diameter) are shown. Below these are two SEM images of a material surface. On the right, a simulation plot at Time=0 s shows a cross-shaped field of electric potential (V/m  $\times 10^6$ ) on a coordinate system from -10 to 10 cm. The plot features a vertical bar and a horizontal bar intersecting at the origin, with a color scale from 0 to 5.





**Susunan Dewan Redaksi Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia (KFI)  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau**

**Penanggung Jawab:** Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

**Pimpinan Redaksi:** Drs. Usman Malik, M.Si (Universitas Riau)

**Managing Editor:**

1. Prof. Dr. Saktioto, S.Si., M.Phil, (Universitas Riau)
2. Drs. Defrianto, DEA, Universitas Riau
3. Prof. Dr. Rakhmawati Farma, M.Si, (Universitas Riau)
4. Romi Fadli Syahputra, M.Si, (Universitas Riau)
5. Wahyu Candra, S.Si, (Universitas Riau)
6. Yan Soerbakti, S.Si (Universitas Riau)

**Dewan Reviewer / Editorial Board:**

1. Prof. Dr. Erwin, M.Sc (Universitas Riau)
2. Prof. Dr. Warsito, DEA (Universitas Lampung)
3. Prof. Dr. Timbangan Sembiring, M.Sc (Universitas Sumatera Utara)
4. Prof. Dr. Edy Saputra, M.Sc (Universitas Riau)
5. Prof. Dr. Erman Taer, M.Si (Universitas Riau)
6. Dr. Minarni, M.Sc (Universitas Riau)
7. Prof. Dr. Okfalisa, ST., M.Sc (Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim)
8. Dr. Dedi Irawan, M.Sc (Universitas Riau)
9. Dr. Ing. Rahmondia Nanda Setiadi, M.Si (Universitas Riau)
10. Dr. Efizal, M.Sc (Universitas Islam Riau)
11. Dr. Hamzah, M.Sc (Universitas Lancang Kuning)
12. Rizadi Sasmita Darwis, S.T., M.T. (Politeknik Caltex Riau)

**Alamat Redaksi:**

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

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iii
PEMODELAN GENERATOR PLASMA HIDROGEN FREKUENSI GELOMBANG MIKRO TEKANAN ATMOSFIR <i>Reeky Fardinata, Saktioto Saktioto, Rakhmawati Farma</i>	205-214
PREDIKSI INDEKS NITROGEN DIOKSIDA (NO <sub>2</sub> ) MENGGUNAKAN MODEL NEURALPROPHET STUDI KASUS DKI JAKARTA <i>Jhon Paul Estomihi Togatorop, Risang Bayu Firdaush, Yosafat Donni Haryanto</i>	215-222
SINTESIS KARBON AKTIF BERBASIS BIOMASSA SERAT BINTARO SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA UNTUK APLIKASI SEL SUPERKAPASITOR <i>Aria Yunita, Rakhmawati Farma, Awitdrus Awitdrus, Irma Apriyani</i>	223-230
PENGARUH DOPING <i>CHROMIUM</i> TERHADAP SIFAT MAGNETIK NANOPARTIKEL OKSIDA BESI <i>Indah Tamara Sitorus, Erwin Amiruddin, Juandi Muhammad, Erman Taer</i>	231-236
IDENTIFIKASI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI WILAYAH BENGKULU DENGAN METODE KAWASHUMI <i>Reni Nurjannah, Mulkan Iskandar, Lailatul Husna Lubis</i>	237-242
SIFAT OPTIK NANOMATERIAL ZnO DOPING NIOBIUM BERDASARKAN WAKTU SINTESIS <i>Iwantono Iwantono, Muhammad Pauji, Puji Nurrahmawati, Nashiha Chalvis Syahra</i>	243-246
ANALISIS UJI FISIS BRIKET AROMATERAPI BERBAHAN SERAI DAN SERBUK KAYU DENGAN PEREKAT PINUS MERKUSII <i>Ervina Putri Wulandari, Ety Jumiaty, Miftahul Husnah</i>	247-252
REDUKSI BAKTERI TOTAL COLIFORM DAN <i>ESCHERICHIA COLI</i> PADA AIR SUMUR DENGAN MENGGUNAKAN POT KERAMIK BERBAHAN SEKAM PADI DAN ZEOLIT <i>Masthura Masthura, Ratni Sirait, Nurul Rizki Amalia</i>	253-258

ANALISIS DAN SINTESIS BUNYI PETIKAN KALIMBA MENGGUNAKAN TRANSFORMASI FOURIER <i>Abd Djamil Husin, Indriyanti Rahmi Setyani, Sidikrubadi Pramudito, Sitti Yani, Ardian Arif Setiawan</i>	259-266
ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN DAUN JAGUNG PADA KERAMIK BERPORI BERBAHAN DASAR TANAH LEMPUNG <i>Ayu Amalya Rahma, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis</i>	267-274
PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF DAUN JAGUNG ( <i>Zea mays L.</i> ) TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK KERAMIK ALUMINA <i>Ayu Dwi Retno, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis</i>	275-278
PERANCANGAN SISTEM <i>MONITORING</i> DAN KONTROL KUALITAS AIR BERBASIS IOT PADA KOLAM IKAN AIR TAWAR <i>Riski Muhammad Natsir Nasution, Nazaruddin Nasution, Mulkan Iskandar Nasution</i>	279-282
DESAIN KIT PEMBELAJARAN GERAK MENGGELINDING PADA BIDANG MIRING UNTUK SISWA SEKOLAH DASAR <i>Dzulfiqar Yudha Pranata, Rusydi Balfas, Mohammad Kelfiana, Zaky Vebrian, Joseph Bagas Triambada, Rima Fitria Adiati</i>	283-292
PREPARASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI BERBASIS PASIR ALAM LOGAS DIDOPING KOBALT SEBAGAI MATERIAL LINGKUNGAN <i>Erwin Amiruddin, Amir Awaluddin, Muhammad Rizki</i>	293-300
PEMANFAATAN LIMBAH SERABUT KELAPA MUDA SEBAGAI ELEKTRODA KARBON SUPERKAPASITOR DENGAN VARIASI KONSENTRASI AKTIVATOR $ZnCl_2$ <i>Ridho Nopriansyah, Awitdrus Awitdrus</i>	301-305

## PEMODELAN GENERATOR PLASMA HIDROGEN FREKUENSI GELOMBANG MIKRO TEKANAN ATMOSFIR

Reeky Fardinata\*, Saktioto, Rakhmawati Farma

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*The model used in this work is a two-dimensional fluid plasma model coupled with Maxwell equations at atmospheric pressure. The model was created by applying different plasma torch parameters using the finite element approach. Three separate stages of the numerical modeling were used to show how the increase in electron density increases with time. It may be inferred from the molecular ion distribution features that the torch's quartz tube's port, which is larger than the tube's center, is where the molecular ions are primarily disseminated. Reduced pressure and the calculated distance from the port to the center of the quartz tube result in a drop in the density ratio of molecular ions to electrons. The research on microwave plasma properties revealed that atmospheric pressure is important for modeling and developing plasma sources, particularly for the conversion of carbon dioxide.*

**Keywords:** Atmospheric Pressure, Electron Density, Energy, Modeling, Plasma Microwave.

### ABSTRAK

*Model yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah model plasma fluida dua dimensi yang digabungkan dengan persamaan Maxwell pada tekanan atmosfer. Model dibuat dengan menerapkan parameter obor plasma yang berbeda menggunakan pendekatan elemen hingga. Tiga tahap terpisah dari pemodelan numerik digunakan untuk menunjukkan bagaimana peningkatan kerapatan elektron meningkat seiring waktu. Ini dapat disimpulkan dari fitur distribusi ion molekuler bahwa port tabung kuarsa obor, yang lebih besar dari pusat tabung, adalah tempat ion molekuler terutama disebarluaskan. Tekanan yang berkurang dan jarak yang dihitung dari pelabuhan ke pusat tabung kuarsa menghasilkan penurunan rasio kerapatan ion molekuler terhadap elektron. Penelitian tentang sifat plasma gelombang mikro mengungkapkan bahwa tekanan atmosfer penting untuk pemodelan dan pengembangan sumber plasma, terutama untuk konversi karbon dioksida.*

**Kata kunci:** Tekanan Atmosfir, Densitas Elektron, Energi, Pemodelan, Plasma Gelombang Mikro.

Diterima 11-11-2022 | Disetujui 09-06-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Aplikasi untuk teknologi plasma meliputi pengolahan bahan [1], pembersihan volume gas [2], penciptaan sumber ion [3], dan pencahayaan plasma [4,5]. Fakta bahwa sumber plasma dapat menghasilkan densitas tinggi dan kerapatan fluks foton dan radikal dalam produk berbasis plasma menjelaskan keberhasilan teknologi plasma.

Gelombang mikro menghasilkan efisiensi energi yang sangat baik, mereka memiliki

kualitas unik yang telah menarik lebih banyak perhatian pada pandu gelombang berbasis plasma selama sepuluh tahun terakhir. Karena plasma yang dibuat biasanya memiliki nilai kepadatan tinggi tanpa perlu menyerap banyak daya, gelombang mikro memiliki banyak sifat induktif. Frekuensi gelombang mikro 2,45 GHz dapat membantu pemecahan karbon dioksida dan pembentukan hidrogen, yang merupakan komponen bahan bakar di bawah tekanan atmosfer [6,7].

Studi numerik plasma gelombang mikro atau *microwave induced plasmas* telah membantu pengembangan eksperimental sehingga menguntungkan kemajuan penelitian plasma berbasis gelombang mikro [8-12]. Teknik yang sangat penting untuk melakukan pemodelan plasma adalah dinamika plasma, termodinamika, reaksi kimia, kesetimbangan, dan efek elektromagnetik [13-15].

Studi pemodelan adalah solusi praktis untuk masalah yang dihadapi. Model yang akurat sangat diperlukan untuk memahami dan mengadaptasi plasma hidrogen sebelum melakukan penyelidikan eksperimental kuantitatif untuk konsentrasi atom H. Pemodelan plasma hidrogen oleh gelombang mikro lebih banyak dalam pengembangannya dibandingkan penelitian yang dilakukan [16].

## METODE PENELITIAN

### Persamaan Model Plasma

Vektor medan listrik, koefisien difusi elektron, dan mobilitas elektron berdampak pada kerapatan elektron dan energi kerapatan elektron selama proses difusi-konveksi plasma dan reaksi plasma. Persamaan (1) dan (2) menggambarkan variasi kerapatan elektron terhadap waktu dan ruang, sedangkan Persamaan (3) dan (4) menjelaskan variasi energi kerapatan elektron melintasi ruang dan waktu. Persamaan menggambarkan bagaimana rumus drift-menggunakan dapat digunakan untuk mewakili laju perubahan kerapatan elektron:

$$\frac{\partial}{\partial t}(n_e) + (u \cdot \nabla)n_e + \nabla \cdot \Gamma_e = R_e \quad (1)$$

$$\Gamma_e = -(-\mu_e \cdot E)n_e - D_e \cdot \nabla n_e \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(n_e) + \nabla \cdot \Gamma_e + E \cdot \Gamma_e = R_e - (u \cdot \nabla)n_e \quad (3)$$

$$\Gamma_e = -(-\mu_e \cdot E)n_e - D_e \cdot \nabla n_e \quad (4)$$

Simbol  $n_e$ ,  $\mu_e$ ,  $n_e$ ,  $\mu_e$ , dan  $u$  masing-masing mewakili kerapatan elektron, perpindahan elektron, kerapatan energi elektron, transfer energi elektron, dan vektor kecepatan fluida. Simbol  $\Gamma_e$  dan  $\Gamma_e$ , masing-masing mewakili fluks elektron dan fluks energi elektron. Simbol  $D_e$  menunjukkan koefisien difusi elektron,  $D_e$  untuk difusivitas energi elektron,  $R_e$  dan  $R_e$  masing-masing mewakili ekspresi laju elektron

dan keuntungan atau kerugian energi sebagai akibat dari tumbukan tidak meminjamkan [17].

### Persamaan Fluida

Persamaan (5) dan (6) merupakan, kontinuitas massa dan persamaan Navier-Stokes yang digunakan untuk menentukan aliran gas dalam tabung kuarsa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0 \quad (5)$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = -\nabla p + \nabla [\mu(\nabla u + (\nabla u)T) - 2\mu(\nabla \cdot u)\mathbf{I}] + F \quad (6)$$

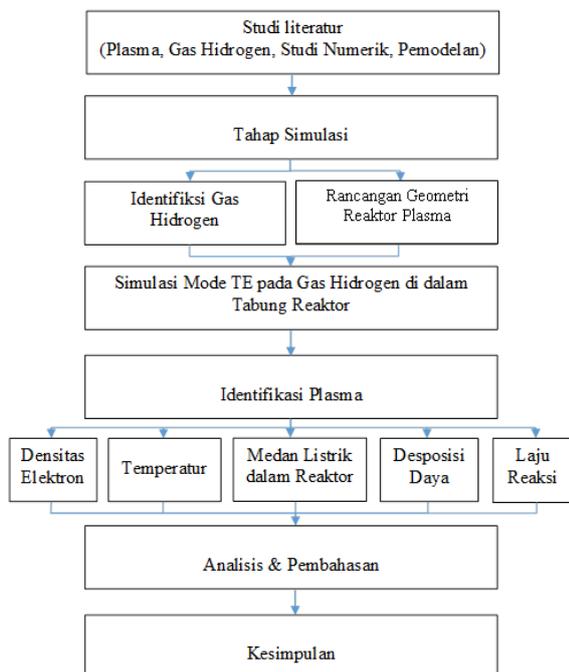
$$F = \frac{\mu_0}{2} R_e (\sigma E \times H^*) \quad (7)$$

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari gelas ukuran 500 ml, pH meter digital, TDS/EC meter, multimeter digital, kabel penjeit buaya, wadah akrilik ukuran  $12 \times 5 \times 7$  (cm), blender. Tekanan, densitas massa, viskositas dinamis, dan satuan tensor masing-masing diwakili oleh simbol  $p$ ,  $\rho$ ,  $\mu$ , dan  $\mathbf{I}$  [18].  $F$  adalah persamaan

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (\sigma_k \nabla T) + Q_{el} + Q_w \quad (8)$$

Simbol  $C_p$ ,  $\sigma_k$ ,  $Q_{el}$ , dan  $Q_w$  mewakili kapasitas panas spesifik, konduktivitas termal, perolehan energi akibat tumbukan elastis antara partikel berat dan elektron, dan pelepasan panas karena tumbukan non-elektronik.

## METODE PENELITIAN



**Gambar 1.** Prosedur penelitian.

Metode dalam penelitian ini, menggunakan aproksimasi fluida yang digunakan untuk menggabungkan persamaan Boltzmann dengan persamaan Maxwell guna menghitung densitas partikel bermuatan, temperatur elektron, dan

gaya Lorentz, di mana  $H^*$  adalah konjugat kompleks dari  $H$ .

## Perpindahan Panas

Temperatur gabungan  $T$  diambil dari spesies berat, termasuk ion dan atom netral yang dinyatakan sebagai temperatur umum. Tingkat perubahan energi partikel berat dijelaskan oleh Persamaan (8):

medan elektromagnetik. Persamaan Boltzmann merujuk pada perubahan persamaan distribusi kecepatan ion  $f(r, v, t)$  dengan waktu, dimana  $v$  adalah kecepatan,  $r$  adalah posisi, dan  $t$  adalah waktu. Fungsi distribusi energi elektron dimasukkan ke dalam persamaan Boltzmann untuk menyelesaikan koefisien transpor elektron.

## Reaksi Plasma

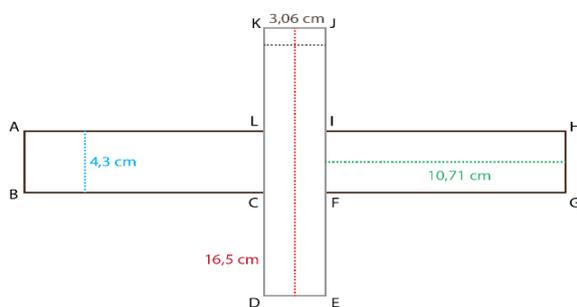
Plasma direpresentasikan sebagai fluida yang terdiri dari elektron, ion dan atomik. Reaksi plasma yang terlibat meliputi: eksitasi, ionisasi, elastik, super elastik, ionisasi, *association mutual*, dan netralisasi (lihat pada Tabel 1).

## Desain Reaktor Plasma

Model reaktor yang dikembangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Pemandu gelombang persegi panjang memiliki ukuran penampang  $AB = 4,3$  cm,  $IH = 10,71$  cm, dan diameter tabung 3,06 cm pada bidang  $xy$ . Tabung kuarsa tertutup dalam sangkar logam silinder yang dirancang untuk menjadi konduktor listrik yang ideal untuk mencegah kebocoran gelombang mikro. Suhu gas awal adalah 11604 K, kerapatan elektron awal adalah  $10^{16} \text{ m}^{-3}$ , energi elektron rata-rata asli adalah 2,67 eV, dan potensial pertama adalah 0 V. Tekanan di dalam tabung kuarsa adalah 1 atm.

**Tabel 1.** Reaksi plasma hidrogen [18-22].

Reaksi	Tumbukan	Parameter
$e + H \rightarrow e + H$	Elastik	$M_r = 54,869 \times 10^{-5}$
$e + H \rightarrow e + e + H^+$	Ionisasi	$\Delta E = 13,61 \text{ eV}$
$e + H_2 \rightarrow e + H + H$	Eksitasi	$\Delta E = 13 \text{ eV}$
$e + H_2 \rightarrow e + H_2$	Elastik	$M_r = 27,4348 \times 10^{-5}$
$e + H_2 \rightarrow e + e + H_2^+$	Ionisasi	$\Delta E = 15,4 \text{ eV}$
$e + H_2 \rightarrow e + H_2 \text{ (rot)}$	Eksitasi	$\Delta E = 4.3928 \times 10^{-2} \text{ eV}$
$e + H_2 \rightarrow e + H_2 \text{ (V1)}$	Eksitasi	$\Delta E = 0,516 \times 10^{-2} \text{ eV}$
$e + H_2 \rightarrow e + H + H$	Eksitasi	$\Delta E = 13 \text{ eV}$
$H + H^- \rightarrow H_2$	Asosiasi	$K^f = 1,8 \times 10^{-9} \text{ (m}^3/\text{s.mol)}$
$H^+ + H^- \rightarrow H_2 + e$	Netralisasi mutual	$K^f = 4 \times 10^{-7} \text{ (m}^3/\text{s.mol)}$



**Gambar 2.** Desain reaktor plasma.

Kepadatan partikel bermuatan, suhu elektron, dan medan elektromagnetik dihitung dalam penelitian ini menggunakan pendekatan fluida untuk menggabungkan persamaan Boltzmann dengan persamaan Maxwell.

Persamaan Boltzmann, di mana  $v$  adalah kecepatan,  $r$  adalah lokasi, dan  $t$  adalah waktu, menggambarkan perubahan dalam persamaan distribusi kecepatan untuk ion  $f(r, v, t)$  terhadap waktu. Persamaan ini dimodifikasi untuk memasukkan fungsi distribusi energi elektron untuk menemukan koefisien transpor elektron.

### Kondisi Batas

Kondisi batas diperlukan untuk membatasi kejadian dalam plasma saat disimulasikan agar tidak terlalu jauh dari yang seharusnya. Kondisi batas untuk simulasi generator plasma gelombang mikro ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kondisi batas.

Boundary	Plasma
BA, BC, FG, AL, IH, GH	$n \times E = 0$
GH	$P_{in}$
KJ	$-n \cdot \Gamma_e = 0 \quad -n \cdot \Gamma_\Delta = 0 \quad nJ_k = 0 \quad n \cdot \epsilon_0 \epsilon_{rp} E = 0$
DE	$-n \cdot \Gamma_e = 0 \quad -n \cdot \Gamma_\Delta = 0 \quad nJ_k = 0 \quad n \cdot \epsilon_0 \epsilon_{rp} E = 0$
DK, EJ	$-n \cdot q = 0 \quad -n \cdot q = 0 \quad V = 0$
KJ	$u_{in}$
DE	$P_0$
DK, EJ	$u = 0$
KJ	$T = T_0$
DE	$-n \cdot q = q_0, q_0 = h(T_{ext} - T)$
DEDK, EJ	$-n \cdot q = 0$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

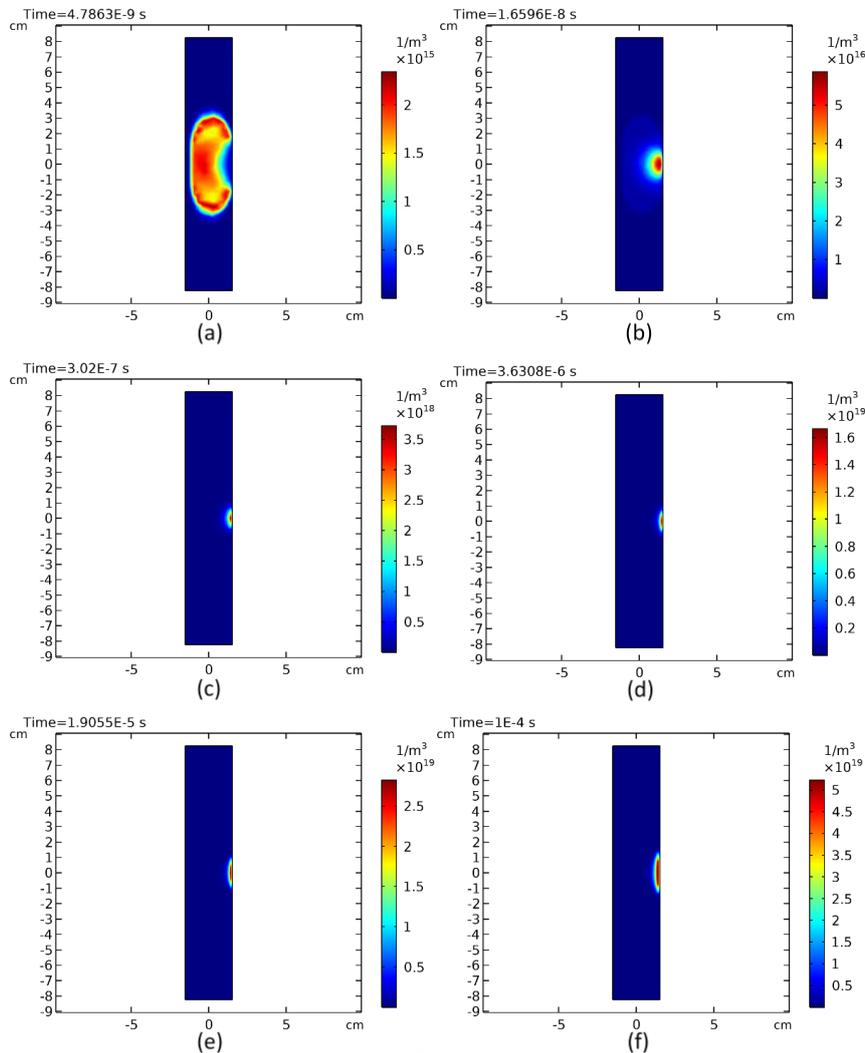
### Kerapatan Elektron

Profil distribusi spasial elektron dalam tabung diilustrasikan pada Gambar 3. Rentang

waktu analisis diambil dari 0 s hingga  $10^{-4}$  s, dimana kerapatan elektron meningkat dari kondisi awal  $10^{12} \text{ m}^{-3}$  menjadi  $5,24 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$  untuk nilai maksimum.

Kerapatan elektron di situs plasma memiliki distribusi yang dekat dengan Gaussian, yaitu menuju pusat area, kerapatan elektron rata-rata

yang ditentukan dari model diperoleh dengan mengintegrasikan distribusi radial kerapatan elektron di atas penampang tabung.

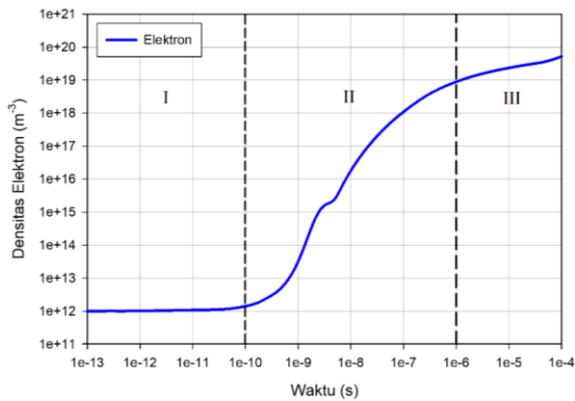


**Gambar 3.** Profil distribusi densitas elektron ( $\text{m}^{-3}$ ) dalam tabung pada sumbu xy (a)  $10^{-9}$  s, (b)  $10^{-8}$  s, (c)  $10^{-7}$  s, (d)  $10^{-6}$  s, (e)  $10^{-5}$  s, dan (f)  $10^{-4}$  s.

Peningkatan kerapatan elektron disebabkan karena elektron 1000 – 10.000 kali lebih ringan dari partikel berat (ion) sehingga elektron dapat memperoleh energi lebih dari medan elektromagnetik yang diberikan. Elektron yang dipercepat oleh medan elektromagnetik mentransfer energinya ke ion melalui tumbukan, dan dipercepat dalam medan yang diciptakan oleh gelombang mikro menggunakan pergeseran fase tumbukan. Frekuensi tumbukan meningkat dari 88,5 menjadi 93,2 GHz, menyebabkan elektron terganggu dalam perilaku kolektifnya sehingga energi dapat ditransfer dalam plasma. Rapatan

elektron mulai mengalami kesetimbangan setelah berada pada rentang waktu  $10^{-6}$  s, dimana rapatan elektron tetap pada  $10^{19} \text{ m}^{-3}$ .

Tren pertumbuhan kerapatan elektron dalam tabung kuarsa dapat dibagi menjadi tiga tahap selama proses eksitasi (lihat Gambar 4). Tahap pertama dari proses eksitasi adalah pada awal tumbukan, yaitu pada  $10^{-13} - 10^{-11}$  s. Fase awal ini disebabkan karena adanya penghalang potensial dalam plasma, gangguan dari faktor eksternal dapat diblokir atau ditekan, sehingga memungkinkan keseimbangan internal.



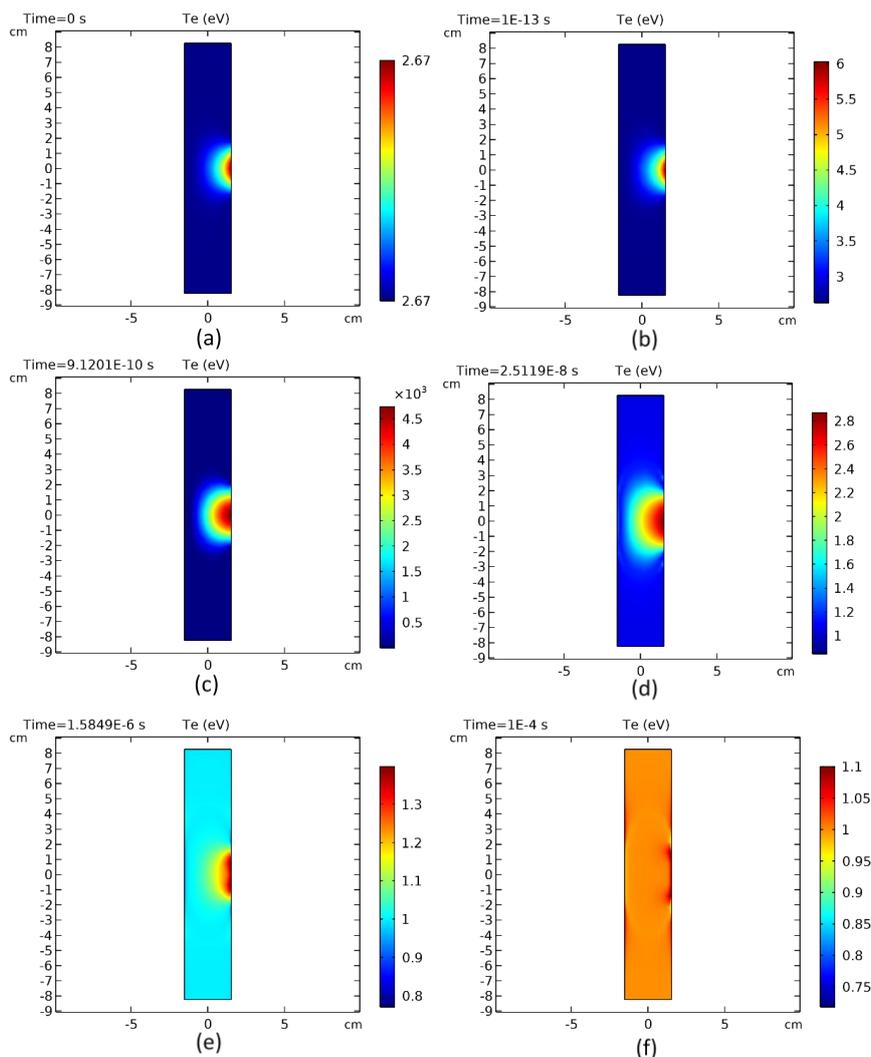
**Gambar 4.** Perubahan densitas elektron terhadap waktu di dalam plasma.

Tahap kedua dari proses eksitasi menunjukkan bahwa energi yang cukup telah terakumulasi untuk mengganggu keseimbangan internal plasma, yang menyebabkan tumbukan yang relatif kuat (terutama tumbukan tidak

elastis) dalam plasma, yang mengarah pada pertumbuhan kerapatan elektron yang cepat.

Peristiwa ini meningkatkan kerapatan elektron secara cepat dalam waktu singkat yang berdampak pada peningkatan kerapatan elektron menuju kondisi kritis. Di wilayah ini kerapatan elektron ( $8,01 \times 10^{12} \text{ m}^{-3}$ ), pada rezim non-tumbukan mengalami efek *avalanche* (longsoran) elektron [23], fase ini menandai penyerapan energi secara penuh yang dapat mereduksi radiasi yang tidak diinginkan [24].

Kerapatan elektron kemudian memasuki fase ketiga, yang menghasilkan amplop plasma menjadi lebih tebal dan lebih tebal. Kondisi ini merupakan densitas kritis ( $9 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ ;  $t = 10^{-6} \text{ s}$ ), mengakibatkan area plasma menyempit dan bergerak mendekati dinding tabung.



**Gambar 5.** Profil distribusi temperatur elektron dalam tabung pada sumbu xy (a) 0 s, (b)  $10^{-13}$  s, (c)  $10^{-10}$  s, (d)  $10^{-8}$  s, (e)  $10^{-6}$  s, dan (f)  $10^{-4}$  s.

## Distribusi Temperatur Elektron

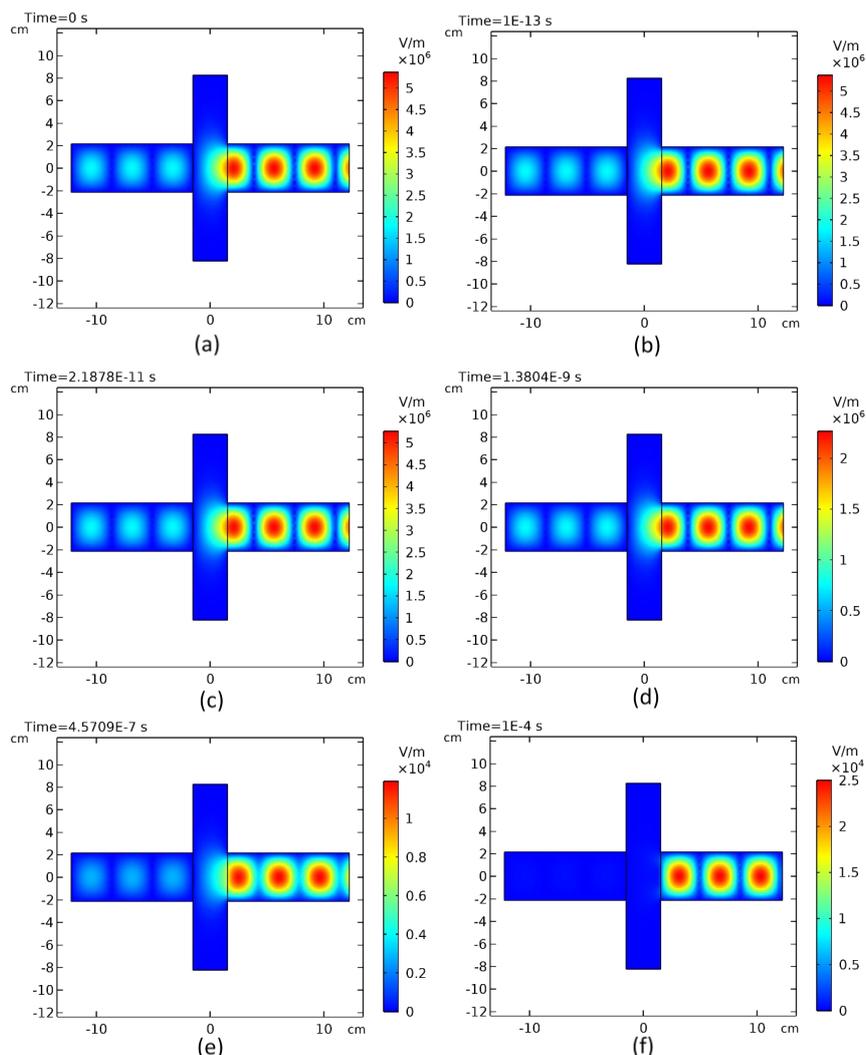
Temperatur elektron ( $T_e$ ) adalah besaran yang menyatakan energi elektron dimana medan listrik akan memberikan energi elektron untuk melakukan tumbukan. Temperatur elektron awal yang sangat tinggi kemudian meluruh dengan cepat dan terjadi pada waktu  $4,79 \times 10^{-9}$  s dengan nilai 51,06 eV, akhirnya nilai akhir temperatur elektron adalah 1,1 eV (12.764,4 Kelvin) (lihat Gambar 5).

Nilai temperatur elektron yang tinggi menunjukkan bahwa reaksi yang terjadi dapat menghasilkan sejumlah besar radikal netral yang memiliki sifat kimia aktif, dan dalam aplikasinya banyak digunakan dalam sterilisasi medis dan modifikasi bahan. Perubahan nilai suhu elektron disebabkan karena plasma akan

berusaha mencapai kesetimbangan termalnya, namun dalam hal ini plasma gelombang mikro memiliki tingkat ketidakseimbangan yang tinggi ( $T_e > T_{\text{gas}}$ ) [25].

## Profil Distribusi Medan Listrik

Medan listrik yang bergerak menuju tabung akan mencapai nilai kritis ( $E_c$ ), sehingga gas hidrogen akan terionisasi menghasilkan plasma. Medan listrik yang besar akan meningkatkan proses ionisasi. Gambar 6 menunjukkan profil distribusi medan listrik terkonsentrasi di pusat pandu gelombang, medan listrik yang sangat kuat ada di dinding dekat ujung hubung singkat dengan nilai awal  $5,38 \times 10^6$  V/m, di mana nilai puncak intensitas medan muncul di daerah oval tengah.

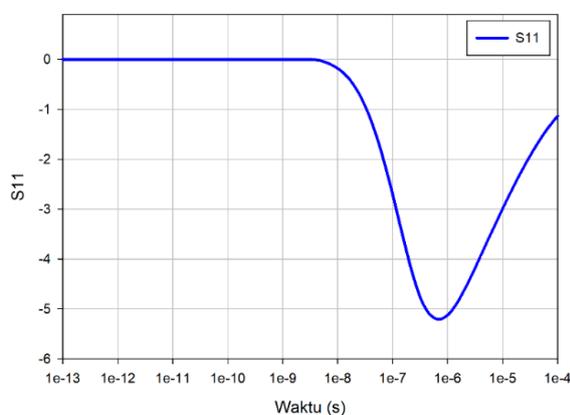


**Gambar 6.** Profil distribusi medan listrik dalam reaktor plasma pada sumbu xy (a) 0 s, (b)  $10^{-13}$  s, (c)  $10^{-11}$  s, (d)  $10^{-9}$  s, (e)  $10^{-7}$  s, and (f)  $10^{-4}$  s.

Amplitudo intensitas medan listrik akan meluruh di sepanjang kedua sisi pandu gelombang. Densitas elektron di sisi tengah akan sangat tinggi dibandingkan di tempat lain, dengan peningkatan kerapatan elektron, modul medan listrik di plasma akan mengalami pelemahan sebesar  $1,18 \times 10^4$  V/m. Medan listrik mengalami pelemahan karena setelah kerapatan elektron mencapai atau melebihi nilai ambang batas, frekuensi plasma elektron ( $\omega_{pe} = 2,78 \times 10^{10}$ ) akan lebih besar dari frekuensi sudut ( $\omega = 2,45 \times 10^9$ ) juga dapat menyerap daya di daerah dengan kerapatan elektron tertinggi. Peristiwa ini mengarah ke bagian real negatif dari permitivitas plasma yaitu:

$$[\epsilon_{pr} = 1 - \omega_{pe}^2 / (\omega^2 + \nu_m^2) < 0] \quad (9)$$

Elektron dengan suhu yang cukup tinggi akan mudah bertumbukan, tereksitasi, terionisasi, dan sebagainya ketika energi ditransfer ke elektron yang kemudian meningkatkan kerapatan elektron, suhu elektron, dan partikel berat. Peristiwa ini ditandai dengan nilai  $S_{11}$  yang mulai mengecil, dan mencapai nilai minimal -5,21 dB, yang menunjukkan bahwa plasma hanya memantulkan 31,5% energi yang masuk. Densitas elektron kemudian meningkat ke besaran kritis, sehingga sifat dielektrik plasma berubah dan mempersulit energi untuk merambat, sehingga energi yang masuk akan dipantulkan sebesar 74,6%.



**Gambar 7.** Grafik nilai perubahan parameter  $S_{11}$ .

Parameter  $S_{11}$  digunakan untuk menggambarkan transfer daya dari medan listrik ke plasma. Hasil perhitungan  $S_{11}$  yang ditunjukkan pada Gambar 6 menjelaskan hubungan antara besaran daya yang diserap oleh plasma [26].

## KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kesimpulan dari bentuk pandu gelombang persegi panjang dan menganalisis eksitasi plasma hidrogen gelombang mikro pada tekanan atmosfer. Metode aproksimasi fluida diterapkan di sini untuk menyelesaikan persamaan transpor elektron. Beberapa parameter penting, seperti medan listrik, kerapatan elektron, suhu elektron, dan parameter hamburan  $S_{11}$ , diperoleh. Simulasi ini menyatakan bahwa permitivitas menjadi negatif ketika kerapatan elektron plasma melebihi nilai batas pada tahap kedua. Konduktivitas yang lebih tinggi yang dihasilkan memungkinkan pelepasan pandu gelombang koaksial dengan dinding logam eksternal, dan gelombang permukaan kemudian merambat dan memicu daerah yang sebelumnya tidak tereksitasi di kedua ujung plasma, dan meningkatkan kerapatan elektron secara konsisten. Peningkatan kerapatan elektron plasma dapat dibagi menjadi tiga tahap. Tahap pertama, energi yang menuju plasma terhalang oleh potensial kesetimbangan yang berakibat kerapatan elektron tetap tidak berubah dan terganggu oleh faktor eksternal dalam skala waktu yang singkat. Tahap kedua, terjadi efek longoran, dan kerapatan elektron meningkat pesat hingga melebihi nilai batasnya. Pada tahap ketiga, peningkatan kerapatan elektron meningkatkan kemampuan yang membuat plasma tahan gelombang mikro dan akhirnya mencapai keseimbangan dinamis yang mendukung pertumbuhan kerapatan elektron.

## REFERENSI

1. Samal, S. (2017). Thermal plasma technology: The prospective future in

- material processing. *Journal of cleaner production*, **142**, 3131–3150.
2. Bahri, M., & Haghghat, F. (2014). Plasma-Based Indoor Air Cleaning Technologies: The State of the Art-Review. *CLEAN–Soil, Air, Water*, **42**(12), 1667–1680.
  3. Guć, M., Reszke, E., Cegłowski, M., & Schroeder, G. (2020). Construction of Plasma Ion Sources to be Applied in Analysis of Small Organic Compounds Using Mass Spectrometry. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, **40**, 235–260.
  4. Da Silva, C. L., Sonnenfeld, R. G., Edens, H. E., Krehbiel, P. R., Quick, M. G., & Koshak, W. J. (2019). The plasma nature of lightning channels and the resulting nonlinear resistance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **124**(16), 9442–9463.
  5. Menéndez, J. A., Juárez-Pérez, E. J., Ruisánchez, E., Bermúdez, J. M., & Arenillas, A. (2011). Ball lightning plasma and plasma arc formation during the microwave heating of carbons. *Carbon*, **49**(1), 346–349.
  6. Rincón, R., Marinas, A., Muñoz, J., Melero, C., & Calzada, M. D. (2016). Experimental research on ethanol-chemistry decomposition routes in a microwave plasma torch for hydrogen production. *Chemical Engineering Journal*, **284**, 1117–1126.
  7. Wali, W. A. (2020). Carbon dioxide conversion control based on microwave plasma technology. *2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 1–4.
  8. Chen, Z., Yin, Z., Chen, M., Hong, L., Xia, G., Hu, Y., ... & Kudryavtsev, A. A. (2014). Self-consistent fluid modeling and simulation on a pulsed microwave atmospheric-pressure argon plasma jet. *Journal of Applied Physics*, **116**(15).
  9. Baeva, M., Andrasch, M., Ehlbeck, J., Weltmann, K. D., & Loffhagen, D. (2014). Study of the spatiotemporal evolution of microwave plasma in argon. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **42**(10), 2774–2775.
  10. Nowakowska, H., Jasiński, M., & Mizeraczyk, J. (2013). Modelling of discharge in a high-flow microwave plasma source (MPS). *The European Physical Journal D*, **67**, 1–8.
  11. Nowakowska, H., Jasinski, M., Debicki, P. S., & Mizeraczyk, J. (2011). Numerical analysis and optimization of power coupling efficiency in waveguide-based microwave plasma source. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **39**(10), 1935–1942.
  12. Yang, Y., Hua, W., & Guo, S. Y. (2014). Numerical study on microwave-sustained argon discharge under atmospheric pressure. *Physics of Plasmas*, **21**(4).
  13. Arcese, E., Rogier, F., & Boeuf, J. P. (2017). Plasma fluid modeling of microwave streamers: Approximations and accuracy. *Physics of Plasmas*, **24**(11).
  14. Gudmundsson, J. T., Kawamura, E., & Lieberman, M. A. (2013). A benchmark study of a capacitively coupled oxygen discharge of the oopd1 particle-in-cell Monte Carlo code. *Plasma Sources Science and Technology*, **22**(3), 035011.
  15. Miotk, R., Jasiński, M., & Mizeraczyk, J. (2018). Electromagnetic optimisation of a 2.45 GHz microwave plasma source operated at atmospheric pressure and designed for hydrogen production. *Plasma Sources Science and Technology*, **27**(3), 035011.
  16. Mizeraczyk, J., Jasiński, M., Nowakowska, H., & Dors, M. (2012). Studies of atmospheric-pressure microwave plasmas used for gas processing. *Nukleonika*, **57**, 241–247.
  17. Wu, Z., Liang, R., Nagatsu, M., & Chang, X. (2016). The Characteristics of Columniform Surface Wave Plasma Excited Around a Quartz Rod by 2.45 GHz

- Microwaves. *Plasma Science and Technology*, **18**(10), 987.
18. Morgan. (2022). *Morgan database*. Diakses pada 29 Agustus 2022, URL: [www.lxcat.net](http://www.lxcat.net).
  19. Biagi. (2022). *Biagi database*. Diakses pada 29 Agustus 2022, URL: [www.lxcat.net](http://www.lxcat.net).
  20. Triniti. (2022). *Triniti database*. Diakses pada 29 Agustus 2022, URL: [www.lxcat.net](http://www.lxcat.net).
  21. Itikawa. (2022). *Itikawa database*. Diakses pada 29 Agustus 2022, URL: [www.lxcat.net](http://www.lxcat.net).
  22. Lebedev, Y. A., & Epshtein, I. L. (1995). Simulation of microwave plasma in hydrogen. *Journal-Moscow Physical Society*, **5**, 103–120.
  23. Zhigang, L. I., Zhongcai, Y. U. A. N., Jiachun, W. A. N. G., & Jiaming, S. H. I. (2017). Simulation of propagation of the HPM in the low-pressure argon plasma. *Plasma Science and Technology*, **20**(2), 025401.
  24. Meindl, A., Loehle, S., Kistner, I., Schulz, A., & Fasoulas, S. (2019). Two-Photon Induced Polarization Spectroscopy for Atomic Oxygen in Atmospheric Plasma and Xenon. *AIAA Scitech 2019 Forum*, 1506.
  25. Georgieva, V., Berthelot, A., Silva, T., Kolev, S., Graef, W., Britun, N., ... & Delplancke-Ogletree, M. P. (2017). Understanding microwave surface-wave sustained plasmas at intermediate pressure by 2D modeling and experiments. *Plasma processes and polymers*, **14**(4-5), 1600185.
  26. Nowakowska, H., Jasinski, M., Debicki, P. S., & Mizeraczyk, J. (2011). Numerical analysis and optimization of power coupling efficiency in waveguide-based microwave plasma source. *IEEE Transactions on Plasma Science*, **39**(10), 1935–1942.



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

## PREDIKSI INDEKS NITROGEN DIOKSIDA ( $\text{NO}_2$ ) MENGGUNAKAN MODEL NEURALPROPHET STUDI KASUS DKI JAKARTA

**Jhon Paul Estomihi Togatorop\***, Risang Bayu Firdaush, Yosafat Donni Haryanto

Jurusan Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

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

### ABSTRACT

*Nitrogen dioxide gas ( $\text{NO}_2$ ) is one of the air quality parameters that can delay nerve recovery after a stroke. DKI Jakarta as the Capital City of the State of Indonesia continues to experience an increase in population which is marked by an increase in the number of motorized vehicles and infrastructure development. Air quality prediction, especially  $\text{NO}_2$ , is important as an anticipatory step in detecting air pollution, especially if the measuring instrument is damaged. This study uses standard air pollutant index (ISPU) data as a time series from 2018 – 2021 to predict the  $\text{NO}_2$  index in 2022 using the NeuralProphet model. The NeuralProphet model which was designed with parameters of 1000 epochs, learning rate of 0.10, proportion validation of 0.10, and daily frequency produced MAE and RMSE models from the training data of 5.426610 and 7.977689. MAE validation and validation RMSE from the proportion of 0.10 tasting data were 27.762064 and 35.434227. The prediction of the  $\text{NO}_2$  index for 365 days resulting from the NeuralProphet model shows that the  $\text{NO}_2$  index experiences an increasing trend which is influenced by seasonal events both annually and weekly. Affecting annual seasons, such as national holidays and monsoon rain patterns. The national holidays in question, such as New Year's Day, Lunar New Year's Day, and Christmas Day, trigger an increase in traffic flow. The peak of the  $\text{NO}_2$  index occurred in February and December, while the  $\text{NO}_2$  index weakened as it entering October.*

**Keywords:** Air Quality, NeuralProphet,  $\text{NO}_2$ , Prediction.

### ABSTRAK

*Gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) merupakan salah satu parameter kualitas udara yang dapat menunda pemulihan saraf setelah stroke. DKI Jakarta sebagai Ibu Kota Negara Indonesia terus mengalami peningkatan jumlah penduduk yang ditandai dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan pembangunan infrastruktur. Prediksi kualitas udara khususnya  $\text{NO}_2$  menjadi penting sebagai langkah antisipatif dalam mendeteksi pencemaran udara terutama jika alat ukur mengalami kerusakan. Penelitian ini menggunakan data indeks standar pencemar udara (ISPU) sebagai deret waktu dari tahun 2018 – 2021 untuk memprediksi indeks  $\text{NO}_2$  tahun 2022 menggunakan model NeuralProphet. Model NeuralProphet yang dirancang dengan parameter 1000 epochs, learning rate 0.10, proportion validation 0.10, dan frekuensi harian menghasilkan MAE dan RMSE model dari data yang di training sebesar 5.426610 dan 7.977689. MAE validasi dan RMSE validasi dari proporsi 0.10 data tasting sebesar 27.762064 dan 35.434227. Prediksi indeks  $\text{NO}_2$  selama 365 hari yang dihasilkan dari model NeuralProphet menunjukkan bahwa indeks  $\text{NO}_2$  mengalami tren peningkatan yang dipengaruhi kejadian musiman baik tahunan maupun mingguan. Musim tahunan yang mempengaruhi diantaranya adalah hari libur nasional dan pola hujan monsun. Libur nasional yang dimaksud seperti Tahun Baru, Tahun Baru Imlek, dan Hari Raya Natal dimana memicu meningkatnya arus lalu lintas. Puncak Indeks  $\text{NO}_2$  terjadi pada bulan Februari dan Desember, sebaliknya indeks  $\text{NO}_2$  melemah ketika memasuki bulan Oktober.*

**Kata kunci:** Kualitas Udara, NeuralProphet,  $\text{NO}_2$ , Prediksi.

Diterima 17-01-2023 | Disetujui 02-11-2023 | Dipublikasi 30-12-2023

## PENDAHULUAN

Ibu kota Republik Indonesia yang dikenal dengan sebutan Daerah Khusus Ibukota Jakarta ini terdiri dari lima komunitas perkotaan dan memiliki jumlah penduduk yang terus bertambah dan tidak diimbangi dengan luas wilayah. Dengan asumsi jumlah penduduk bertambah 1 orang, hal ini akan diikuti oleh peningkatan jumlah kendaraan mekanis sebesar 0,058 unit [1]. Peningkatan jumlah kendaraan yang melintas dapat menyebabkan penyebaran polusi udara yang berpotensi menurunkan mutu udara [2]. Peningkatan jumlah kendaraan sejalan dengan peningkatan jumlah emisi yang diciptakan [3].

Pencemaran udara bisa dijelaskan sebagai situasi iklim di mana konsentrasi zat-zat di atmosfer meningkat secara signifikan, melampaui tingkat normal di sekitarnya, dan berpotensi memengaruhi manusia, makhluk hidup, tumbuhan, dan bahan lainnya [4]. Untuk memahami pencemaran udara, telah dikembangkan indeks standar pencemar udara (ISPU). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), ISPU adalah suatu nilai tanpa satuan yang mencerminkan kondisi kualitas udara pada suatu wilayah dan waktu tertentu, dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap kesehatan manusia, nilai tambah, dan organisme lainnya.

Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) adalah salah satu parameter penilaian kualitas udara yang, apabila berinteraksi dengan air di atmosfer, mampu membentuk asam nitrat yang berpotensi menyebabkan hujan korosif [6].  $\text{NO}_2$  juga dapat menghambat proses pemulihan kemampuan saraf setelah *stroke* dan meningkatkan risiko terjadinya demensia vaskular (VAD) [7]. Konsentrasi  $\text{NO}_2$  cenderung meningkat seiring dengan intensifikasi aktivitas lalu lintas, terutama karena pertumbuhan jumlah kendaraan bermesin [8].

Kendaraan bermotor berkontribusi sebanyak 85% terhadap polusi udara di wilayah metropolitan Indonesia [9]. Polusi dari sektor industri melibatkan kandungan gas karbon monoksida (CO) sebanyak 70,50%, sulfur

oksida ( $\text{SO}_2$ ) sebanyak 0,9%, dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) sebanyak 8,9% [10].

Penelitian ini bertujuan untuk memprakirakan indeks  $\text{NO}_2$  di DKI Jakarta dengan menggunakan model NeuralProphet. Model ini benar-benar dapat diandalkan dalam pengukuran deret waktu karena mempertimbangkan data tambahan seperti tren, musiman, dan kejadian berulang [11]. Konsekuensi dari prediksi ini dapat digunakan sebagai langkah awal dalam mengidentifikasi kontaminasi udara, terutama jika instrumen monitoring rusak. Model NeuralProphet seharusnya mendapatkan hasil ekspektasi  $\text{NO}_2$  yang baik dengan diperolehnya *root mean square error* (RMSE) dan *mean absolute error* (MAE) dari data latih dan validasi yang rendah dan tidak sepenuhnya berbeda.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Peramalan Deret Waktu

Prediksi digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam proses pengambilan keputusan dalam perencanaan jangka panjang [12]. Menurut Hyndman dan rekan-rekannya, keberhasilan model prediksi sangat tergantung pada tingkat ketersediaan informasi, di mana jika terdapat sejumlah besar informasi yang tidak dapat diakses atau tidak dapat diterapkan, maka pendekatan penilaian subjektif harus diterapkan [12]. Sebaliknya, apabila informasi tersebut dapat diakses dan signifikan, pendekatan kuantitatif sebaiknya digunakan. Salah satu contoh strategi kuantitatif adalah penggunaan deret waktu. Deret waktu menyajikan data matematis mengenai masa lalu dan menyediakan pola yang dapat diidentifikasi serta contoh yang dapat diperhitungkan di masa depan [12]. Deret waktu memiliki elemen-elemen seperti tren, musiman, dan siklus yang dapat diidentifikasi.

1. Pola muncul ketika terjadi kenaikan atau penurunan data dalam suatu rangkaian waktu yang berlangsung terus-menerus.
2. Musiman terjadi ketika rangkaian periode dipengaruhi oleh faktor-faktor sesekali

seperti tujuh hari, bulan, atau tahun. Musiman terjadi ketika informasi menunjukkan poin tinggi dan poin rendah dibandingkan dengan pengulangan yang layak.

- Peristiwa berulang umumnya diinduksi oleh perubahan kondisi keuangan dan seringkali terkait dengan perputaran bisnis. Siklus biasanya timbul sebagai akibat dari fluktuasi variabel yang menjadi fokus pertanyaan.

### NeuralProphet

Model NeuralProphet memiliki kesamaan yang signifikan dengan model Facebook Prophet, mampu menghadapi permasalahan dengan kemampuan prediksi [13]. Model ini dibuat untuk mengatasi kelemahan Facebook Prophet seperti terjemahan dan desain. NeuralProphet memberikan ekstensibilitas yang lebih besar, misalnya pembedaan terprogram dengan PyTorch sebagai backend. NeuralProphet dibuat dalam suatu struktur yang terukur, dengan tujuan agar dalam penarikannya dapat diperbesar dengan baik untuk menambahkan beberapa bagian baru [14].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Triebe dan rekan-rekannya, konsep utama dari model NeuralProphet adalah komposisi yang bersifat partikular, di mana setiap modul akan disisipkan ke dalam bagian tambahan yang selanjutnya digunakan untuk melakukan prediksi [14]. Beberapa bagian dapat dirancang untuk diskalakan berdasarkan pola, sehingga menghasilkan dampak multiplikatif [13]. Setiap modul memiliki umpan balik dan siklus modelnya sendiri. Namun, seluruh modul harus menghasilkan jumlah kemajuan yang diwakili oleh  $h$ , yang akan diprediksi di masa mendatang. Hal ini terlepas dari nilai yang diantisipasi  $y^*_t, \dots, y^*_{(t+h-1)}$  untuk nilai masa depan  $y^*_t, \dots, y^*_{(t+h-1)}$ . Jika model tersebut hanya bergantung pada waktu, jumlah estimasi yang tidak teratur dapat dilakukan. Campuran yang menyertainya sebanding dengan ramalan satu langkah ke depan dengan  $h=1$  (lihat kondisi 1).

$$\hat{y}_t = T(t) + S(t) + E(t) + F(t) + A(t) + L(t) \quad (1)$$

Keterangan:

$T(t)$  : Fungsi pola dalam deret waktu.

$S(t)$  : Fungsi musiman dalam waktu  $t$ .

$E(t)$  : Fungsi *event* dan hari libur pada saat  $t$ .

$F(t)$  : Fungsi regresi pada waktu  $t$  untuk faktor eksogen yang telah diketahui sebelumnya.

$A(t)$  : Fungsi autoregresi pada waktu  $t$  dengan mempertimbangkan informasi dari masa lalu.

$L(t)$  : Fungsi regresi pada waktu  $t$  untuk menggambarkan pengaruh tertunda dari faktor eksogen.

$\hat{y}_t$  : Hasil prediksi.

Semua komponen modul dapat dirancang dan disatukan untuk membentuk model. Jika tidak semua modul digunakan, batas statis akan diterapkan sebagai elemen dari pola. Secara alamiah, yang pertama kali dibentuk hanyalah model untuk pola dan komponen musiman [14].

### Root Mean Square Error

*Root mean square error* (RMSE) merupakan suatu jenis kesalahan yang tergantung pada skala dan tidak dapat dibandingkan secara langsung antar skala yang berbeda. Untuk mengatasi hal ini, perbaikan RMSE melibatkan pembuatan akar kuadrat dari perbedaan antara nilai yang diharapkan dan nilai sebenarnya, membentuk dasar yang bersifat umum untuk kualitas yang diantisipasi dan kualitas sebenarnya (lihat kondisi 2) [13].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Keterangan:

$n$  : Banyaknya data

$y_i$  : Nilai asli

$\hat{y}_i$  : Nilai perkiraan

### **Mean Absolute Error**

*Mean absolute error* (MAE) digunakan untuk menghitung nilai rata-rata antara nilai aktual dalam seri waktu dan nilai yang diprediksi. MAE dikenal karena kesalahannya berskala, di mana evaluasi kesalahan tergantung pada nilai skala dan tidak dapat dibandingkan secara langsung antar skala yang berbeda. Untuk mengatasi ini, penyesuaian MAE melibatkan normalisasi nilai terhadap nilai yang diprediksi, dan setelah itu, menghilangkan nilai absolut dari kualitas negatif. Selanjutnya, jumlahkan semua nilai tersebut dan bagi dengan jumlah total observasi  $n$  (lihat kondisi 3) [13].

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|}{n} \quad (3)$$

Keterangan:

$n$  : Banyaknya data

$y_i$  : Nilai asli

$\hat{y}_i$  : Nilai prediksi

## **METODE PENELITIAN**

### **Gambaran Umum**

Metode penelitian bermanfaat untuk menjelaskan langkah-langkah yang akan diambil dalam mengumpulkan dan menjelajahi informasi. Berikut adalah prosedur untuk menyusun daftar ekspektasi terkait  $NO_2$  dengan memanfaatkan model NeuralProphet:

### **Tinjauan Literatur**

Tinjauan literatur dilakukan untuk mengeksplorasi faktor-faktor yang mendukung penyelesaian masalah penelitian ini. Ini mencakup pemahaman tentang NeuralProphet, indeks standar pencemar udara (ISPU), RMSE, dan MAE.

### **Analisis**

Tahapan ini dilakukan untuk membedah persyaratan yang akan digunakan sebelum membuat model prediksi, seperti pengumpulan

informasi dan rencana model. Model rencana dibuat dengan menggunakan *flowchart*.

### **Eksekusi Model**

Interaksi pelaksanaan selesai setelah siklus pemeriksaan selesai. Konsekuensi dari rencana tersebut dijadikan sebuah program. Berikut ini adalah keseluruhan eksekusi NeuralProphet:

- (a) Penelaahan informasi diselesaikan sebelum menyiapkan model train, misalnya, mengubah tanda dan selanjutnya mencocokkan desain tanggal.
- (b) Pemisahan data dilakukan untuk membagi antara data latih dan data uji.
- (c) Model dibuat dengan melatihnya menggunakan data latih.
- (d) Model melakukan prediksi dengan membandingkan hasil prediksinya dengan data uji.

### **Uji dan Evaluasi**

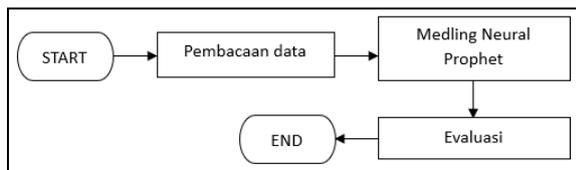
Setelah proses implementasi selesai, perlu diuji apakah model NeuralProphet memenuhi standar kesalahan yang diterima. Proses pengujian melibatkan pengukuran RMSE dan MAE untuk setiap model.

### **Pencatatan Data**

Dataset yang digunakan berasal dari sumber yang tersedia di ([data.jakarta.go.id](http://data.jakarta.go.id)). Pengumpulan data diselesaikan melalui proses *scrapping*, yang merupakan metode umum untuk mengambil informasi dan data secara langsung dari suatu situs web. Dataset ini merupakan data ISPU yang diukur melalui lima stasiun pemantau kualitas udara di Provinsi DKI Jakarta selama periode tahun 2018 – 2021.

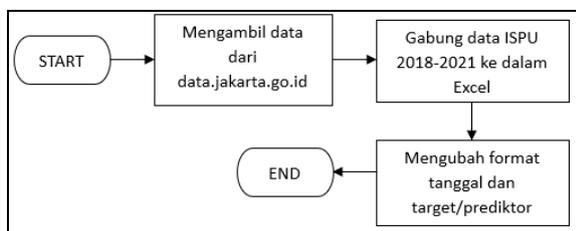
### **Pembuatan Model**

Model dibuat dengan mengilustrasikan alur kerja menggunakan *flowchart*. Diagram alur yang digambarkan berisi cara paling umum untuk memahami data, demonstrasi NeuralProphet, dan penilaian model. Berikut proses kerja modelnya.



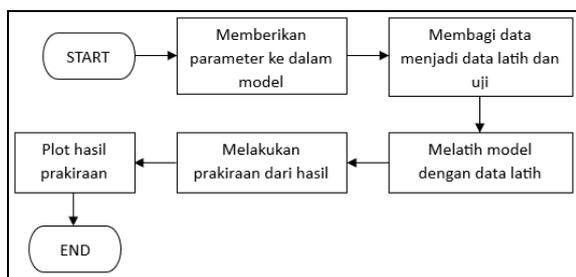
**Gambar 1.** Flowchart prediksi indeks NO<sub>2</sub>.

Gambar 1 menjelaskan rencana model NeuralProphet. Interaksi utamanya adalah membaca informasi, hal ini diharapkan dapat menjamin bahwa informasi yang ditangani mengikuti format, khususnya tanggal (datetime64[ns]) dan indeks NO<sub>2</sub> (float64). Kemudian pada saat itu dilakukan demonstrasi NeuralProphet yang terakhir menilai ekspektasi NeuralProphet menggunakan RMSE dan MAE.



**Gambar 2.** Flowchart pembacaan data.

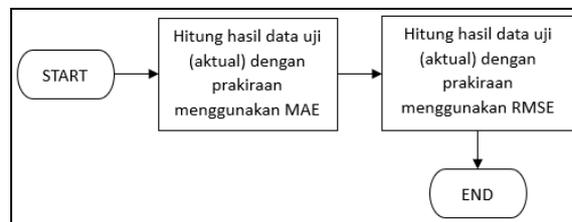
Gambar 2 menjelaskan proses kerja untuk memahami informasi. Yang pertama mengambil informasi dari (data.jakarta.go.id) dengan menggunakan metode *scrapping* tahun 2018 – 2021. Data tanggal diubah menjadi *ds* dan data indeks NO<sub>2</sub> diubah menjadi *y*. Terakhir adalah menambah efek *holidays*, yaitu hari libur nasional.



**Gambar 3.** Flowchart model NeuralProphet.

Ilustrasi pada Gambar 3 menggambarkan langkah-langkah operasional model NeuralProphet. Dimulai dengan menetapkan parameter awal ke dalam NeuralProphet, yaitu *seasonality*, *epochs*, *learning\_rate*, *frequency*, dan *validation proportion*. Lalu memisahkan

*dataset* menjadi data latihan dan data uji agar model tersebut dapat dilatih berdasarkan parameter yang diinput dimana saah satunya adalah *frequency daily* (harian). Kemudian melakukan *plot* hasil prediksi, tren, dan musiman.



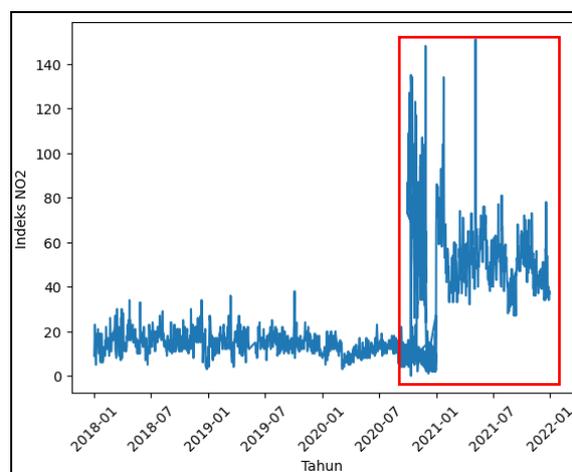
**Gambar 4.** Flowchart evaluasi model.

Gambar 4 menjelaskan algoritma dari penilaian model. Evaluasi model menggunakan RMSE dan MAE.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Deret Waktu Indeks NO<sub>2</sub> DKI Jakarta Tahun 2018 – 2021

*Dataset* indeks NO<sub>2</sub> yang telah digabungkan menjadi kumpulan data deret waktu di-*plot* dalam bentuk grafik (lihat Gambar 5). Sebelum di-*plot*, data tersebut diubah ke dalam format *ds* (tanggal) dan *y* (indeks NO<sub>2</sub>). Secara *time series*, indeks NO<sub>2</sub> mengalami peningkatan pada Oktober 2020 hingga akhir tahun 2021, hal ini dipengaruhi oleh kondisi pasca Covid-19 yang mulai memasuki keadaan normal baru.



**Gambar 5.** Time series indeks NO<sub>2</sub> Tahun 2018 – 2021 di DKI Jakarta.

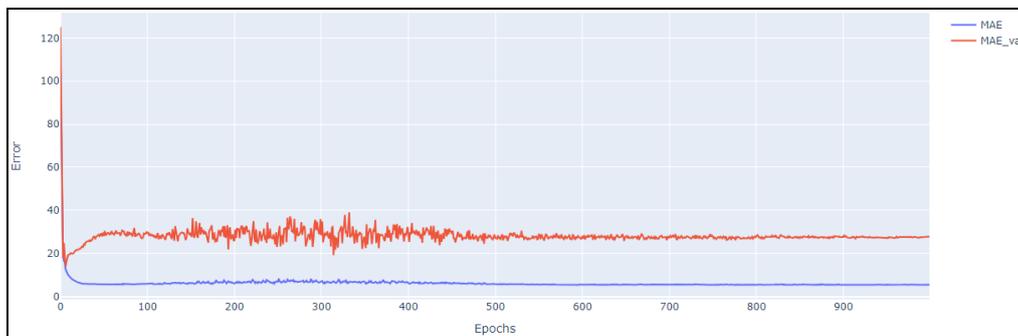
### Training dan Testing Model NeuralProphet

*Datasets* yang telah berformat *ds* dan yselanjutnya digunakan untuk *training* dan *testing* model NeuralProphet. *Training* model dilakukan dengan frekuensi harian dimana proporsi data untuk *testing* sebesar 0.10 dan model dilatih sebanyak 1000 *epochs* dengan *learning\_rate* 0.10. Untuk menguji sebearapa akurat *training* dan *testing* dilakukan uji akurasi MAE dan RMSE (lihat Gambar 6, 7, dan 8). Nilai MAE dan RMSE saat model di *training*

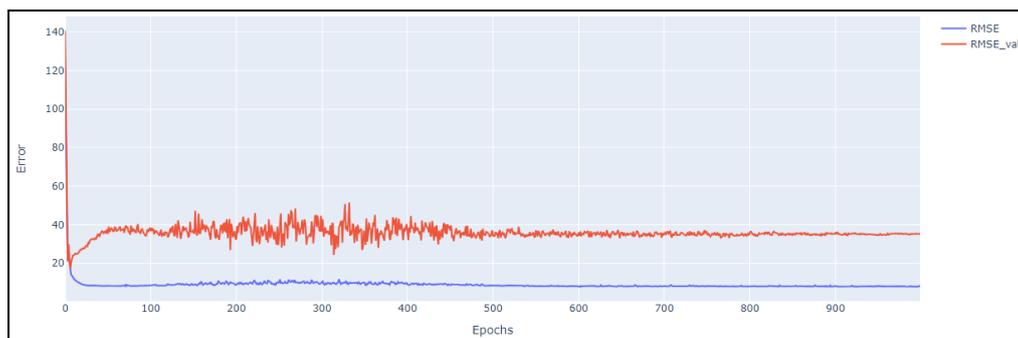
hingga 1000 *epoch* adalah 5.426610 dan 7.977689, sedangkan nilai MAE dan RMSE saat dilakukan *testing/validasi* dari data yang sebelumnya tidak dikenal dengan proporsi 10% (*value\_p* = 0,1) adalah 27.762064 dan 35.434227. Perbandingan antara MAE vs MAE validasi dan RMSE dan RMSE validasi dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8 di mana nilai MAE validasi dan RMSE validasi terletak di atas MAE dan RMSE. Hal ini cukup wajar dikarenakan jumlah dataset yang digunakan terbatas.

	MAE_val	RMSE_val	Loss_val	RegLoss_val	epoch	MAE	RMSE	Loss	RegLoss
0	125.060806	140.634964	1.936299	0.0	0	106.741211	128.284210	1.291211	0.0
1	88.369408	93.009949	1.322823	0.0	1	70.772522	82.642700	0.819454	0.0
2	45.184895	46.385674	0.603082	0.0	2	43.010639	48.585693	0.447237	0.0
3	17.758545	21.040117	0.171275	0.0	3	20.358318	25.150986	0.168799	0.0
4	24.887346	29.903927	0.282606	0.0	4	16.567318	21.581352	0.138375	0.0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
995	27.673189	35.314503	0.329165	0.0	995	5.407756	7.902212	0.022271	0.0
996	27.698721	35.351849	0.329538	0.0	996	5.353745	7.743641	0.022102	0.0
997	27.568144	35.182060	0.327464	0.0	997	5.454650	8.018410	0.022766	0.0
998	27.526150	35.137211	0.326882	0.0	998	5.555616	8.104799	0.023716	0.0
999	27.762064	35.434227	0.330625	0.0	999	5.426610	7.977689	0.022841	0.0

Gambar 6. Metrics model NeuralProphet hasil *training* dan *testing* data.



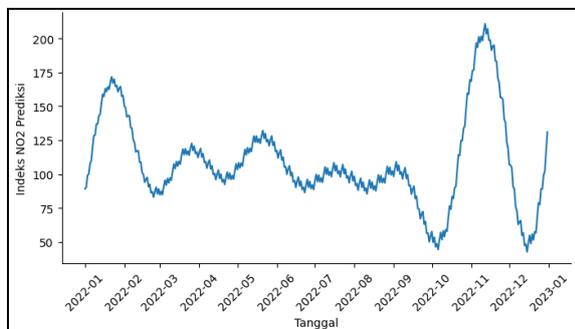
Gambar 7. Grafik MAE *training* (biru) vs MAE *testing* (merah).



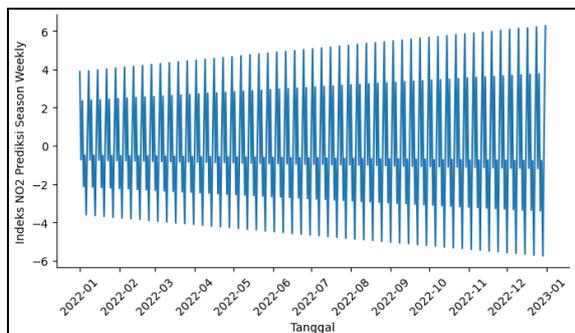
Gambar 8. Grafik RMSE *training* (biru) vs RMSE *testing* (merah).

## Prediksi Indeks NO<sub>2</sub> Tahun 2022

Model NeuralProphet yang telah dilakukan *training* dan *testing* kemudian dilakukan prediksi dengan periode 365 hari (= 1 tahun) dengan mempertimbangkan MAE, RMSE, MAE validasi, dan RMSE validasi. Data prediksi disajikan dalam bentuk grafik deret waktu yang disajikan dalam Gambar 9. Bentuk atau pola grafik tersebut serupa dengan pola *yearly seasonality* (lihat Gambar 11) di mana indeks NO<sub>2</sub> mengalami dua puncak sekitar bulan Februari dan Desember. Hal ini berkaitan dengan adanya peristiwa khusus yang terjadi setiap tahunnya pada bulan tersebut yang memicu peningkatan aktivitas lalu lintas seperti, Tahun Baru, Tahun Baru Imlek, Isra Mikraj Nabi Muhammad, Hari Ibu, dan Hari Raya Natal. Di samping itu juga, DKI Jakarta memiliki tipe hujan monsun dimana memiliki satu puncak musim hujan pada bulan Desember, Januari, dan Februari untuk tiap tahunnya. Selain memiliki puncak, indeks NO<sub>2</sub> juga diprediksi memiliki lembah pada bulan Maret dan Oktober.

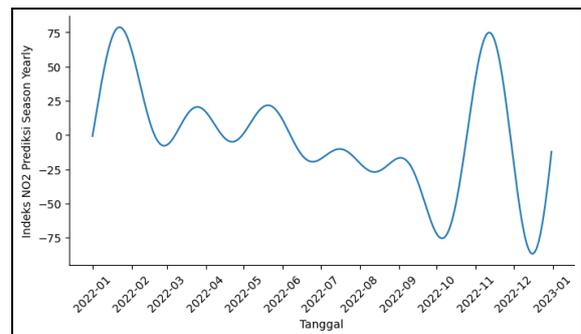


**Gambar 9.** Grafik prediksi indeks NO<sub>2</sub> DKI Jakarta Tahun 2022.

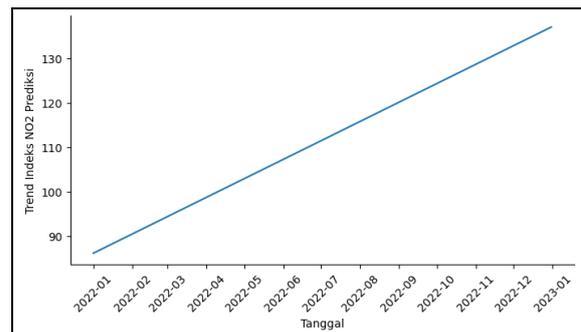


**Gambar 10.** Grafik *weekly seasonality* dari komponen prediksi.

Model NeuralProphet memprediksi musim mingguan terlihat pada Gambar 10 dimana tiap minggunya dalam periode satu tahun diproyeksikan terus mengalami peningkatan. Tren peningkatan juga disajikan dalam Gambar 12 dimana indeks NO<sub>2</sub> diproyeksikan akan mengalami peningkatan sekitar 90 – 130 satuan ISPU pada tahun 2022.



**Gambar 11.** Grafik *yearly seasonality* dari komponen prediksi.



**Gambar 12.** Grafik tren dari komponen prediksi.

## KESIMPULAN

Model NeuralProphet yang dirancang dengan parameter 1000 *epochs*, *learning rate* 0.10, *proportion validation* 0.10, dan frekuensi harian menghasilkan MAE dan RMSE model dari data yang di *training* sebesar 5.426610 dan 7.977689. Dari proporsi 0.10 *datasets* dilakukan *testing* yang menghasilkan MAE validasi dan RMSE validasi sebesar 27.762064 dan 35.434227. Prediksi indeks NO<sub>2</sub> selama 365 hari yang dihasilkan dari model NeuralProphet menunjukkan bahwa indeks NO<sub>2</sub> mengalami tren peningkatan yang dipengaruhi kejadian musiman baik tahunan maupun mingguan. Musim tahunan yang mempengaruhi indeks NO<sub>2</sub> diantaranya hari libur nasional dan

pola hujan monsun di wilayah DKI Jakarta. Libur nasional yang dimaksud diantaranya Tahun Baru, Tahun Baru Imlek, dan Hari Raya Natal dimana memicu meningkatnya arus lalu lintas. Puncak Indeks NO<sub>2</sub> terjadi pada bulan Februari dan Desember, sebaliknya lembah indeks NO<sub>2</sub> berada pada bulan Oktober.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, terutama kepada Dinas Komunikasi, Informatika, dan Statistik, yang telah memberikan dukungan berupa data indeks standar pencemar udara (ISPU) dengan akses terbuka melalui situs data.jakarta.go.id. Juga, terima kasih kepada semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas dukungan moral yang diberikan.

## REFERENSI

1. Putra, W. (2022). Pengaruh Jumlah Penduduk dan Panjang Jalan terhadap Pertumbuhan Ekonomi melalui Pertambahan Jumlah Kendaraan. *Prosiding Seminar Nasional Seminar Akademik Tahunan Ilmu Ekonomi dan Studi Pembangunan*, **5**, 170–179.
2. Putranto, L. S. (2008). *Rekayasa Lalu Lintas*. Jakarta: PT. Macanan Jaya Cemerlang.
3. Rohidin. (2011). *Emisi Gas Buang Kendaraan*. Diakses pada tanggal 19 November 2023, URL: <http://viarohidinthea.blogspot.com/2011/05/emisi-gasbuang.html>.
4. Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry of Air Pollution*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
5. Indonesia, P. R. (1999). Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Lembaran Negara RI Tahun*, **86**.
6. Alfiah, T. (2009). *Oksida-Oksida Nitrogen*. Surabaya: Institut Teknologi Adhi Tama.
7. Li, H., & Xin, X. (2013). Nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>) pollution as a potential risk factor for developing vascular dementia and its synaptic mechanisms. *Chemosphere*, **92**(1), 52–58.
8. Kiswandono, A. A. (2017). Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Di Tiga Lokasi Kota Bandar Lampung. *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, **2**(1), 42–51.
9. Ruslinda, Y., Gunawan, H., Goembira, F., & Wulandari, S. (2016). Pengaruh jumlah kendaraan berbahan bakar bensin terhadap konsentrasi timbal (Pb) di udara ambien jalan raya kota Padang. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan II*, **2541**, 3880.
10. Sugiarti, G. P. U. (2009). Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia. *Jurnal Chemica*, **10**, 50–58.
11. Mavuduru, A. (2020). How to use Facebook's NeuralProphet and why it's so powerful. Diakses pada 07 Januari 2023, URL: <https://towardsdatascience.com/how-to-use-facebooks-neuralprophet-and-why-it-s-so-powerful-136652d2da8b>.
12. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: principles and practice*. Otexts.
13. Wijaya, E. Y. (2022). *Implementasi Model Neural Prophet untuk Memprediksi Kasus Covid-19 di Indonesia*. Disertasi Informatika, Universitas Multimedia Nusantara.
14. Triebe, O., Hewamalage, H., Pilyugina, P., Laptev, N., Bergmeir, C., & Rajagopal, R. (2021). Neuralprophet: Explainable forecasting at scale. arXiv preprint arXiv:2111.15397.



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

## SINTESIS KARBON AKTIF BERBASIS BIOMASSA SERAT BINTARO SEBAGAI BAHAN ELEKTRODA UNTUK APLIKASI SEL SUPERKAPASITOR

Aria Yunita\*, Rakhmawati Farma, Awitdrus, Irma Apriyani

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: [aria.yunita7524@grad.unri.ac.id](mailto:aria.yunita7524@grad.unri.ac.id)

### ABSTRACT

*Biomass-based activated carbon has been widely developed due to its environmental friendliness, abundant availability, porous structure, high specific surface area and good electrical conductivity. One of the ways to improve the performance of supercapacitor cells is to increase the carbonization temperature, so that in this study various carbonization temperatures were carried out at 500°C, 600°C and 700°C. The results showed that the carbonization temperature of 600°C was the optimum temperature for making SB-based activated carbon. This is indicated by the results of measuring the physical properties of SB-600 in the form of the lowest density shrinkage value which can increase porosity thereby increasing the performance of supercapacitor cells. From this study, the highest capacitance value of 213 F.g<sup>-1</sup> was found on the SB-600. The results obtained indicate that the selection of the optimum carbonization temperature is important and can improve the performance of supercapacitor cells.*

**Keywords:** Activated Carbon, Bintaro Fruit Fiber, Carbonization, Supercapacitor.

### ABSTRAK

*Bahan karbon aktif berbasis biomassa banyak dikembangkan karena sifatnya yang ramah lingkungan, ketersediaan melimpah, strukturnya berpori, luas permukaan spesifiknya tinggi dan konduktivitas listrik baik. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja dari sel superkapasitor adalah dengan meningkatkan suhu karbonisasi, sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi suhu karbonisasi pada 500°C, 600°C dan 700°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu karbonisasi 600°C merupakan suhu yang optimum dalam pembuatan karbon aktif berbasis CMF. Hal tersebut ditunjukkan dengan hasil pengukuran sifat fisis dari SB-600 berupa nilai penyusutan densitas terendah yang dapat meningkatkan porositas sehingga meningkatkan kinerja sel superkapasitor. Dari penelitian ini, nilai kapasitansi tertinggi yaitu sebesar 213 F.g<sup>-1</sup> ditemukan pada SB-600. Hasil yang didapatkan ini menunjukkan bahwa pemilihan suhu karbonisasi yang optimum merupakan satu hal yang penting dan dapat meningkatkan kinerja sel superkapasitor.*

**Kata kunci:** Karbon Aktif, Serat Bintaro, Karbonisasi, Superkapasitor.

Diterima 17-01-2023 | Disetujui 14-04-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Permintaan energi di seluruh dunia terus meningkat, sehingga konsumsi energi juga meningkat, dimana sebagian besar sumber energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil [1]. Konsumsi bahan bakar fosil menyebabkan polusi dan pemanasan global, sehingga dibutuhkan energi yang bersih dan terbarukan. Para peneliti di seluruh dunia melakukan

pengeksplorasian terhadap teknologi energi hijau untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil dan dampak buruknya [2]. Sumber energi bersih dan terbarukan seperti energi matahari, angin dan air masih memiliki masalah yaitu bergantung pada waktu dan kondisi cuaca, dan mungkin tidak tersedia saat dibutuhkan, sehingga perlu pengembangan teknologi penyimpanan energi yang sumber energinya melimpah dan tidak bergantung pada waktu dan

kondisi cuaca [3]. Untuk mengatasi masalah tersebut, superkapasitor telah menjadi perangkat konversi energi yang signifikan karena tingkat pengisian-pengosongan yang sangat cepat, kepadatan daya yang tinggi, ramah lingkungan, dan masa pakai yang lama [4]. Superkapasitor diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berdasarkan mekanisme penyimpanannya, yaitu *electric double layer capacitor* (EDLC), *pseudocapacitor* (PC) dan kombinasinya (superkapasitor hibrid). Mekanisme kerja EDLC berdasarkan proses *non-faradaic*, yaitu melalui akumulasi elektron pada antarmuka elektroda/elektrolit, PC berdasarkan proses *faradic* oleh reaksi redoks, dan superkapasitor hibrid dengan reaksi *non-faradic* di satu sisi dan reaksi *faradaic* di sisi yang lain [5,6].

Komponen penyusun superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus dan pemisah [7]. Elektroda memainkan peranan penting dalam mekanisme penyimpanan energi, sehingga perangkat penyimpanan superkapasitor bergantung pada sifat bahan elektrodanya [8,9]. Bahan elektroda yang umum digunakan pada EDLC adalah bahan berbasis karbon seperti karbon aktif, *carbon nanofiber*, *carbon nanotube*, dan *graphene* [10]. Bahan karbon aktif berbasis biomassa merupakan bahan yang banyak digunakan sebagai elektroda superkapasitor karena memiliki luas permukaan tinggi, melimpah, harga relatif murah, ramah lingkungan, dan memiliki kapasitansi tinggi [11,12]. Biomassa ini berupa limbah dari sumber daya hayati seperti kulit manggis [13], sabut kelapa [14], sisik ikan [15], dan kulit biji karet [16].

Bintaro (*cerbera manghas*) adalah tanaman yang tidak dapat dimakan karena terdapat kandungan racun sehingga tanaman ini juga dikenal dengan *suicide tree* [17]. Meskipun terdapat kandungan racun, tanaman bintaro banyak digunakan untuk penghijauan dan banyak ditemui di ruang terbuka hijau (RTH), tetapi buahnya masih belum dimanfaatkan dengan maksimal dan hanya menjadi limbah [18]. Dalam buah bintaro juga terdapat kandungan lognoseselulosa, sehingga buah

bintaro menarik untuk dijadikan bahan elektroda karbon sel superkapasitor [19].

Elektroda karbon disintesis melalui karbonisasi dan aktivasi. Reaksi antara bahan karbon aktif dengan aktivasi dan karbonisasi, dapat menentukan struktur berpori dari karbon aktif. Selain itu, melalui karbonisasi senyawa pengotor akan terurai sehingga didapatkan kandungan karbon yang tinggi. Jadi, salah satu yang terpenting untuk mengontrol struktur pori karbon adalah suhu karbonisasi, sehingga pemilihan suhu karbonisasi menjadi penting untuk mendapatkan produk karbon yang diinginkan [20].

Studi ini berfokus pada pembuatan karbon aktif yang diturunkan dari serat bintaro dengan pengoptimalan suhu karbonisasi untuk mencapai kinerja elektrokimia yang tinggi.

## METODE PENELITIAN

Sintesis karbon aktif berbasis biomassa serat bintaro (SB) melalui proses pra-karbonisasi, aktivasi kimia, karbonisasi dan aktivasi fisika. SB dibersihkan dan dikeringkan di bawah sinar matahari hingga massa konstan. SB yang telah bermassa konstan dilakukan pra-karbonisasi dengan suhu 200°C selama 1 jam, lalu dihaluskan untuk menghasilkan serbuk yang homogen dengan ukuran  $\leq 100$  mesh. Proses selanjutnya yaitu aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif KOH dengan konsentrasi 0,1 M, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C. Sampel yang telah kering dihaluskan kembali dan cetak berbentuk seperti koin menggunakan alat hidrolik pres. Selanjutnya dilakukan proses karbonisasi-aktivasi fisika dengan memasukkan sampel ke dalam furnace yang terintegrasi. Proses karbonisasi dengan mengalirkan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) pada suhu yang divariasikan yaitu 500°C, 600°C dan 700°C dan aktivasi fisika dengan mengalirkan gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada suhu 800°C. Setelah suhu furnace mencapai suhu ruang, sampel dikeluarkan dari furnace, kemudian dinetralkan menggunakan aquades hingga pH 7 dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110°C. Sampel yang telah

menjadi karbon aktif diberi kode SB-500, SB-600 dan SB-700.

Sel superkapasitor disusun seperti *sandwich* yang terdiri dari dua elektroda yang simetris, pemisah, elektrolit dan pengumpul arus. Sampel SB digunakan sebagai elektroda, kemudian ke dalam larutan elektrolit 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> selama 2 hari. Sampel SB dipisahkan oleh pemisah yang terbuat dari membran cangkang telur ayam dan muatan akan tersimpan di pengumpul arus yang terbuat dari stainless steel.

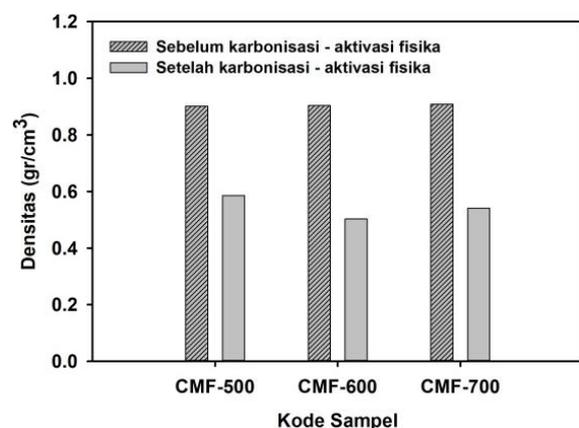
Pengukuran densitas karbon aktif SB dilakukan sebelum dan sesudah proses karbonisasi – aktivasi fisika. Pada proses ini, diameter dan ketebalan diukur menggunakan jangka sorong digital serta massa menggunakan timbangan digital untuk semua sampel SB. Pengukuran elektrokimia karbon aktif SB menggunakan metode *cyclic voltammetry* (CV) dan *galvanostatic charge-discharge* (GCD) untuk menentukan kapasitansi spesifik, rapat daya, rapat energi dan IR drop dari sel superkapasitor. Metode CV menggunakan potensial 0 – 1 V pada laju pemindaian 1, 2, 5, dan 10 mV.s<sup>-1</sup>. Metode GCD menggunakan potensial 0 – 1 V pada rapat arus 1, 2, 5, dan 10 A.g<sup>-1</sup>.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Penyusutan Densitas

Pengukuran densitas karbon aktif dilakukan sebelum dan sesudah proses karbonisasi - aktivasi fisika. Hasil pengukuran yang diperoleh digunakan untuk menganalisis pengaruh densitas terhadap nilai kapasitansi spesifik sel superkapasitor pada masing-masing sampel. Gambar 1 memperlihatkan perbandingan pengukuran densitas rata-rata karbon aktif sebelum dan sesudah proses karbonisasi-aktivasi fisika untuk sampel SB-500, SB-600 dan SB-700. Berdasarkan Gambar 1, sebelum proses karbonisasi – aktivasi fisika, densitas yang diperoleh dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700 masing-masing sebesar 0,9008, 0,9033, dan 0,9079 gr/cm<sup>3</sup>, sedangkan setelah proses karbonisasi – aktivasi fisika,

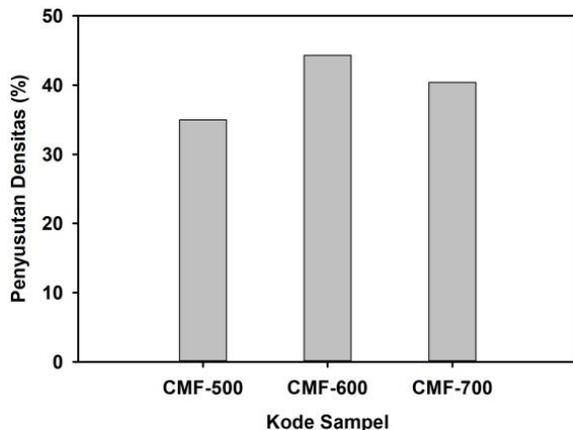
densitas dari SB-500, SB-600 dan SB-700 masing-masing sebesar 0,5860, 0,5031, dan 0,5412 gr/cm<sup>3</sup>. Semua sampel semua sampel mengalami penyusutan yang disebabkan oleh proses karbonisasi dengan suhu tinggi. Karbonisasi pada suhu tinggi menyebabkan senyawa volatil dan unsur penyusun biomassa selain unsur karbon menguap sehingga mengurangi dimensi densitas pada elektroda karbon dan menghasilkan karbon murni dengan struktur pori yang mulai terbuka [21]. Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa sampel SB-600 memiliki densitas terendah. Semakin rendah nilai densitas yang dihasilkan, maka porositas akan meningkat dan dapat mempengaruhi kemampuan elektroda karbon dalam menyimpan energi [22].



**Gambar 1.** Diagram batang densitas sebelum dan sesudah karbonisasi – aktivasi fisika dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700.

Persentase penyusutan densitas yang terjadi pada semua sampel ditunjukkan pada Gambar 2 dengan persentase rata-rata penyusutan densitas masing-masing sebesar 34,95%, 44,30% dan 40,39%. Persentase penyusutan densitas pada sampel SB-600 lebih tinggi dibandingkan sampel SB-500 dan SB-700, hal ini terjadi dikarenakan proses karbonisasi pada suhu 600°C dapat mengkonversi bahan baku biomassa menjadi arang dan dapat mengembangkan pori awal sehingga persentase penyusutan densitas yang dihasilkan lebih tinggi [23]. Semakin tinggi suhu karbonisasi maka ikatan oksigen, hidrogen dan karbon

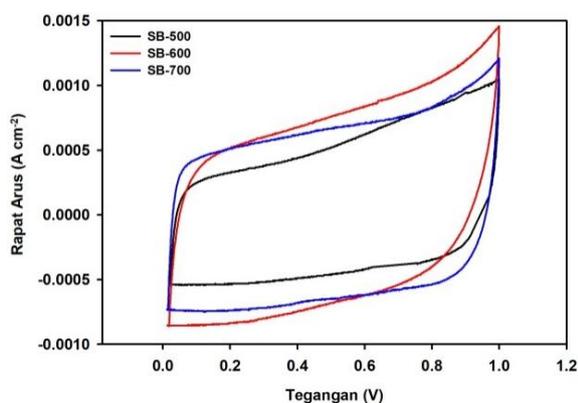
menjadi lemah, sehingga gas nitrogen mudah untuk melepaskan oksigen dan hidrogen dari karbon. Sampel SB-700 mengalami penyusutan yang lebih rendah dibandingkan SB-600, hal ini karena ketika suhu karbonisasi semakin tinggi akan merusak pori karbon yang disebabkan oleh proses disosiasi secara berlebihan [21].



**Gambar 2.** Diagram batang persentase penyusutan densitas dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700.

### Analisis Cyclic Voltammetry (CV)

Kinerja elektrokimia karbon aktif turunan serat bintaro sebagai bahan elektroda untuk superkapasitor diuji melalui metode dua elektroda menggunakan larutan  $H_2SO_4$  1M sebagai elektrolit.

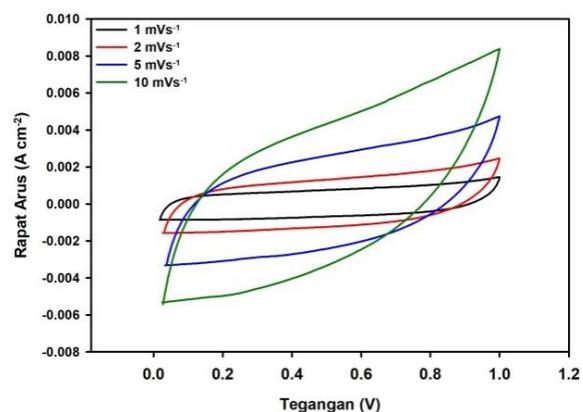


**Gambar 3.** Kurva CV dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700 pada laju pemindaian 1 mV/s.

Gambar 3 menunjukkan kurva CV dari elektroda SB dengan variasi suhu karbonisasi. Kurva CV yang dihasilkan untuk setiap sampel berbentuk kuasi-segiempat yang menunjukkan sifat EDLC Ideal. Kurva yang terbentuk serupa

tetapi luas kurva disetiap sampel berbeda yang disebabkan oleh variasi suhu karbonisasi. SB-600 memiliki luas kurva terbesar dibandingkan SB-500 dan SB-700. Semakin luas kurva yang terbentuk maka kapasitansi spesifik yang dihasilkan akan tinggi [24].

Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700 masing-masing sebesar 150, 203, dan 187  $F \cdot g^{-1}$ . Kapasitansi spesifik yang dihasilkan SB-700 lebih rendah dibandingkan SB-600 karena suhu karbonisasi yang lebih tinggi dapat merusak elektroda karbon yang disebabkan disosiasi yang berlebihan sehingga kinerja sel superkapasitor menurun [25].

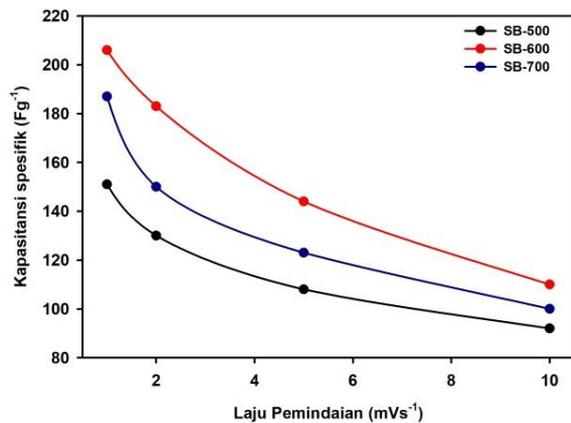


**Gambar 4.** Kurva CV dari sampel SB-600 dengan variasi laju pemindaian.

Gambar 4 menunjukkan kurva CV dari sampel SB-600 laju pemindaian 1, 2, 5, dan 10  $mV \cdot s^{-1}$ . Berdasarkan Gambar 4, bentuk kurva dengan laju pemindaian berbeda tetap mempertahankan bentuk kuasi-persegi panjang yang menunjukkan elektroda memiliki karakteristik kapasitif yang baik. Secara umum, laju pemindaian dapat mempengaruhi bentuk kurva yang dihasilkan sehingga mempengaruhi nilai kapasitansi spesifik yang ditunjukkan pada Gambar 5.

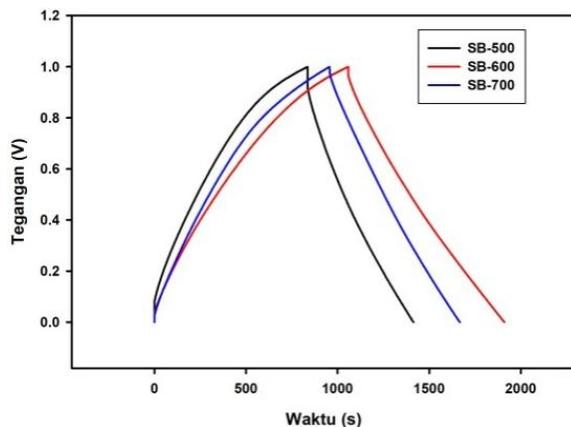
Gambar 5 memperlihatkan kapasitansi spesifik untuk semua sampel pada tingkat laju pemindaian yang berbeda, kapasitansi spesifik menurun secara signifikan dengan meningkatnya laju pemindaian. Semakin tinggi kecepatan pemindaian, semakin kecil kapasitansi yang diukur. Hal ini disebabkan adanya hambatan transfer ion ke permukaan

partikel karbon sehingga terdapat bagian pori elektroda yang tidak dapat diakses saat pengukuran dengan laju pemindaian yang tinggi [26].



**Gambar 5.** Kurva hubungan nilai kapasitansi spesifik terhadap laju pemindaian.

### Analisis Galvanostatic Charge Discharge (GCD)



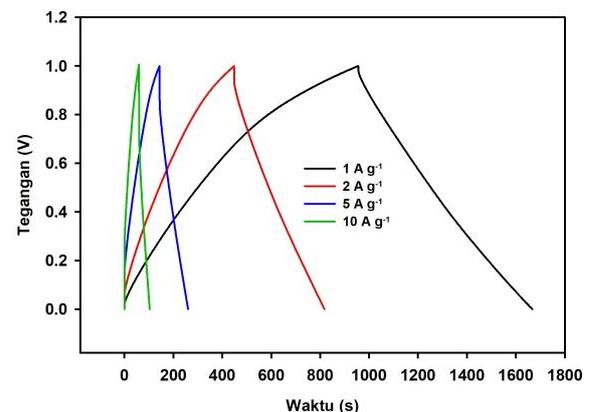
**Gambar 6.** Kurva GCD dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700.

Pengukuran GCD dilakukan untuk mengevaluasi lebih lanjut nilai kapasitansi spesifik dari elektroda karbon berbasis serat bintaro. Seperti yang digambarkan pada Gambar 6, kurva GCD dari semua sampel menunjukkan bentuk segitiga sama kaki tanpa tekukan yang jelas pada kerapatan arus  $0,1 \text{ A.g}^{-1}$ , yang menunjukkan perilaku EDLC, efisiensi muatan-pengosongan yang tinggi, dan reversibilitas yang baik dalam proses pengisian dan pengosongan. Selain itu, waktu pelepasan muatan yang lebih lama mencerminkan

kapasitansi spesifik sampel yang lebih besar [25].

Nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan dari sampel SB-500, SB-600 dan SB-700 masing-masing sebesar  $154, 213, \text{ dan } 189 \text{ F.g}^{-1}$ . Nilai kapasitansi spesifik tertinggi terdapat pada sampel SB-600 dibandingkan dengan sampel SB-500 dan SB-700. Hasil yang didapatkan konsisten dengan analisis CV.

Gambar 7 menunjukkan kurva GCD dari SB-600 dengan variasi rapat arus yaitu  $1, 2, 5, \text{ dan } 10 \text{ A.g}^{-1}$ . Dari kurva tersebut dapat diketahui bahwa semakin rendah rapat arus yang diberikan, maka waktu pengisian yang dibutuhkan semakin lama sehingga kurva yang terbentuk semakin besar dan nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut terjadi karena semakin rendah rapat arus, maka akan semakin banyak daerah yang dilalui ion-ion dan waktu yang dibutuhkan untuk ion berdifusi lebih lama [27].



**Gambar 7.** Kurva GCD dari sampel SB-600 dengan variasi rapat arus.

### KESIMPULAN

Pembuatan elektroda sel superkapasitor berbasis biomassa serat bintaro telah berhasil dilakukan dengan memvariasikan suhu karbonisasi, yaitu  $500^\circ\text{C}, 600^\circ\text{C} \text{ dan } 700^\circ\text{C}$ . Elektroda SB memiliki kinerja terbaik pada suhu karbonisasi  $600^\circ\text{C}$  karena memiliki nilai penyusutan densitas terendah dimana dapat meningkatkan porositas dari karbon aktif dan nilai kapasitansi spesifik tertinggi sebesar  $213 \text{ F.g}^{-1}$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa suhu  $600^\circ\text{C}$  merupakan suhu yang optimum

dalam pembuatan karbon aktif berbasis biomassa serat bintaro untuk meningkatkan kinerja sel superkapasitor.

## REFERENSI

1. Shahbaz, M., Topcu, B. A., Sarigül, S. S., & Vo, X. V. (2021). The effect of financial development on renewable energy demand: The case of developing countries. *Renewable Energy*, **178**, 1370–1380.
2. Shaikh, N. S., Ubale, S. B., Mane, V. J., Shaikh, J. S., Lokhande, V. C., Praserthdam, S., ... & Kanjanaboos, P. (2022). Novel electrodes for supercapacitor: Conducting polymers, metal oxides, chalcogenides, carbides, nitrides, MXenes, and their composites with graphene. *Journal of Alloys and Compounds*, **893**, 161998.
3. Kumar, R., del Pino, A. P., Sahoo, S., Singh, R. K., Tan, W. K., Kar, K. K., ... & Joanni, E. (2022). Laser processing of graphene and related materials for energy storage: State of the art and future prospects. *Progress in Energy and Combustion Science*, **91**, 100981.
4. Banavath, R., Nemala, S. S., Kim, S. H., Bohm, S., Ansari, M. Z., Mohapatra, D., & Bhargava, P. (2022). Industrially scalable exfoliated graphene nanoplatelets by high-pressure airless spray technique for high-performance supercapacitors. *FlatChem*, **33**, 100373.
5. Kumar, S., Saeed, G., Zhu, L., Hui, K. N., Kim, N. H., & Lee, J. H. (2021). 0D to 3D carbon-based networks combined with pseudocapacitive electrode material for high energy density supercapacitor: A review. *Chemical Engineering Journal*, **403**, 126352.
6. Muzaffar, A., Ahamed, M. B., Deshmukh, K., & Thirumalai, J. (2019). A review on recent advances in hybrid supercapacitors: Design, fabrication and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **101**, 123–145.
7. Saikia, B. K., Benoy, S. M., Bora, M., Tamuly, J., Pandey, M., & Bhattacharya, D. (2020). A brief review on supercapacitor energy storage devices and utilization of natural carbon resources as their electrode materials. *Fuel*, **282**, 118796.
8. Wu, L., Cai, Y., Wang, S., & Li, Z. (2021). Doping of nitrogen into biomass-derived porous carbon with large surface area using N<sub>2</sub> non-thermal plasma technique for high-performance supercapacitor. *International Journal of Hydrogen Energy*, **46**(2), 2432–2444.
9. Wang, J., Xu, Y., Yan, M., Ren, B., Dong, X., Miao, J., ... & Liu, Z. (2022). Preparation and application of biomass-based porous carbon with S, N, Zn, and Fe heteroatoms loading for use in supercapacitors. *Biomass and Bioenergy*, **156**, 106301.
10. Lamba, P., Singh, P., Singh, P., Singh, P., Kumar, A., Gupta, M., & Kumar, Y. (2022). Recent advancements in supercapacitors based on different electrode materials: classifications, synthesis methods and comparative performance. *Journal of Energy Storage*, **48**, 103871.
11. Liu, H., Chen, W., Zhang, R., Xu, C., Huang, X., Peng, H., ... & Miao, Z. (2021). Bioinspired in situ self-catalyzing strategy towards graphene nanosheets with hierarchical structure derived from biomass for advanced supercapacitors. *Applied Surface Science*, **566**, 150692.
12. Chen, H., Guo, Y. C., Wang, F., Wang, G., Qi, P. R., Guo, X. H., ... & Yu, F. (2017). An activated carbon derived from tobacco waste for use as a supercapacitor electrode

- material. *New Carbon Materials*, **32**(6), 592–599.
13. Yang, V., Senthil, R. A., Pan, J., Khan, A., Osman, S., Wang, L., ... & Sun, Y. (2019). Highly ordered hierarchical porous carbon derived from biomass waste mangosteen peel as superior cathode material for high performance supercapacitor. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **855**, 113616.
  14. Sesuk, T., Tammawat, P., Jivaganont, P., Somton, K., Limthongkul, P., & Kobsiriphat, W. (2019). Activated carbon derived from coconut coir pith as high performance supercapacitor electrode material. *Journal of Energy Storage*, **25**, 100910.
  15. Zingare, P. A., Dhoble, S. J., & Deshmukh, A. D. (2022). Highly stable fish-scale derived lamellar carbon for high performance supercapacitor application. *Diamond and Related Materials*, **124**, 108925.
  16. Farma, R., Husni, H., Apriyani, I., Awitdrus, A., & Taer, E. (2021). Biomass waste-derived rubber seed shell functionalized porous carbon as an inexpensive and sustainable energy material for supercapacitors. *Journal of Electronic Materials*, **50**, 6910–6919.
  17. Menezes, R. G., Usman, M. S., Hussain, S. A., Madadin, M., Siddiqi, T. J., Fatima, H., ... & Luis, S. A. (2018). *Cerbera odollam* toxicity: A review. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, **58**, 113–116.
  18. Maharana, P. K. (2021). Ethnobotanical, phytochemical, and pharmacological properties of *Cerbera manghas* L. *Journal of Biosciences*, **46**(1), 25.
  19. Ramadhanti, W., Rahmi, M., Soemargono, S., & Suprianti, L. (2021). Hidrolisis Buah Bintaro dengan Katalis Asam Sulfat Ditinjau dari Kinetika Reaksi. *Chempro*, **2**(03), 23–27.
  20. Xu, B., Chen, Y., Wei, G., Cao, G., Zhang, H., & Yang, Y. (2010). Activated carbon with high capacitance prepared by NaOH activation for supercapacitors. *Materials Chemistry and Physics*, **124**(1), 504–509.
  21. Farma, R., Lestari, A. N. I., & Apriyani, I. (2021). Supercapacitor cell electrodes derived from nipah fruticans fruit coir biomass for energy storage applications using acidic and basic electrolytes. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012043.
  22. Taer, E., Afrianda, A., Taslim, R., Krisman, Minarni, Agustino, A., ... & Malik, U. (2018). The physical and electrochemical properties of activated carbon electrode made from Terminalia Catappa leaf (TCL) for supercapacitor cell application. *Journal of Physics: Conference Series*, **1120**, 012007.
  23. Taer, E., Melisa, M., Agustino, A., Taslim, R., Sinta Mustika, W., & Apriwandi, A. (2021). Biomass-based activated carbon monolith from *Tectona grandis* leaf as supercapacitor electrode materials. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1–12.
  24. Ye, R., Cai, J., Pan, Y., Qiao, X., & Sun, W. (2020). Microporous carbon from malva nut for supercapacitors: effects of primary carbonizations on structures and performances. *Diamond and Related Materials*, **105**, 107816.
  25. Cheng, Y., Wu, L., Fang, C., Li, T., Chen, J., Yang, M., & Zhang, Q. (2020). Synthesis of porous carbon materials derived from laminaria japonica via simple carbonization and activation for supercapacitors. *Journal of Materials Research and Technology*, **9**(3), 3261–3271.
  26. Winata, A. S., Devianto, H., & Susanti, R. F. (2021). Synthesis of activated carbon from salacca peel with hydrothermal

- carbonization for supercapacitor application. *Materials Today: Proceedings*, **44**, 3268–3272.
27. Harahap, E. W., Taer, E., Rini, A. S., Taslim, R., & Apriwandi, A. (2022). Cassava peel derived self-doped and hierarchical porous carbon as an optimized electrode for the ultra-high energy density of supercapacitor. *Diamond and Related Materials*, **129**, 109407.



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

## PENGARUH DOPING *CHROMIUM* TERHADAP SIFAT MAGNETIK NANOPARTIKEL OKSIDA BESI

Indah Tamara Sitorus\*, Erwin Amiruddin, Juandi Muhammad, Erman Taer  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

\*E-mail korespondensi: indah.tamara1963@student.unri.ac.id

### ABSTRACT

*The purpose of this study is to determine the magnetic properties expressed in the hysteresis loop as well as the morphology of iron oxide nanoparticles from iron sand of Logas Village, natural sand, which were doped with chromium. The separation between magnetic and non-magnetic particles was carried out using the strong magnet neodymium iron boron (NdFeB). Magnetic nanoparticle preparation was carried out by ball milling method for 100 hours which is called BM3. The BM3 product was divided into three parts with the same amount of weight namely BM3A, BM3B, and BM3C. These products were doped with chromium with concentrations of 0, 10, and 20 (wt%) using ball milling for 20 hours. Magnetic properties were tested using a vibrating sample magnetometer and nanoparticle morphology with a scanning electron microscope (SEM). The magnetic properties of the samples were studied based on loop hysteresis showed that saturation magnetization, remanent magnetization, coercivity, loop squareness, and loop area decreased along with the addition of chromium doping concentration in the sample. The results of the SEM test showed that as the doping concentration was added to the sample the particle size became smaller, namely 1.316, 1.308, and 0.856  $\mu\text{m}$ .*

**Keywords:** Ball Milling, Chromium, Logas Natural Sand, Loop Hysteresis, Morphology.

### ABSTRAK

*Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat magnetik yang dinyatakan dalam lingkaran histeresis serta morfologi nanopartikel oksida besi pasir besi Desa Logas, pasir alami, yang didoping dengan chromium. Pemisahan antara partikel magnetik dan non-magnetik dilakukan dengan menggunakan magnet kuat neodymium iron boron (NdFeB). Persiapan nanopartikel magnetik dilakukan dengan metode ball milling selama 100 jam yang disebut BM3. Produk BM3 dibagi menjadi tiga bagian dengan jumlah berat yang sama yaitu BM3A, BM3B, dan BM3C. Produk-produk ini didoping dengan chromium dengan konsentrasi 0, 10, dan 20 (wt%) menggunakan ball milling selama 20 jam. Sifat magnetik diuji menggunakan vibrating sample magnetometer dan morfologi nanopartikel dengan scanning electron microscope (SEM). Sifat magnetik sampel diteliti berdasarkan loop hysteresis menunjukkan bahwa magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen, koersivitas, loop squareness, dan luas loop menurun seiring dengan penambahan konsentrasi doping chromium dalam sampel. Hasil uji SEM menunjukkan bahwa ketika konsentrasi doping ditambahkan ke sampel ukuran partikel menjadi lebih kecil, yaitu 1,316, 1,308, dan 0,856  $\mu\text{m}$ .*

**Kata kunci:** Ball Milling, Chromium, Pasir Alam Logas, Loop Histeresis, Morfologi.

Diterima 06-02-2023 | Disetujui 02-09-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terkenal dengan kekayaan sumber daya alamnya. Sumber daya alam berupa bahan-bahan galian industri maupun bahan-bahan tambang diketahui tersebar menyeluruh di Negara

Indonesia. Terkhusus di Provinsi Riau dapat ditemukan banyak bahan tambang dan galian industri terutama pasir alam. Namun menurut kajian penelitian yang ada, pemanfaatan sumber daya seperti pasir besi ini belum dapat dilakukan dengan maksimal [1-3].

Pasir besi merupakan batuan sedimentasi yang mengandung sejumlah unsur, dan pada umumnya banyak terdapat unsur besi (Fe). Fase *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), *hematite* ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), *maghemite* ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), alimina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), rutil ( $\text{TiO}_2$ ) dan *ilmenite* ( $\text{FeTiO}_3$ ) [4,5]. Ukuran partikel oksida besi yang diperkecil hingga mencapai ukuran nanometer memiliki sifat superparamagnetik yang aplikasinya digunakan sebagai katalis, *drug delivery target*, media penyimpanan data, sensor magnetik, dan tinta di mesin *photocopy* [6,7].

Sintesis oksida besi telah dilakukan dengan berbagai metode oleh para peneliti, diantaranya *spray pyrolysis*, *forced hydrolysis*, reaksi oksidasi reduksi besi hidroksida, teknik perparasi hidrotermal, sol-gel, dan kopresipitasi untuk mendapatkan partikel oksida besi dengan ukuran nanopartikel [8]. Namun, cara paling sederhana untuk mempersiapkan nanopartikel hematit adalah metode *ball milling*. Keuntungan menggunakan metode ini adalah sederhana, efisien, hasil tinggi dan biaya rendah dibandingkan dengan metode lain [9,10].

Penelitian ini menggunakan metode *ball milling* untuk preparasi nanopartikel oksida besi dari pasir besi Logas di daerah Kuantan Singingi. Metode *ball milling* menggunakan tabung (*vial*) berisikan pasir alam dan bola-bola penumbuk yang akan diputar oleh sistem penggerak dengan perbandingan volume *vial* dan beban (pasir alam + bola *milling*) sekitar 30%. Nanopartikel hematite selanjutnya didoping dengan *chromium* untuk memodifikasi sifat kemagnetan dan morfologi. Penentuan sifat magnetic menggunakan *vibrating sample magnetometer* (VSM) dan morfologi menggunakan *scanning electron microscope* (SEM).

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu: magnet *neodymium iron boron* (NdFeB) sebagai pemisah partikel non magnetik dan magnetik, *ball milling* alat

penghancur sampel, VSM alat mengukur magnetisasi, SEM untuk melihat morfologi nanopartikel, dan laptop sebagai sebagai penyimpanan atau pengolah data.

### Pemisahan Oksida Besi dengan NdFeB

Pasir alam yang berasal dari lokasi pengambilan sampel (desa Logas) dipisahkan antar oksida besi dan non-oksida besi menggunakan magnet NdFeB. Tujuan pemisahan ini adalah untuk mendapatkan oksida besi yang lebih murni (terhindar dari non-oksida besi). Proses pemisahan oksida besi dengan magnet kuat NdFeB membutuhkan kaca preparent untuk tempat meletakkan sampel. Produk diletakkan menggunakan spatula keatas kaca preparent, kemudian magnet NdFeB di tempelkan di balik kaca dan digerakkan searah dengan luas kaca preparent. Oksida besi kemudian akan bergerak mengikurti arah magnet ketika digerakkan, sedangkan non oksida besi tidak.

### Proses *Ball Milling*

Produk NdFeB kemudian dihaluskan dengan metode *ball milling*. Metode ini merupakan proses penghancuran partikel oksida besi dan oksida non besi lainnya dengan cara menghancurkan partikel-partikel menjadi lebih kecil lagi dengan menggunakan bola-bola *milling* melalui tumbukan. Bola-bola *milling* yang ditempatkan dalam tabung *milling* (*vial*) akan saling bertabrakan dengan partikel sampel menghasilkan produk yang lebih halus.

Proses *ball milling* dilakukan dalam 3 tahap. Bola-bola *milling* yang digunakan dalam proses *milling* ini berdiameter 1,5 cm sebanyak 17 buah. Bola-bola *milling* dimasukkan kedalam dua buah tabung *milling* (*vial*) dengan volume kosong yaitu 1 liter. Kemudian kedua *vial* dimasukkan kedalam tabung *ball milling* diletakkan pada mesin *milling*. Setelah tahap pertama *ball milling* selama 50 jam, maka dilakukan pemisahan oksida besi dan non oksida besi lainnya dengan magnet NdFeB. Magnet dilapisi dengan plastik tipis dan

diarahkan di atas produk *ball milling* dengan jarak 4 cm. Oksida besi akan tertarik dan menempel pada plastik yang melapisi magnet, sehingga memudahkan proses pemisahan. Produk ini dinamakan BM1, kemudian produk BM 1 ini di *ball milling* lagi untuk tahap kedua dengan durasi yang sama dan dilakukan pemisahan dengan magnet NdFeB kembali. Tujuan dilakukannya pemisahan setiap sebelum dilakukan *ball milling* adalah untuk mendapatkan oksida besi yang lebih murni dan tidak banyak terkontaminasi oksida lain.

Selanjutnya produk BM2 dibagi menjadi 3 bagian dengan berat yang sama. Produk BM2 kemudian di doping untuk merubah sifat magnetik dan morfologinya. Proses doping dilakukan selama 20 jam *ball milling*. Maka total waktunya dalam 3 tahap adalah 120 jam.

### Proses Doping Chromium

Pada proses pendopongan partikel oksida besi pada produk BM2 dan konsentrasi berat tembaga (wt.%) dalam tabung *ball milling*. Proses pendopongan dilakukan selama 20 jam pada masing-masing produk dengan variasi konsentrasi *chromium* 0%, 10%, 20%. Sehingga hasil dari doping ini dinamakan produk BM3A, BM3B, dan BM3C.

### Penentuan Sifat Magnetik Menggunakan VSM

VSM adalah metode yang dapat digunakan untuk menganalisis sifat magnetik dari sampel. Karakterisasi dengan VSM mendapatkan nilai magnetisasi suatu bahan sebagai fungsi medan magnetik luar yang digunakan dan output berupa kurva hysteresis loop. Pada hasil output kurva hysteresis tersebut didapatkan nilai-nilai parameterkemagnetan yaitu magnetisasi satuasi (Ms), magnetisasi remanen (Mr), dan medan koersivitas (Hc), serta *loop squareness* (S) [5].

### Penentuan Morfologi Oksida Besi Menggunakan SEM

SEM adalah sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti

cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Nanopartikel oksida besi (produk BM3) ini ditentukan sifat morfologinya seperti bentuk dan ukuran dari nanopartikel oksida besi tersebut dengan SEM untuk dianalisa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

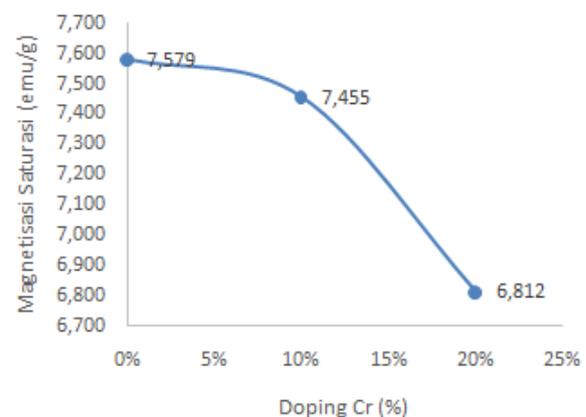
### Sifat Magnetik

Pengujian sifat magnetik nanopartikel  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang di doping *chromium* dengan variasi konsentrasi 0%, 10%, dan 20% dan disintesis dengan metode *ball milling* dengan mempelajari loop hysteresisnya. Luaran dari VSM berupa loop hysteresis yang adalah plot dari nilai magnetisasi M (emu/g) terhadap medan luar H (Oe).

**Tabel 1.** Nilai parameter *loop hysteresis* nanopartikel.

Sampel	Sampel Magnetik				
	Ms	Mr	Hc	S	A
0%	7,79	1,425	238,03	0,188	1,2
10%	7,455	1,312	210,23	0,176	1,2
20%	6,812	1,112	195,34	0,163	1,1

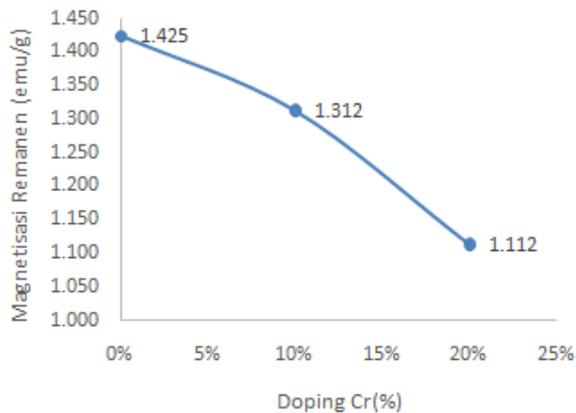
Parameter magnetik dari nanopartikel magnetik BM3 pada Tabel 1 di plot dalam bentuk grafik untuk mempelajari perubahan yang terjadi pada setiap sampel yang diuji (0%, 10%, dan 20%).



**Gambar 1.** Grafik perubahan nilai magnetisasi saturasi (Ms).

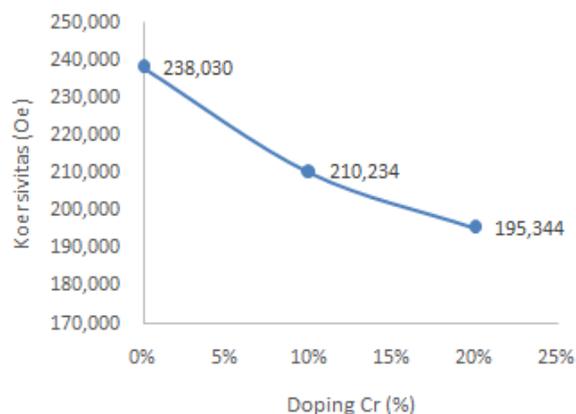
Nilai magnetisasi saturasi menunjukkan kemampuan bahan dalam termagnetisasi hingga mencapai titik jenuh yaitu saat

momen magnetik bahan sudah disearahkan seluruhnya. *Chromium* bersifat paramagnetik yang nilai magnetisasi saturasinya kecil dibandingkan dengan hematit yang bersifat ferromagnetik (lihat Gambar 1).



**Gambar 2.** Grafik perubahan nilai magnetisasi remanen ( $M_r$ ).

Penurunan nilai magnetisasi remanen disebabkan oleh interaksi antar partikel magnetic dalam sampel mengalami pengurangan karena adanya penambahan konsentrasi doping (lihat Gambar 2).



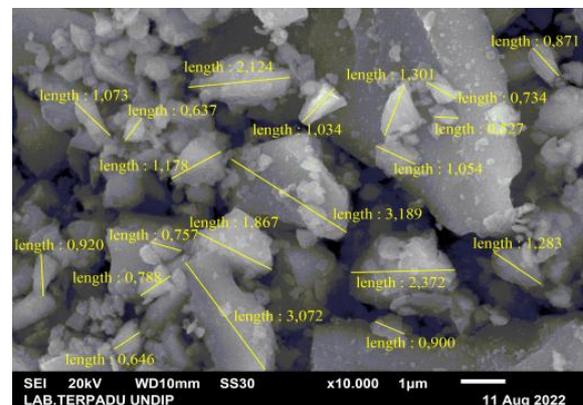
**Gambar 3.** Grafik perubahan nilai Koersivitas ( $H_c$ ).

Koersivitas ( $H_c$ ) adalah besar nilai medan magnet luar yang digunakan untuk membawa magnetisasi dari nanopartikel magnetik menjadi nol. Penurunan koersivitas disebabkan oleh besarnya ukuran terpisahnya butiran nanopartikel antara satu dengan lainnya oleh *chromium*, sehingga semakin kecil nilai medan magnet luar ( $H$ ) yang diperlukan untuk

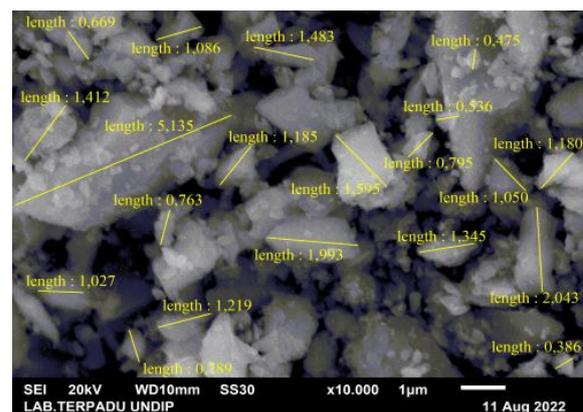
membawa magnetisasi menjadi nol (lihat Gambar 3).

*Loop squareness* ( $S$ ) adalah perbandingan antara nilai magnetisasi remanen ( $M_r$ ) dengan magnetisasi saturasi ( $M_s$ ). Luas *loop hysteresis* adalah luas daerah yang terdapat dalam kurva histeresis dengan satuan (kOe.emu/g). *Loop squareness* ( $S$ ) dan luas *area loop* ( $A$ ) berhubungan dengan nilai koersivitas bahan yang menurun. Penurunannya disebabkan interaksi antar partikel yang semakin meningkat sehingga data hasil uji menunjukkan penurunan.

### Morfologi Nanopartikel Oksida Besi



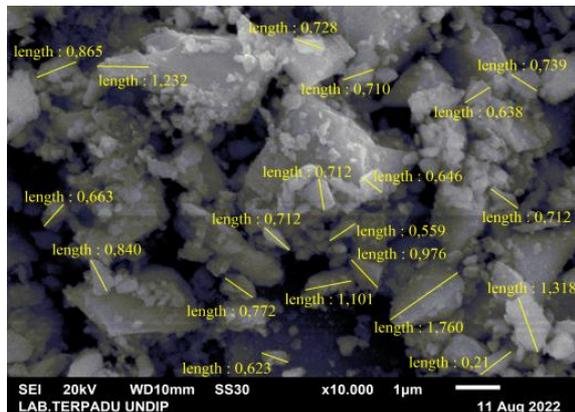
**Gambar 4.** Hasil pengolahan SEM produk BM3A 0 wt% diperbesar 10.000 kali.



**Gambar 5.** Hasil pengolahan SEM produk BM3B 10 wt% diperbesar 10.000 kali.

Pengujian ukuran partikel menggunakan SEM menghasilkan gambar yang dapat dianalisis untuk mengetahui bentuk dan ukuran partikel pasir besi setelah dilakukan penghancuran dengan metode *ball milling*. *Ball milling* pada pasir alam yang dilakukan

menggunakan bola-bola *milling* berdiameter 1,5 cm, menghasilkan partikel magnetik yang lebih kecil dan halus. Produk yang dianalisa merupakan hasil doping menggunakan *chromium* selama 20 jam *ball milling* dengan variasi konsentrasi doping yaitu 0, 10, dan 20 wt%.



**Gambar 6.** Hasil pengolahan SEM produk BM3C 20 wt% diperbesar 10.000 kali.

Gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan hasil SEM dengan perbesaran 10.000 kali. Pada gambar diambil 20 titik acak untuk menentukan rata-rata ukuran partikel. Morfologi partikel pasir alam Desa Logas doping *chromium* memiliki ukuran yang halus hasil dari *ball milling* 120 jam dan tampak bahwa bentuk partikel irregular shape atau tidak beraturan dan tidak simetris. Pada data Tabel 2 terlihat penurunan ukuran rata-rata nanopartikel magnetik dari BM3A, BM3B, dan BM3C yang dipengaruhi konsentrasi doping pada produk.

**Tabel 2.** Data *mean* (rata-rata) ukuran partikel SEM perbesaran 10.000 kali.

Doping	0%	10%	20%
<i>Mean</i> (μm)	1,316	1,308	0,856

## KESIMPULAN

Sifat magnetik sampel yang diuji dengan menggunakan VSM menunjukkan bahwa nilai Magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) yaitu 1,425 emu/g; 1,312 emu/g; dan 1,125 emu/g, Magnetisasi remanen ( $M_r$ ) 7,579 emu/g; 7,455 emu/g; dan 6,812 emu/g, Koersivitas ( $H_c$ ) nilainya menurun ketika konsentrasi *chromium*

ditingkatkan yaitu 238,03 Oe; 210,234 Oe; dan 195,344 Oe. Ukuran partikel magnetik berdasarkan foto SEM pada produk BM3A, BM3B, dan BM3C secara umum semakin kecil dengan nilai 1,316 pada 0%; 1,308 pada 10%; dan 0,856 pada 20%.

## REFERENSI

- Bødker, F., Hansen, M. F., Koch, C. B., Lefmann, K., & Mørup, S. (2000). Magnetic properties of hematite nanoparticles. *Physical Review B*, **61**(10), 6826.
- Nurhidayah, I., Sinuraya, S., Amiruddin, E., & Setiadi, R. N. (2023). Analisa perubahan suseptibilitas dan komposisi serta ukuran partikel oksida besi sebagai fungsi kecepatan putaran tabung *ball milling*. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 75–82.
- Kurniawan, R., Salomo, S., Erwin, E., & Defrianto, D. (2022). Pengaruh doping mangan terhadap komposisi dan sifat kristalinitas partikel oksida besi pasir alam Sungai Rokan dipreparasi dengan metode *ball milling*. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(2), 113–118.
- Gubin, S. P., Koksharov, Y. A., Khomutov, G. B., & Yurkov, G. Y. (2005). Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties. *Russian Chemical Reviews*, **74**(6), 489.
- Safira, T. D., Sinuraya, S., Amiruddin, E., & Setiadi, R. N. (2023). Analisa kecepatan putaran tabung *ball mllllng* terhadap suseptibilitas magnetik dan komposlsl serta ukuran partlkel okslda besi pasir alam sungai rokan. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 83–90.
- Amiruddin, E., Awaluddin, A., Sihombing, M., Royka, A., & Syahrul, T. (2020). Morphology and structural properties of undoped and cobalt doped magnetic iron oxide particles for improving the

- environmental quality. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, **9**(6), 2249–8958.
7. Daviny, N., & Erwin, E. (2021). Pengaruh Ukuran Bola Milling terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik dan Distribusi Ukuran Nanopartikel Magnetik Disintesis dari Pasir Pantai Sungai Suci Bengkulu. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(3), 204–207.
  8. Ahmad, T., Triwikantoro, T., Pratapa, S., & Darminto, D. (2009). Sintesis Partikel Nano Fe<sub>3</sub>-xMnxO<sub>4</sub> Berbasis Pasir Besi dan Karakterisasi Struktur serta Kemagnetannya. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, **1**(2), 67–73.
  9. Jiles, D. (1991). *Introduction to Magnetis and Magnetic Materials*. London: Chapman and Hall.
  10. Royka, A., & Amiruddin, E. (2021). Penentuan Nilai Suseptibilitas Dan Ukuran Partikel Magnetik Pasir Alam Logas Kabupaten Kuantan Singingi Menggunakan Variasi Ukuran Ball Milling. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 42–47.



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

## IDENTIFIKASI PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DI WILAYAH BENGKULU DENGAN METODE KAWASHUMI

**Reni Nurjannah, Mulkan Iskandar, Lailatul Husna Lubis\***

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

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

### ABSTRACT

*Maximum soil acceleration is the greatest value of increasing soil acceleration caused by a specified period of time. Maximum ground acceleration is very important to do, to reduce the risk due to an earthquake that occurs. This research is expected to be able to determine the value of the largest increase in ground velocity and areas that have the greatest level of possible danger due to ground acceleration using the Kawashumi method. From the after effects of the investigation that has been finished, it is obtained that the maximum ground acceleration value is 661.7182528 gal and it can be seen that Muko-Muko Regency in the Bengkulu region has a risk due to high ground acceleration.*

**Keywords:** Earthquake, Kawashumi Method, Maximum Ground Acceleration.

### ABSTRAK

*Percepatan tanah maksimum adalah nilai terbesar dari meningkatnya percepatan tanah yang diakibatkan adanya gelombang gempa dalam jangka waktu tertentu. Percepatan tanah maksimum sangat penting dilakukan, untuk mengurangi resiko akibat gempa bumi yang terjadi. Penelitian ini diharapkan dapat menentukan nilai peningkatan kecepatan tanah terbesar dan daerah yang memiliki tingkat kemungkinan bahaya terbesar akibat percepatan tanah dengan metode Kawashumi. Dari hasil penyelidikan yang telah selesai diperoleh nilai percepatan tanah maksimum sebesar 661,7182528 gal dan dapat diketahui bahwa Kabupaten Muko-Muko di wilayah Bengkulu memiliki resiko akibat percepatan tanah yang tinggi.*

**Kata kunci:** Gempa Bumi, Metode Kawashumi, Percepatan Tanah Maksimum.

*Diterima 05-06-2023 | Disetujui 10-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023*

### PENDAHULUAN

Wilayah di Indonesia yang memiliki aktivitas kegempaan yaitu wilayah Bengkulu, karena letaknya yang berbatasan langsung dengan lempeng Indo-Australia dan Eurasia terdapat zona subduksi, nilai energi struktur gabungan dan laju regangan yang paling tinggi berada di sekitar wilayah Bengkulu, menyebabkan wilayah Bengkulu memiliki tingkat aktifitas kegempaan yang tinggi dan berpotensi menimbulkan kapasitas guncangan yang lebih tinggi dibandingkan daerah lain di pulau Sumatera [1]. Tingginya aktivitas kegempaan mempengaruhi nilai percepatan tanah di wilayah Bengkulu.

Banyak kejadian gempa bumi yang telah terjadi di wilayah Bengkulu, seperti kejadian gempa berkekuatan 7,3 terjadi pada 4 Juni 2000, dan gempa berkekuatan 7,9 terjadi pada 12 September 2007. Dari kejadian gempa-gempa besar yang pernah terjadi, mengakibatkan dampak buruk yang menimpa masyarakat Bengkulu seperti kehilangan fasilitas tempat tinggal, kerusakan material hingga menimbulkan korban jiwa. Kerusakan yang timbul akibat gempa bumi, dapat diketahui melalui parameter-parameter gempa yang berupa metode pendekatan *peak ground acceleration* (PGA) ataupun yang biasa dikenal sebagai nilai percepatan pergerakan tanah maksimum [2-4].

Zera (2021) melakukan penelitian tentang percepatan gerakan tanah di Sumatera dengan metode Kawashumi [5]. Berdasarkan penelitiannya, maka diperoleh hasil bahwa pemetaan hasil perhitungan pada penelitian ini menghasilkan pola PGA yang tinggi di Utara Sumatera dan semakin berkurang ke arah Selatan. Zera (2017) melakukan penelitian untuk membandingkan tiga model PGA di Provinsi Bengkulu [6]. Sehingga diperoleh hasil akhir dari penelitian ini adalah ketiga model memberikan kontur yang berbeda, satu model menunjukkan nilai PGA berada di Kabupaten Muko-Muko sedangkan dua model lainnya menunjukkan nilai PGA berada di Kabupaten Kaur.

Metode Kawashumi adalah metode empiris untuk menghitung percepatan tanah, metode kawashumi pernah digunakan di wilayah sumatera untuk dipetakan agar diketahui pengetahuan yang lebih baik mengenai efek lokasi yang lebih parah terkena gempa bumi. Wilayah Bengkulu merupakan bagian dari pulau Sumatera, sehingga metode Kawashumi dapat digunakan di wilayah Bengkulu [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daerah yang memiliki tingkat resiko kerusakan terbesar akibat percepatan tanah dengan metode Kawashumi. Pembaharuan penelitian ini dengan yang sebelumnya berupa tahun penelitian yang digunakan dari tahun 2000 – 2021 sehingga memungkinkan pembaca untuk mengetahui daerah yang memiliki pergerakan tanah yang tinggi di wilayah Bengkulu saat ini berada dimana, apakah wilayah yang memiliki pergerakan tanah dengan resiko akibat kegempaan terbesar itu masih di wilayah yang sama dengan penelitian sebelumnya atau mungkin wilayahnya sudah berbeda.

## TINJAUAN PUSTAKA

Gempa bumi adalah peristiwa mengenai pergerakan lapisan permukaan bumi yang dapat terjadi karena adanya Peningkatan energi Bumi secara tiba-tiba dan mengakibatkan guncangan di permukaan tanah. Getaran gempa yang dapat

dirasakan dari permukaan tanah adalah bentuk dari rambatan gelombang gempa yang berasal dari hiposenter.

Percepatan tanah maksimum merupakan suatu nilai yang menjelaskan tentang kecepatan pergerakan tanah terbesar yang berada di suatu wilayah. Nilai percepatan gerak tanah yang digunakan merupakan nilai yang paling dominan karena jika semakin dominan nilai percepatan gerakan tanah yang terjadi dapat memicu tingginya kemungkinan terjadinya gempa di daerah tersebut dan semakin besar pula resiko yang dapat terjadi akibat gempa bumi di wilayah tersebut. Percepatan tanah maksimum dapat dijelaskan dalam satuan *gravitational acceleration* atau gal atau  $\text{cm/s}^2$  ( $1 \text{ gal} = 981 \text{ g}$ ) [8].

Variabel yang mempengaruhi besarnya peningkatan kecepatan di suatu titik adalah ukuran, kedalaman hiposenter, dan jarak dari pusat gempa. Semakin besar intensitas gempa di suatu wilayah, maka semakin besar pula jumlah energi dari sumber gempa, sehingga nilai percepatan gerakan tanah juga semakin besar, serta semakin dalam dan jauh jarak gempa dari pusat gempa, seiring bertambahnya jarak dari pusat gempa, kecepatan pergerakan tanah juga berkurang [9].

Untuk mengetahui percepatan gerakan tanah di suatu wilayah secara langsung, dapat digunakan alat pengukur bernama *accelerograph* yang dipasang pada daerah tertentu atau dapat menggunakan rumus empiris. Namun, dikarenakan pencatatan data yang dapat diakses oleh *accelerograph* yang tersebar di Indonesia terbatas dan adanya kekosongan data yang ditemukan berdasarkan waktu dan lokasi dapat menyebabkan penentuan nilai maksimum percepatan gerakan tanah dengan menggunakan pendekatan rumus empiris [10].

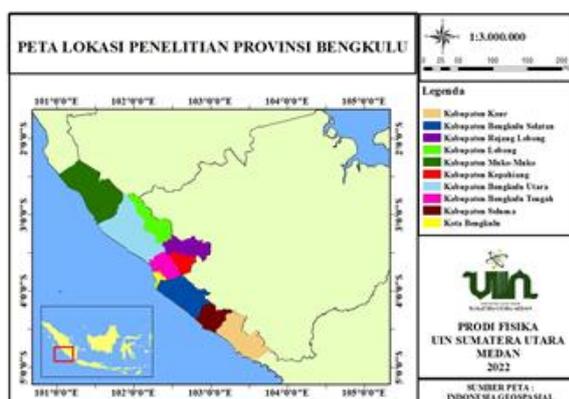
Penentuan rumus empiris percepatan tanah yang digunakan hingga saat ini, sebagian dipakai penurunan rumus dari luar Indonesia, hal ini dapat disebabkan karena tidak ada rumus khusus percepatan tanah di Indonesia. Penelitian bahaya gempa bumi terus menggunakan banyak rumus empiris yang

berasal dari luar Indonesia, karena asumsi geologi yang mirip dengan di Indonesia [11].

Di Indonesia, terdapat sejumlah penelitian mengenai percepatan tanah maksimum dengan berbagai metode yang berbeda dan wilayah yang berbeda. Dapat ditarik kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang pernah diteliti, bahwa kondisi geologi tanah yang terdapat pada wilayah yang diteliti sangat mempengaruhi nilai percepatan gerakan tanah maksimum yang hendak diperoleh [12].

Nilai percepatan gerakan tanah yang terdapat di suatu wilayah penelitian, hal ini dapat digambarkan dengan intensitas gempa bumi. Intensitas gempa adalah skala yang dihitung dari tingkat kerusakan pada area dan bangunan terdekat yang disebabkan oleh gempa bumi [2, 13].

Intensitas dengan magnitudo berbeda, karena intensitas merupakan hasil penglihatan yang digambarkan pada suatu daerah tertentu sedangkan magnitudo merupakan hasil penglihatan yang dilakukan secara langsung menggunakan seismograf maupun melalui satelit [14]. Ketika terjadi gempa bumi, besar intensitas di suatu tempat yang berbeda dapat menghasilkan suatu intensitas yang sama ataupun berbeda, namun besar magnitudonya selalu sama meskipun dicatat dan dirasakan ditempat yang berbeda [15].



**Gambar 1.** Peta wilayah Provinsi Bengkulu.

Bengkulu merupakan sebagian kecil wilayah yang termasuk dalam kategori Provinsi di Indonesia, letak Provinsi Bengkulu terletak di pantai barat Sumatera, dengan titik koordinat  $2^{\circ}$  LS –  $5,5^{\circ}$  LS dan  $100^{\circ}$  BT –  $104^{\circ}$  BT.

Wilayah Bengkulu terletak di Sumatera bagian barat, letaknya ini menjadikan wilayah Bengkulu sebagai bagian dari lempeng Benua Eurasia yang dapat bergerak dengan kecepatan  $0,4$  cm/tahun ke arah tenggara dan dapat bertemu hingga terjadi peristiwa tumbukan antara lempeng Samudera Hindia-Australia bergerak dengan kecepatan  $7$  cm/pertahun ke arah Utara. Peristiwa tumbukan ini telah terjadi dari zaman kapur dan masih terus terjadi sampai saat ini, Proses tumbukan ini dapat menyebabkan munculnya zona subduksi, zona prisatik akresi, jalur magmatik dan pembentukan struktur geologi di wilayah Bengkulu [16].

Pada umumnya Provinsi Bengkulu memiliki permukaan yang bergelombang dan berbukit. Di wilayah Bengkulu terdapat sesar yang dapat mengendalikan daerah Bengkulu yaitu sesar Semangko yang mengarah ke barat laut-tenggara. Secara fisik, Bengkulu tersusun atas batuan berumur tersier dengan jenis batuan sedimen dan batuan lava andesit yang ditutupi oleh endapan vulkanik, batu lempeng, batu apung dan batuan alluvium rawa. Jenis batuan ini dapat memicu bencana alam seperti gempa bumi, retakan, percepatan tanah, erosi, tanah longsor, banjir dan badai laut [17].

## METODE PENELITIAN

Pengolahan data seismik pada pengamatan ini adalah untuk mendapatkan nilai maksimum percepatan gerakan tanah dengan menggunakan rumus empiris metode Kawasumi:

$$\log \alpha = Ms - 5,4 - 0,00084(R - 100) + \left(\log \frac{100}{R}\right) \times \frac{1}{0,43429} \quad (1)$$

dimana,  $\alpha$  adalah percepatan tanah (gal), Ms adalah magnitudo permukaan dan R adalah jarak hiposenter (km)

Data USGS yang digunakan pada observasi ini adalah data gempa bumi tahun 2000 – 2021 dengan kedalaman  $0 - 70$  Km, magnitudo  $5 - 10$ , dengan batas wilayah  $^{\circ}$  LS –  $5,5^{\circ}$  LS dan  $100^{\circ}$  BT –  $104^{\circ}$  BT. Data yang telah diunduh kemudian disusun berdasarkan kejadian gempa bumi dari tahun 2000 – 2021, garis bujur, garis

lintang, magnitudo, dan kedalaman gempa bumi.

Berdasarkan data dari USGS diperoleh data dengan magnitudo yang berbeda, untuk menyetarakan magnitudo dilakukan perubahan magnitudo kedalam bentuk magnitudo permukaan ( $M_s$ ) dengan menggunakan Persamaan 2,3, dan 4.

a. Hubungan antara magnitudo permukaan ( $M_s$ ) dengan magnitudo badan ( $M_b$ ):

$$M_s = 1,59M_b - 3,97 \quad (2)$$

b. Hubungan antara magnitudo momen ( $M_w$ ) dengan momen seismik ( $\log M_o$ ):

$$M_w = \left( \log \frac{M_o}{1,5} \right) - 10,73 \quad (3)$$

c. Hubungan antara momen seismik ( $\log M_o$ ) dengan magnitudo permukaan ( $M_s$ ):

$$\log M_o = 1,5M_s + 16,1 \quad (4)$$

Kemudian dilakukan pembagian wilayah Bengkulu dengan beberapa grid, masing-masing grid berukuran  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ .



**Gambar 2.** Pembagian grid wilayah Bengkulu.

Kemudian dilakukan perhitungan jarak episenter dengan menggunakan Persamaan 5, perhitungan jarak hiposenter dengan menggunakan Persamaan 6 dan perhitungan percepatan tanah maksimum dengan menggunakan Persamaan 1, semua perhitungan dilakukan menggunakan Microsoft Excel.

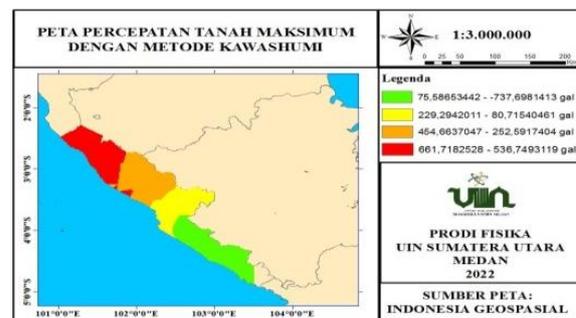
$$\Delta^2 = (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \quad (5)$$

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (6)$$

Kemudian, tahap selanjutnya adalah membuat kontur peningkatan percepatan tanah maksimal memakai *software* Arcgis 10.8.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari penelitian identifikasi percepatan tanah maksimum di wilayah Bengkulu dengan metode Kawashumi diperoleh data gempa bumi tahun 2000 – 2021 sebanyak 433 data dengan magnitudo 5 – 10, kedalaman gempa bumi 0 – 70 km, dengan wilayah yang memiliki resiko bahaya kegempaan berdasarkan percepatan tanah maksimum berada di Kabupaten Muko-Muko (lihat Gambar 3).



**Gambar 3.** Peta percepatan tanah maksimum di wilayah Bengkulu.

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa provinsi Bengkulu terbagi menjadi 4 wilayah dengan tingkat percepatan tanah yang berbeda-beda. Dimana Kabupaten Muko-Muko memiliki nilai percepatan tanah yang tinggi yaitu sekitar 661,7182528 – 536,7493119 gal yang ditandai dengan wilayah berwarna merah dengan resiko kerusakan berat. Kabupaten Bengkulu Utara, dan Kabupaten Rejang Lebong memiliki nilai percepatan tanah sebesar 454,6637047 – 252,5917404 gal yang digambarkan oleh wilayah berwarna orange dengan resiko kerusakan sedang. Nilai percepatan tanah Kabupaten Lebong, Kabupaten Bengkulu Tengah dan Kota Bengkulu adalah 229.2942011 – 80.71540461 gal digambarkan dengan daerah berwarna kuning dengan resiko kerusakan rendah. Nilai percepatan tanah Kabupaten Bengkulu Selatan,

Kabupaten Seluma dan Kabupaten Kaur adalah 75.58653442 – 737.6981413 gal, yang dapat dirasakan yang digambarkan oleh wilayah berwarna hijau dan pengaruh dari percepatan tanah ini adalah dapat dirasakan oleh banyak orang tetapi tidak menimbulkan kerusakan.

Penyebab tingginya nilai percepatan tanah ini karena secara geologi, wilayah Kabupaten Muko-Muko berada di pesisir barat Provinsi Bengkulu sehingga wilayah ini dilalui oleh zona subduksi antara lempeng Indo-Australia dengan lempeng Eurasia yang membentuk palung Sumatera dengan pergerakan mencapai 7 cm/tahun.

Secara litologi, letak Kabupaten Muko-Muko yang berada di pesisir barat Provinsi Bengkulu, hal ini menjadikan wilayah Muko-Muko memiliki jenis batuan sedimen berumur kuartar yang dapat memicu timbulnya guncangan gempa bumi karena batuan telah mengalami pelapukan sehingga dapat menimbulkan guncangan gempa bumi yang lebih kuat [18].

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Bengkulu yang memiliki resiko gempa akibat percepatan tanah tertinggi terletak di Kabupaten Muko-Muko yang memiliki nilai percepatan bumi sebesar 661,7182528 gal.

## REFERENSI

- Hadi, A. I., Farid, M., Refrizon, R., Harlianto, B., Hidayat, N., & Krisbudianto, M. (2021). Pemetaan Potensi Kerentanan Gempabumi Pada Kota Bengkulu Menggunakan Data Mikrotremor dan Metode Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Fisika Flux*, **18**(2), 105–118.
- Hariyanto, T., Bioresita, F., & Safitri, C. N. (2020). Perhitungan Intensitas Gempa Bumi Berdasarkan Nilai PGA (Peak Ground Acceleration) Menggunakan Data Gempa Bumi Multi-Event (Studi Kasus: Kabupaten Pandeglang, Banten). *Geoid*, **15**(2), 189–195.
- Lestari, A. D., Suarbawa, K. N., Supardi, I. W., & Pratama, I. P. D. (2022). Analysis Regional Vulnerability of Earthquakes Based on Parameters Fragility Rock Value (B-Value) and Peak Ground Acceleration (PGA) In Bali Province. *Buletin Fisika*, **23**(2), 97–105.
- Tanjung, N. A. F., Permatasari, I., & Yuniarto, A. H. P. (2021). Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) Kota Tegal Menggunakan Metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectra Ratio). *Jurnal Geosaintek*, **7**(1), 9–16.
- Zera, T. (2021). Mapping of Peak Ground Acceleration (PGA) using The Kawashumi Model for Sumatera. *Al-Fiziya: Journal of Materials Science, Geophysics, Instrumentation and Theoretical Physics*, **4**(2), 83–88.
- Zera, T., Sutrisno, & Budiono, A. (2017). Comparison Among the Three Peak Ground Acceleration Models in Bengkulu Province, Indonesia. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 31–36.
- Hadi, A. I., Suhendra, S., & Efriyadi, E. (2012). Studi analisis parameter gempa Bengkulu berdasarkan data single-station dan multi-station serta pola sebarannya. *Berkala Fisika*, **13**(4), 105–112.
- Ambarwati, L. (2020). *Pemetaan dan analisa pga maksimum gempa bumi pada Provinsi Aceh periode 2012–2017 dengan metode atenuasi*. Tesis Fisika, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Kiswiranti, D. (2019). *Seismologi (Dasar-Dasar Seismologi dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Institut Sains dan Teknologi Akprind Yogyakarta.
- Meitawati, P. M. (2017). *Perbandingan Nilai Percepatan Tanah Maksimum Berdasarkan Modifikasi Konstanta Atenuasi dan Data Accelerograph Tahun 2008-2016 pada Stasiun BMKG Lampung*.

- Lampung: Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Universitas Lampung.
11. Priyanto, D. K., Suarbawa, K. N., & Septiadhi, A. (2018). Determination of Empirical Formula Model of Soil Vibration Acceleration of Denpasar Area. *Buletin Fisika*, **19**(1), 23-27.
  12. Asna, A. (2017). *Pemetaan daerah rawan bencana gempa bumi di wilayah Sulawesi Tenggara berdasarkan nilai percepatan tanah maksimum dengan menggunakan metode Mc Guirre R.K.* Tesis Fisika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar.
  13. Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
  14. Harjono, H. (2017). *Seismoteknik Busur Sunda*. Jakarta: LIPI Press.
  15. Noor, D. (2007). *Geologi Lingkungan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
  16. Salim, R., & Santosa, B. J. (2014). Analisa Pola Bidang Sesar pada Zona Subduksi di Wilayah Selatan Pulau Sumatera dari Event Gempa pada Tahun 2011-2014. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, **3**(2), 132-135.
  17. Supartoyo. (2007). *Kegempaan di Wilayah Bengkulu*. Bengkulu: Warta Geologi.
  18. Lubis, A. M. (2021). Pemanfaatan Survey GPS Geodetik untuk Pengamatan Deformasi Inter-seismik Setelah Satu Dekade Kejadian Gempa Bumi Bengkulu 2007 (Mw 8.4) di Daerah Bengkulu Bagian Utara. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, **4**(1), 1-10.



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

## SIFAT OPTIK NANOMATERIAL ZnO DOPING NIOBIUM BERDASARKAN WAKTU SINTESIS

Iwantono\*, Muhammad Pauji, Puji Nurrahmawati, Nashiha Chalvis Syahra

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*This research was conducted to fabricate dye sensitized solar cell based on ZnO nanomaterial. Efforts to see the optical properties of niobium-doped ZnO are through UV-Vis characterization. Niobium-doped ZnO nanomaterials with growth time variations of 6, 8, and 10 hours have been successfully synthesized using hydrothermal methods. Samples resulting from synthesis were characterized using UV-Vis spectroscopy along with its energy gap. Samples with a synthesis time variation of 6 hours had higher absorbance absorption and a low energy gap of 3.09 eV.*

**Keywords:** Absorbance, Doped, Niobium, UV-Vis, ZnO.

### ABSTRAK

*Penelitian ini dilakukan untuk melihat sifat optik dari ZnO yang berbasis nanomaterial ZnO. Upaya untuk melihat sifat optik dari ZnO yang di doping niobium salah satunya yaitu melalui karakterisasi UV-Vis. Nanomaterial ZnO yang didoping niobium dengan variasi waktu penumbuhan 6, 8, dan 10 jam telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode hidrotermal. Sampel hasil dari sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi UV-Vis beserta energi gap nya. Sampel dengan variasi waktu sintesis 6 jam memiliki serapan absorbansi yang lebih tinggi serta energi gap yang rendah yaitu sebesar 3,09 eV.*

**Kata kunci:** Absorbansi, Doping, Niobium, UV-Vis, ZnO.

Diterima 05-06-2023 | Disetujui 02-10-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang digunakan di seluruh sisi kehidupan manusia. Kebutuhan manusia terhadap energi listrik terus meningkat sepanjang peradaban umat manusia. Proyeksi kebutuhan energi pada tahun 2050 diperkirakan hampir tiga kali lipat jika dibandingkan dengan tahun 2010 [1].

Pemanfaatan minyak bumi diperkirakan akan habis jika terus menerus digunakan seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia dalam segi transportasi, industri, medis, dan lain sebagainya [2-4].

Keterbatasan sumber energi tersebut menyebabkan terjadinya pergeseran sumber daya minyak bumi ke sumber energi terbarukan seperti matahari. Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat

dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan alat yang dikenal dengan sel surya [5,6].

Terbatasnya ketersediaan energi tersebut menyebabkan terjadinya pergeseran sumber daya energi minyak bumi ke sumber energi terbarukan seperti matahari. Energi matahari juga merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan alat yang dikenal dengan sel surya [5,7].

Teknologi sel surya banyak menarik perhatian karena kemampuannya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik tanpa menyebabkan polusi lingkungan. Sel surya merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip *photovoltaic*. Sel surya terbagi atas tiga

generasi, yaitu generasi pertama sel surya silikon kristal tunggal (monokristal) yang mampu menghasilkan nilai efisiensi sebesar 25% dan sel surya silikon polikristal dengan nilai efisiensi sebesar 20,4% [8].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen langsung di laboratorium. Pembuatan nanomaterial ZnO sebagai elektroda kerja dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal Hasil dari sintesis material untuk elektroda kerja berupa serbuk. Pembuatan sampel dilakukan dengan melarutkan HMT 0,1 M dan ZNH 0,1 M dengan aquades sebanyak 400 ml. Selanjutnya melarutkan niobium dengan konsentrasi 3wt% pada *DI water* kemudian di sonikasi selama 20 menit. Kedua larutan yang sudah disonikasi, selanjutnya disatukan ke dalam wadah dan di-*stirer* di atas *hotplate* selama 1 jam dengan kecepatan 500 rpm. Setelah itu, sampel dimasukkan ke dalam botol sintesis dan dioven dengan suhu 90°C dengan variasi waktu 6, 8, dan 10 jam. Kemudian sampel didinginkan lalu dibilas 2 kali dengan menggunakan aquades dan methanol. Selanjutnya sampel dikeringkan didalam oven dengan waktu 2 jam pada suhu 100°C. Sampel yang telah kering selanjutnya di-*annealing* dengan *furnance* pada suhu 250°C selama 30 menit. Kemudian sampel yang telah di-*annealing* digerus dan diayak.

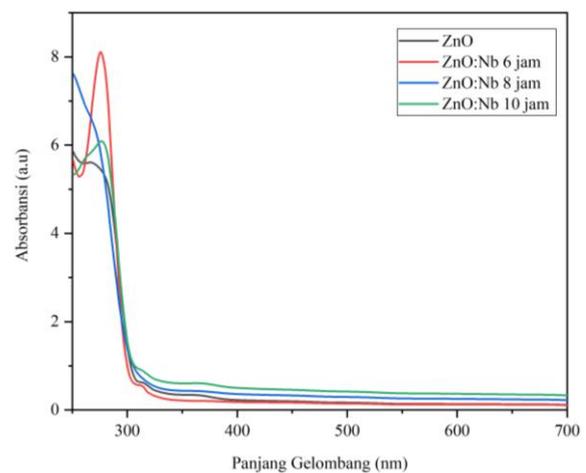
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Densitas

Gambar 1 memperlihatkan spektrum penyerapan optik dari sampel. Spektrum absorbansi tersebut menggunakan rentang panjang gelombang (250 – 700) nm yang menampilkan puncak absorbansi berbeda-beda pada panjang gelombang tertentu. Serapan cahaya yang berbeda-beda dari setiap sampel merupakan efek dari variasi waktu sintesis yang digunakan. Spektrum tersebut menunjukkan

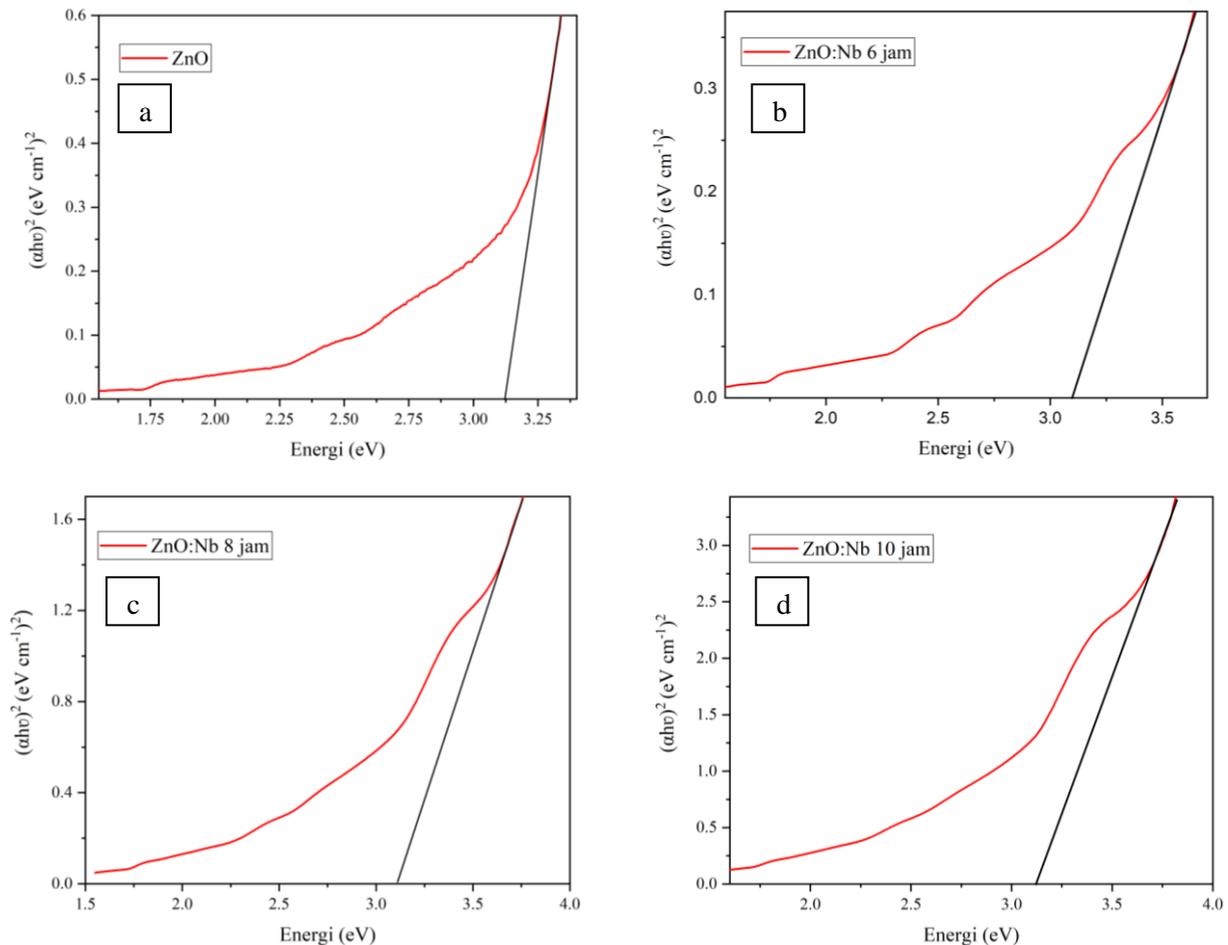
absorbansi terkuat berada pada rentang panjang gelombang (250 – 380) nm dan penyerapan lemah terjadi diantara rentang panjang gelombang (381 – 700) nm yaitu pada spektrum cahaya tampak [9].

Sampel dengan penyerapan absorbansi yang optimum terlihat pada sampel ZnO yang di doping niobium dengan variasi waktu sintesis 6 jam sedangkan sampel dengan penyerapan absorbansi minimum terlihat pada sampel ZnO yang di doping niobium dengan waktu sintesis 10 jam. Nilai absorbansi lebih rendah terjadi pada sampel ZnO di doping niobium dengan variasi waktu 10 jam yang mungkin disebabkan cacat akibat penyerapan dan kekosongan oksigen [10].



**Gambar 1.** Absorbansi UV-Vis pada sampel.

Nilai energi *gap* dari sampel tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 dan dirangkum pada Tabel 1. Pemberian atom doping menyebabkan terjadinya penurunan nilai energi *gap* yang menunjukkan bahwa jarak antara pita valensi ke pita konduksi semakin sempit, sehingga menyebabkan energi foton yang dibutuhkan elektron untuk berpindah semakin kecil. Penurunan nilai energi *gap* pada sampel seiring dengan ukuran kristal yang lebih besar dan peningkatan kualitas kristal. Sampel dengan variasi waktu sintesis 6 jam memiliki energi *gap* yang rendah dan lebih baik jika dibandingkan dengan sampel lainnya.



**Gambar 2.** Nilai energi *gap* untuk sampel: (a) ZnO; (b) ZnO:Nb 6 jam; (c) ZnO:Nb 8 jam; dan (d) ZnO:Nb 10 jam.

**Tabel 1.** Nilai energi *gap* pada setiap sampel.

Sampel	Nilai Energi <i>Gap</i> (eV)
a	3,13
b	3,09
c	3,10
d	3,12

## KESIMPULAN

Sampel dengan penyerapan absorbansi yang optimum terlihat pada sampel ZnO yang di doping niobium dengan variasi waktu sintesis 6 jam sedangkan sampel dengan penyerapan absorbansi minimum terlihat pada sampel ZnO yang di doping niobium dengan waktu sintesis 10 jam. Spektrum absorbansi terkuat berada pada rentang panjang gelombang (250 – 380) nm dan penyerapan lemah terjadi diantara rentang panjang gelombang (381 – 700) nm yaitu pada spektrum cahaya tampak. Sampel dengan variasi waktu sintesis 6 jam memiliki

energi *gap* yang rendah dan lebih baik jika dibandingkan dengan sampel lainnya.

## REFERENSI

1. Widodo, D. A., & Andrasto, T. (2010). Pemberdayaan Energi Matahari Sebagai Energi Listrik Lampu Pengatur Lalu Lintas. *Jurnal Teknik Elektro*, **2**(2), 6.
2. Amin, S. S. (2008). *Synthesis and characterization of one dimensional (1D) nanostructures for energy conversion*. Disertasi, University of North Carolina.
3. Sumarti, S., Iwantono, I., & Awitdrus, A. (2020). Pengaruh penambahan logam transisi nikel terhadap sifat fisis nanorod ZnO. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 155–159.
4. Della, R. O., & Iwantono, I. (2021). Pengaruh penambahan perak pada molekul

- dye terhadap efisiensi *dye sensitized solar cell*. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 64–68.
5. Kumara, M. S., & Prajitno, G. (2012). Studi awal fabrikasi dye sensitized solar cell (DSSC) dengan menggunakan ekstraksi daun bayam (*Amaranthus Hybridus L.*) sebagai dye sensitizer dengan variasi jarak sumber cahaya pada DSSC. *Jurnal Ilmiah ITS*, 1–11.
  6. Meldayani, R., Iwantono, I., Rini, A. S., & Rati, Y. Analisa sifat fisis nanopartikel ZnO di-doping Ag yang disintesis menggunakan metode biosintesis. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(1), 7–10.
  7. Putri, V. N., Iwantono, I., Nurrahmawati, P., & Syahra, N. C. (2023). Studi sifat optik berdasarkan prekursor dalam sintesis ZnO. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **20**(1), 25–30.
  8. Andika, G. (2015). *Penumbuhan Nanotube ZnO Didoping Boron dengan Variasi Rasio Kosentrasi Prekursor-Surfaktan dan Pengaruhnya pada Performansi Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*. Skripsi Fisika, Universitas Riau.
  9. Chenni, R., Makhlof, M., Kerbache, T., & Bouzid, A. (2007). A detailed modeling method for photovoltaic cells. *Energy*, **32**(9), 1724–1730.
  10. Iwantono, I., Damayanti, N., Anggelina, F., Naumar, F., & Umar, A. (2015). Efek Co-Doping Al-Ga pada Nanorods ZnO terhadap Efisiensi *Dye Sensitized Solar Cells* (DSSC). *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, **5**(02), 8–16.



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

## ANALISIS UJI FISIS BRIKET AROMATERAPI BERBAHAN SERAI DAN SERBUK KAYU DENGAN PEREKAT *PINUS MERKUSII*

**Ervina Putri Wulandari\*, Ety Jumiati, Miftahul Husnah**

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

\*E-mail korespondensi: [ervinaputri2000@gmail.com](mailto:ervinaputri2000@gmail.com)

### ABSTRACT

*Aromatherapy briquettes have been made as an alternative fuel made from lemon grass, sawdust and pine resin. Composition variations between lemongrass and sawdust (meranti) in samples A (30% : 70%), B (40% : 60%), C (50% : 50%) with 60% pine resin adhesive with drying time 7 days. Physical test parameters carried out: density, moisture content, and heat. The test results showed that the optimum aromatherapy briquettes were sample C which had a density value of 0.954 g/cm<sup>3</sup>, a moisture content of 7.81% and a calorific value of 8640 cal/g. The value of water content and heating value complies with SNI 01-6235-2000.*

**Keywords:** Lemongrass, Pine Sap, Sawdust.

### ABSTRAK

*Telah dilakukan pembuatan briket aromaterapi sebagai bahan bakar alternatif berbahan dasar serai, serbuk kayu, dan getah pinus. Variasi komposisi antara serai dan serbuk kayu(meranti) pada sampel A (30% : 70%), B (40% : 60%), C (50% : 50%) dengan perekat getah pinus sebesar 60% dengan waktu pengeringan 7 hari. Parameter pengujian fisis yang dilakukan: densitas, kadar air, dan kalor. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa briket aromaterapi yang optimum yaitu pada sampel C yang memiliki nilai densitas 0,954 g/cm<sup>3</sup>, kadar air 7,81 % dan nilai kalor 8640 kal/g. Nilai kadar air dan nilai kalor sudah memenuhi SNI 01-6235-2000.*

**Kata kunci:** Serai, Getah Pinus, Serbuk kayu.

Diterima 09-06-2023 | Disetujui 11-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Limbah dari pabrik furnitur dan pemotongan kayu, seperti serbuk gergaji, merupakan salah satu sumber biomassa yang potensial dan melimpah. Serbuk gergaji dalam jumlah besar ini dapat digunakan sebagai sumber bahan untuk membuat briket, yang merupakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Fotosintesis menghasilkan biomassa, yang meliputi daun, kayu, buah-buahan, dan limbah pertanian dan kehutanan. Karena dapat diperbarui, biomassa dapat digunakan berulang kali sebagai bahan bakar. Selain itu, biomassa digunakan sebagai sumber bahan bakar, baik secara langsung maupun melalui serangkaian tahapan pengolahan, seperti konversi biomassa [1].

Serbuk gergaji adalah sumber daya yang mudah dikumpulkan dan terbarukan di Indonesia karena banyaknya lahan hutan di negara ini. 15% limbah dari usaha penggergajian terdiri dari serbuk gergaji, dengan 2,5% berasal dari unit utama, 13% dari unit kedua, dan 0,1% dari unit pemangkas. Selain itu, serbuk gergaji lebih praktis daripada media lain, mudah dibuat, murah, dan mengandung sumber nutrisi yang jauh lebih baik [2,3].

Meskipun briket, bahan bakar berbasis biomassa, berpotensi menggantikan batu bara dalam beberapa aplikasi, penggunaannya saat ini masih terbatas pada bahan bakar rumah tangga skala kecil. Banyaknya sumber daya yang tersedia untuk memastikan bahwa produksi briket dioptimalkan untuk memenuhi

kebutuhan masyarakat adalah salah satu isu tentang potensi pembuatan briket [4-6].

“Mengenai pembuatan briket arang dari limbah industri pengolahan kayu dengan penambahan perekat getah pinus,” tulis Pari (2002) dalam kajiannya [7]. Variasi konsentrasi perekat 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi perekat resin pinus 15% menghasilkan nilai konsentrasi terbaik, dengan kadar air 39,8612%, kadar abu 2,2356%, nilai kalor 4.341,0231 kal/g, dan karbon terikat 99,57%.

Dalam penelitian Arif (2006) tentang pembuatan briket dari serbuk gergaji [8], serbuk gergaji yang digunakan berasal dari limbah penggergajian kayu dari fasilitas pengolahan kayu di Desa Rambah Kabupaten Rokan Hulu-Riau dan Kecamatan Tengah Hilir. Antara 0 dan 5 gram serbuk gergaji per kubus ditambahkan ke campuran beton. Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini, kuat tekan beton meningkat menjadi 138,90 kg/cm<sup>2</sup> setelah penambahan 5 g/kubus campuran serbuk gergaji, meningkat sebesar 1,08% jika dibandingkan dengan kuat tekan beton sebelum penambahan serbuk gergaji sebesar 127,78 kg/cm<sup>2</sup>.

Deyan (2015) mengkaji “Pembuatan Briket Pengusir Nyamuk (*Repellent*) dari Daun Sereh (*Cymbopogon winterianus jowitt*) dan Evaluasinya” [9]. Pada penelitian ini dilakukan pemberian minyak serai beberapa takaran (10%, 25%, dan 30%) kemudian diuji untuk menangkal nyamuk *Aedes aegypti* pada kotak uji. Menurut temuan, daun serai dapat berfungsi sebagai pengusir nyamuk (*Aedes aegypti*). Tindakan penolak atau penolak nyamuk lebih kuat dan bertahan lebih lama ketika minyak daun serai hadir dalam jumlah yang lebih tinggi. Pada konsentrasi 10% dan 25%, daya repelan nyamuk dapat terlihat pada menit keenam dan keenam. Konsentrasi aktif aktivitas penolak nyamuk ditemukan pada briket serai wangi 30%, yang menunjukkan bahwa daya penolak nyamuk dapat diamati pada menit ketiga.

Berdasarkan uraian di atas, penulis bermaksud melakukan penelitian pembuatan

briket dengan menggunakan campuran serbuk kayu dan serai serta lem getah pinus. Parameter uji yang digunakan adalah SNI (Standar Nasional Indonesia), nilai kalor, kuat tekan, uji organoleptik, kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, kadar karbon, berat jenis (berat jenis), dan laju pembakaran.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Briket

Briket didefinisikan sebagai bahan yang telah diubah dari bentuk awalnya berupa serbuk atau bubuk berukuran pasir menjadi bentuk yang lebih besar dan lebih mudah diatur. Proses koagulasi dengan tekanan dan penambahan atau tidak adanya perekat mengakibatkan perubahan ukuran bahan. Kandungan karbon yang tinggi dan kadar abu yang rendah merupakan karakteristik briket berkualitas tinggi karena karakteristik tersebut meningkatkan jumlah energi yang dihasilkan [1].

### Aromaterapi

Untuk mempengaruhi suasana hati atau kesehatan seseorang, aromaterapi menggunakan bahan tumbuhan cair yang mudah menguap, juga dikenal sebagai minyak esensial, dan senyawa aromatik lainnya dari tumbuhan. Ini sering dikombinasikan dengan prosedur medis alternatif dan kepercayaan mistik. Semakin banyak orang beralih ke aromaterapi untuk berbagai kebutuhan perawatan dan terapi dalam industri kesehatan dan kecantikan. Banyak keuntungan menggunakan aromaterapi.

### Serai

Dengan meminum serai sebagai minuman biasa, seseorang dapat mencegah radikal bebas dalam tubuh karena tanaman serai secara alami mengandung antioksidan dan antiradang. Antioksidan serai juga dapat mencegah pelepasan asam arakidonat dengan menonaktifkan protein kinase C yang dapat mengganggu fungsi enzim fosfolipase A2. Antioksidan berperan dalam menurunkan rasa

sakit karena prostaglandin berperan dalam bagaimana tubuh bereaksi terhadap rasa sakit. Citronellal dan geraniol, dua bahan kimia yang terdapat pada tanaman serai, bersifat antioksidan [10].

Serai (*Cymbopogon citratus*) atau aromaterapi serai. Minyak aromaterapi serai berfungsi sebagai antidepresan dengan cara menekan dan menghilangkan ketegangan atau depresi sehingga menimbulkan rasa rileks pada tubuh dan pikiran [11].

### Serbuk Kayu Meranti

Kayu dan turunan yang dihasilkannya, seperti arang, adalah sumber bahan bakar paling populer pada saat awal karena mudah diperoleh dan digunakan. Namun seiring kemajuan teknologi, penggunaan kayu sebagai bahan bakar mulai berkurang, terutama di kota-kota besar. Berbeda dengan penduduk pedesaan yang tetap memanfaatkan kayu sebagai bahan bakar, mayoritas penduduk perkotaan mengandalkan minyak dan gas bumi sebagai sumber energi. Jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak dan gas alam, kayu dan arang memiliki keunggulan yang sangat jelas dalam hal kemampuannya untuk diisi ulang lebih cepat di alam.

### Pinus Merkusii

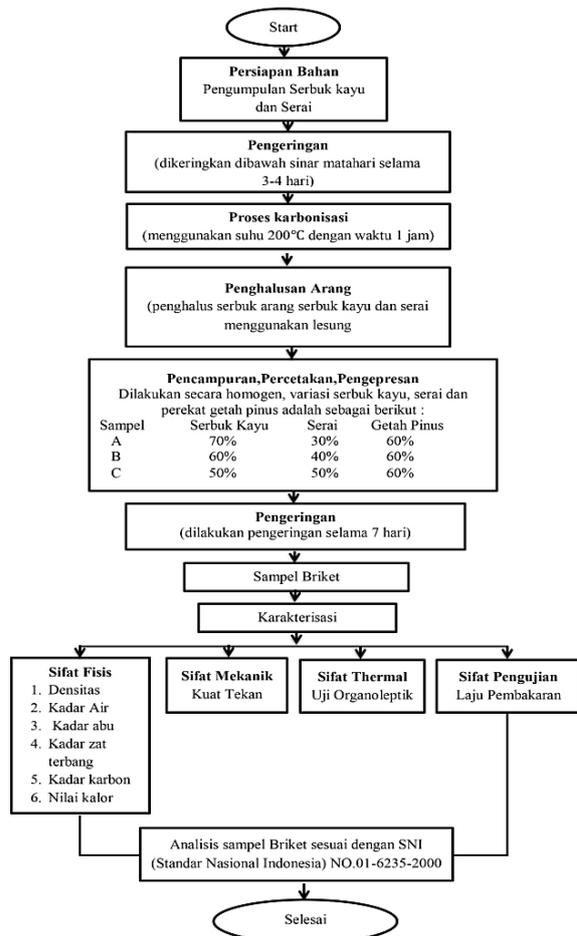
Spesies tanaman yang dikenal sebagai pinus, atau *Pinus merkusii*, asli Indonesia dan ditemukan secara alami di Sumatera. Pinus dapat tumbuh hingga 1.500 meter di atas permukaan laut dan di daerah yang kurang subur. Kayu pinus memiliki kualitas yang cukup untuk berbagai kegunaan. Spesies lain yang dapat menghasilkan getah dengan nilai ekonomi yang signifikan adalah pinus.

Bergantung pada umur tanaman, jumlah getah pinus yang dihasilkan berbeda. Selain menghasilkan antara 30 – 60 kg getah per tahun, pohon tua, tanaman pinus sangat baik untuk pemulihan tanah, tahan api, dan bercocok tanam di tanah yang tidak subur. Dimungkinkan untuk membakar beberapa kulit sebagai bahan

bakar. Karena abu mengandung potasium, kombinasi pupuk dapat dibuat darinya.

### METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian ini dimulai sebagai berikut (lihat Gambar 1).



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian dan Karakterisasi Sampel

Penelitian ini mengadopsi metodologi kuantitatif dan menggunakan metodologi penelitian eksperimental. Serbuk gergaji dan serai adalah bahan utama yang digunakan dalam produksi briket aromaterapi, dan kualitasnya akan dievaluasi. Lem resin pinus digunakan dalam prosesnya. Pembuatan briket akan dilakukan di Laboratorium Unimed Universitas Negeri Medan. Di Laboratorium Politeknik Kimia Industri (PTKI) dilakukan uji kuat tekan. Universitas Negeri Medan (Unimed) diuji kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang. Di Laboratorium *Nanomaterials for*

Renewable Energy (NRE), properti uji diuji. Jangka waktu penelitian ini adalah Oktober 2022 sampai Februari 2023.

Peralatan berikut digunakan dalam penelitian ini: tungku, printer briket, neraca digital, jangka sorong, gelas kimia, stopwatch, blender, cetakan, serbuk gergaji, serai, getah pinus, dan air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini sampel yang digunakan berbahan dasar serbuk kayu dan serai yang berasal dari daerah medan martubung. Pengujian tersebut untuk mengetahui hubungan karakteristik sifat fisis terhadap komposisi bahan.

### Pengujian Densitas

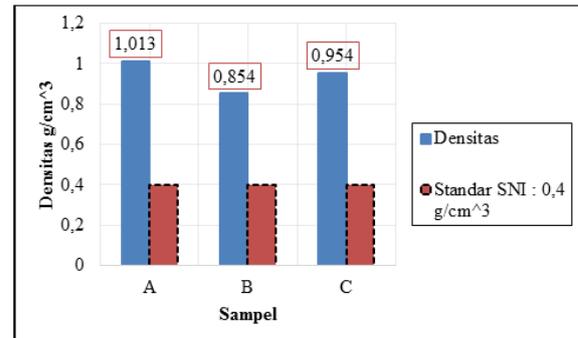
Produksi briket aromaterapi dari serbuk gergaji dan serai dengan lem getah pinus menghasilkan: sesuai dengan temuan penelitian pada Tabel 1. Menurut penelitian Ety Jumiaty (2019), densitas briket aromaterapi meningkat menjadi 1,013 – 0,945 g/cm<sup>3</sup> dan sejalan dengan nilai densitas 0,5 – 0,6 g/cm<sup>2</sup> untuk briket aromaterapi [12]. Rasio briket serbuk gergaji terhadap serai mengalami perubahan sehingga meningkatkan nilai densitas. Ini karena betapa sederhananya briket serbuk gergaji untuk merekatkan.

**Tabel 1.** Data hasil pengujian densitas.

Sampel	Kode Sampel	Nilai Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Nilai Densitas Rata-Rata (g/cm <sup>3</sup> )
A	A1	1,05	1,013
	A2	1,03	
	A3	0,96	
B	B1	0,7776	0,854
	B2	0,7665	
	B3	1,018	
C	C1	1,023	0,954
	C2	1,014	
	C3	0,827	

Berdasarkan Gambar 1 terlihat jelas bahwa nilai densitas dapat diturunkan dengan penambahan serbuk gergaji, namun nilai

densitas maksimum adalah sebesar 70% untuk pengurangan serbuk gergaji sebesar 50%. Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai kerapatan briket dipengaruhi oleh jumlah serbuk gergaji yang ditambahkan padanya, dan nilai kerapatan dipengaruhi oleh jumlah serbuk gergaji yang dihilangkan.



**Gambar 1.** Grafik hasil pengujian densitas.

### Pengujian Kadar Air

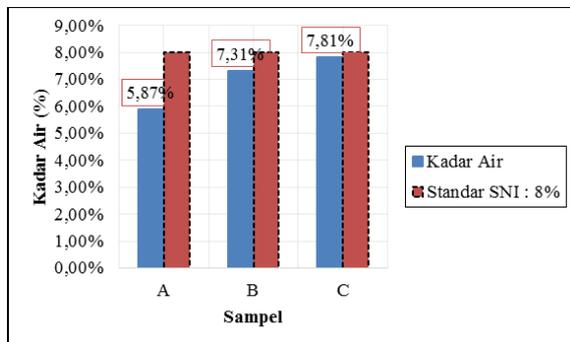
Tabel 2 menunjukkan bahwa sampel A dan B masing-masing memiliki nilai kadar air 5,87%, sedangkan sampel C dan D masing-masing memiliki nilai 7,31% dan 7,81%. Gambar 2 menunjukkan hubungan antara nilai kadar air sampel dan grafik.

**Tabel 2.** Data hasil pengujian kadar air.

Kode Sampel	Nilai Kadar Air (%)	Nilai Kadar Air Rata-Rata (%)	Referensi SNI 01-6235-2000 (%)
A1	6,19	5,87	≤ 8
A2	5,68		
A3	5,72		
B1	7,02	7,31	
B2	7,65		
B3	7,25		
C1	7,08	7,81	
C2	9,73		
C3	6,61		

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa penurunan jumlah serbuk gergaji dapat meningkatkan nilai kadar air. Namun demikian, nilai kadar air hanya bisa naik maksimal 70% dengan penambahan 60% serbuk gergaji. Karena bubuk serai mengandung selulosa, lignin, dan hemiselulosa yang mudah menyerap

air, dapat disimpulkan dari Gambar 2 bahwa penambahan komposisi serai dapat meningkatkan kadar air dalam briket.



Gambar 2. Grafik hasil pengujian kadar air.

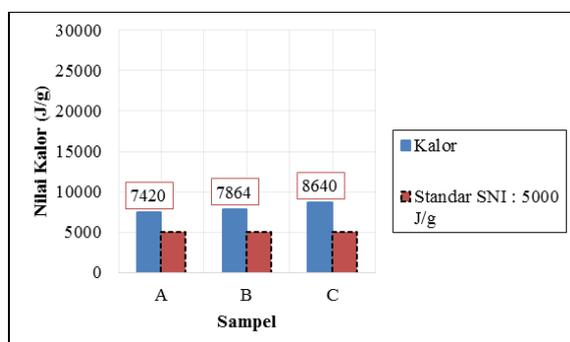
### Pengujian Nilai Kalor

Tabel 3 menunjukkan bahwa sampel A dan C masing-masing memiliki nilai kalori 7420 kal/g, 7864 kal/g, dan 8604 kal/g. Gambar 3 menggambarkan hubungan antara densitas dan sampel dalam bentuk grafik.

Tabel 3. Data hasil pengujian nilai kalor.

Sampel	Nilai Kalor (kal/g)	SNI 01-6235-2000 (kal/g)
A	7420	
B	7864	≥ 5000
C	8604	

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kalor dapat diturunkan oleh serbuk gergaji, nilai kalor maksimum adalah 50%, dan nilai kuat tekan menurun dengan penambahan serbuk gergaji 60%. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai kalor meningkat akibat penambahan serbuk gergaji.



Gambar 3. Grafik hasil pengujian nilai kalor.

### KESIMPULAN

Berikut adalah temuan investigasi pembuatan briket aromaterapi berbahan campuran serbuk gergaji (meranti) dan serai dengan perekat getah pinus: Briket dapat dibuat dengan menggunakan berbagai perekat getah pinus, serbuk gergaji (meranti), dan serai. Hasil pengujian nilai kalor dan kadar air memenuhi persyaratan SNI 01-6235-2000. Dengan rata-rata laju pembakaran 31,33 menit dan nilai kalori 8604 kal/g, aromaterapi serai wangi semakin kuat semakin tinggi konsentrasinya.

### REFERENSI

- Naim, D., & Saputro, D. D. (2013). Pengaruh variasi temperatur cetakan terhadap karakteristik briket kayu sengon pada tekanan kompaksi 5000 Psig. *JMEL: Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(1).
- Wibowo, S. A. (2009). *Kajian Pengaruh Komposisi Dan Perekat Pada Pembuatan Briket Sekam Padi Terhadap Kalor Yang Dihasilkan.bunches*. Disertasi Ilmu Lingkungan, Universitas Riau.
- Daud, P. (2013). Karakteristik Termal Briket Arang Serbuk Gergaji Kayu Meranti. *Jurnal Mekanikal*, 4(2), 410–415.
- Jahidin, J. P. (2015). Pengaruh pengasapan sekam padi terhadap kualitas fisik dan kimia dendeng batokok. *Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Peternakan*, 18(2), 89–97.
- Jumiati, E. (2021). Karakteristik Sifat Fisis Briket Bioarang Berbahan Dasar Kulit Durian. *Jurnal Ikatan Alumni Fisika*, 7(4), 8–12.

6. Jumiat, E. (2020). Pengaruh Sifat Mekanik dan Laju Pembakaran pada Briket Bioarang Kulit Durian dengan Perikat Tepung Tapioka. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, **5**(1).
7. Pari, G., Widayati, D. T., & Yoshida, M. (2009). Mutu arang aktif dari serbuk gergaji kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, **27**(4), 381–398.
8. Arif. (2006). *Pengaruh Penambahan Fiber Serabut Kelapa Terhadap Kuat Geser Balok Beton Bertulang*. Skripsi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
9. Erlia, D., Darusman, F., & Darma, G. C. E. (2016). Pembuatan Briket Penghalau Nyamuk (Repellent) dari Daun Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) dan Evaluasinya. *Prosiding Farmasi*, 552–558.
10. Zhang, J., Stanley, R. A., Melton, L. D., & Skinner, M. A. (2007). Inhibition of lipid oxidation by phenolic antioxidants in relation to their physicochemical properties. *Pharmacologyonline*, **1**, 180–189.
11. Sudiarta, I. P., Sumiartha, K., & Antara, N. S. (2013). Utilization of essential oil of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) as a bio-pesticide to control *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *E-Jurnal Agroetnologi Tropika*, **2**(1), 1–5.
12. Jumiat, E. (2019). *Uji Komposisi Pembuatan Briket Bio Arang Kulit Durian*. Sumatera Utara: UINSU Medan.



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

## REDUKSI BAKTERI TOTAL COLIFORM DAN *ESCHERICHIA COLI* PADA AIR SUMUR DENGAN MENGGUNAKAN POT KERAMIK BERBAHAN SEKAM PADI DAN ZEOLIT

**Masthura, Ratni Sirait, Nurul Rizki Amalia\***

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

\*E-mail korespondensi: [nurulrizkiamalia171099@gmail.com](mailto:nurulrizkiamalia171099@gmail.com)

### ABSTRACT

*Well water has been tested using ceramic pots made from clay, rice husk and zeolite which aims to determine the effect of variations in the composition of materials in ceramic pots on reducing levels of total coliform and escherichia coli, as well as to determine the effectiveness of ceramic pots in reducing these bacteria. Variations in clay, rice husk and zeolite ceramic pot materials in the samples were A (60% : 20% : 20%), B (50% : 20% : 30%), and C (40% : 20% : 20%) with a sieve size of 100 mesh which is flowed with a batch system. The process of making ceramic pots is by burning for 8 hours at a temperature of 850°C – 900°C and producing ceramic pots with a height of 18 cm and a diameter of 21 cm. Total coliform with the highest efficiency of 96,15% and Escherichia coli with the highest efficiency of 100% for 152 hours and 136 hours. While the results of the research on the ceramic membrane sample B were able to reduce total coliform and Escherichia coli with the lowest efficiency of 64,10% within 120 hours.*

**Keywords:** Ceramic Pot, *Escherichia coli*, Rice Husk, Total Coliform, Zeolit.

### ABSTRAK

*Telah diuji air sumur menggunakan pot keramik berbahan tanah liat, sekam padi dan zeolit yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan pada potkeramik terhadap penurunan kadar total coliform dan escherichia coli, serta untuk mengetahui efektifitas pot keramik dalam menurunkan bakteri tersebut. Variasi bahan pot keramik tanah liat, sekam padi dan zeolit pada sampel yaitu A (60% : 20% : 20%), B (50% : 20% : 30%), dan C (40% : 20% : 20%) dengan ukuran ayakan 100 mesh yang dialirkan dengan system batch. Proses pembuatan pot keramik yaitu melalui proses pembakaran selama 8 jam dengan suhu 850°C – 900°C dan menghasilkan keramik dengan bentuk pot yang memiliki ukuran tinggi 18 cm dan diameter 21 cm. Pada nilai total coliform efisiensi tertinggi sebesar 96,15% dan nilai Escherichia coli efisien tertinggi sebesar 100% dengan waktu 152 jam dan 136 jam. Sedangkan hasil penelitian membran keramik sampel B mampu menurunkan total coliform dan Escherichia coli dengan efisien terendah sebesar 64,10% dengan waktu 120 jam.*

**Kata kunci:** Pot Keramik, *Escherichia coli*, Sekam Padi, Total Coliform, Zeolit.

Diterima 09-06-2023 | Disetujui 11-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Air adalah hal yang begitu dibutuhkan manusia, karena air adalah kebutuhan pokok manusia untuk hidup. Air juga sangat penting dan harus dijaga kelestariannya agar dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Air sumur adalah air yang digunakan masyarakat untuk kelangsungan hidup. Untuk digunakan sebagai air minum dan air bersih, air sumur

harus diolah dengan baik dan memiliki derajat pengotor yang tinggi. Air yang digunakan dalam kehidupan haruslah air yang memenuhi standar Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) RI No. 32 Tahun 2017 tentang kualitas air bersih [1,2]. Beberapa segi dalam kualitas air bersih yaitu fisika, kimia, biologi dan radioaktif. Air yang memiliki kualitas baik tidak selalu tersedia di alam, maka dari itu diperlukan penyaringan, baik secara sederhana

maupun modern [3]. Ada banyak cara untuk mengolah air yang tercemari seperti proses pendidihan, penggunaan sinar *ultraviolet* (UV), pasteurisasi, klorinasi, flokulasi, desinfektan, *biosand* filter dan sebagainya. Salah satu alternatif untuk membuat air layak pakai dalam hal sederhana yaitu menggunakan membran keramik.

Membran keramik adalah alatpenyaringan yang terbuatdari campuran tanah liat danbahan organik yang mudah terbakar, misalnya serbuk gergaji, gabus, daun teh, sekam padi, bubuk kopi, gabus, sekam jagung dan lainnya. Penyaringan airdengan menggunakan membran keramik sangat menarik karena biaya yang murah dan terjangkau, kemampuan yang ada pada membran keramik untuk menyaring bakteri dalam air juga sangat efektif [4]. Filter keramik yang digunakan berbentuk pot yang merupakan filter yang lengkap. Air hasil filtrasi sebagian besar keluar dari dinding samping dan bagian bawah filter keramik pot [5].

Tanah liat (*clay*) atau lempung memiliki diameter 4 mikrometer dan berpartikel mineral berkerangka dasar silikat. Sifat tanah liat ditentukan oleh jenis mineral lempung yang mendominasinya [6]. Sekam padi termasuk salah satu sumber penghasil silika yang paling besar setelah melakukan proses pembakaran yang sempurna. Sekam padi adalah satu solusi yang ditemukan oleh para ahli untuk proses penjernihan air [7]. Zeolit salah satu alternatif yang cocok untuk pembuatan membran keramik karena zeolit merupakan bahan yang tidak mudah mengembang jika berada di dalam air dan mudah terbentuk sehingga mendukung untuk pembuatan membran [8].

Total *coliform* adalah Jumlah bakteri yang menunjukkan kehadiran bakteri patogen dan paling tahan terhadap desinfektan. Semakin sedikit bakteri coliform yang ditampilkan, semakin baik kualitas air [9]. *Escherichia coli* merupakan suatu bakteri batang garam negatif yang bisa terbentuk menjadi spora. Air yang sudah terkontaminasi golongan *Escherichia coli* sudah dianggap telah terinfeksi dengan kotoran manusia [10].

Penelitian ini akan membahas mengenai penurunan kadar bakteri total *coliform* dan *Escherichia coli* pada air sumur menggunakan pot keramik berbahan tanah liat, sekam padi dan zeolit dengan menggunakan tiga variasi sampel. Air yang diambil pada penelitian ini air sumur yang berlokasi di Desa Bantan Kecamatan Medan Tembung.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui reduksi bakteritotal *coliform* dan *Escherichia coli* pada air sumur dengan menggunakan media pot keramik dengan media tanah liat, sekam padi dan zeolit. Bahan penelitian yang digunakan tanah liat, sekam padi, zeolit, aquades, sampel air sumur, dan bahan uji total *coliform* dan *Escherichia coli*. Alat penelitian yang digunakan jerigen 35 liter, tungku pembakaran, ayakan, gelas ukur, ember, timbangan, alat ukur, keran air dan cool box.

Pada penelitian ini menggunakan pot keramik yang terdiri dari tiga pot keramik, dimana dari masing-masing tinggi variasi 18 cm, ketebalan membran 1 cm dan diameter membran 21 cm dengan variasi membran sebagai berikut:

- Sampel A: Tanah liat 60%, sekam padi 20%, zeolit 20% dengan ukuran bahan 100 mesh.
- Sampel B: Tanah liat 50%, sekam padi 20%, zeolit 30% dengan ukuran bahan 100 mesh.
- Sampel C: Tanah liat 40%, sekam padi 20%, zeolit 20% dengan ukuran bahan 100 mesh.

*Cool box* penampung membran yang terbuat dari bahan plastik yang memiliki tutup, dengan diameter 22 cm dan tinggi 31 cm. Pot keramik diletakkan di atas *cool box* penampung filter. Air dimasukkan kedalam membran sebanyak 3 liter lalu air akan melewati membran dan ditampung di bak penampung. Adapun desain unit pot keramik pada penelitian yaitu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Desain unit membran keramik.

Tahapan penelitian ini meliputi tiga tahap. Tahap I, Analisis kualitas air sumur sebelum pengaplikasian filter air. Tahap II, pembuatan pot keramik dari tanah liat, sekam padi dan zeolit. Tahap III, Analisis kualitas air sumur setelah pengaplikasikan filter air.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel air yang digunakan dalam penelitian ini diambil langsung dari sumur di Jalan Letda Sujono Desa Bantan, Kecamatan Medan Tembung, Kota Medan. Desa Bantan ini merupakan desa yang menggunakan sumur sebagai alat untuk mengambil air. Setelah dilakukan pengujian parameter sampling tanpa variasi pot keramik, maka didapatkan hasil kualitas air sumur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Kualitas air sumur di Desa Bantan.

Jenis Parameter	Status	Permenkes RI No. 32 (2017)	Hasil Pemeriksaan
Total Coliform	MPN / 100 ml	50	78
<i>Escherichia coli</i>	MPN / 100 ml	0	78

Berdasarkan hasil parameter pada tabel di atas, diperoleh hasil yang melebihi Permenkes RI No. 32 Tahun 2017, dimana kadar maksimum total *coliform* di dalam air bersih adalah 50 MPN / 100 ml dan kadar maksimum *Escherichia coli* di dalam air bersih adalah 0 MPN / 100 ml. Oleh karena itu, pengolahan lebih lanjut kualitas air sumur harus dilakukan dengan pot keramik yang terbuat dari tanah liat, sekam padi dan zeolit agar memenuhi baku mutu yang ditentukan.

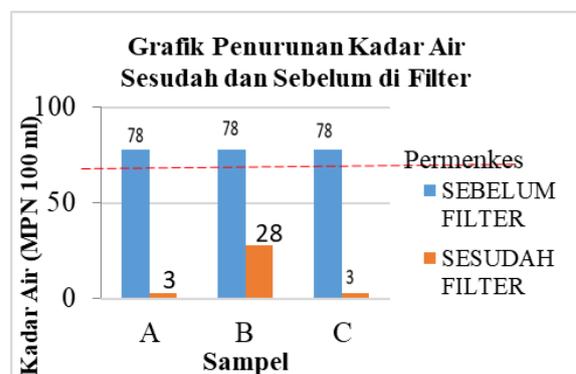
## Efisiensi dalam Mereduksi Parameter Total *Coliform* dengan Membran Keramik

Hasil uji total *coliform* memiliki nilai berbeda setiap sampel, dimana hasil nilai total *coliform* pada pot keramik harus sesuai dengan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017. Tingkat yang diizinkan dalam air bersih adalah 50 MPN / 100 ml.

**Tabel 2.** Penurunan parameter total *coliform* pada membran keramik.

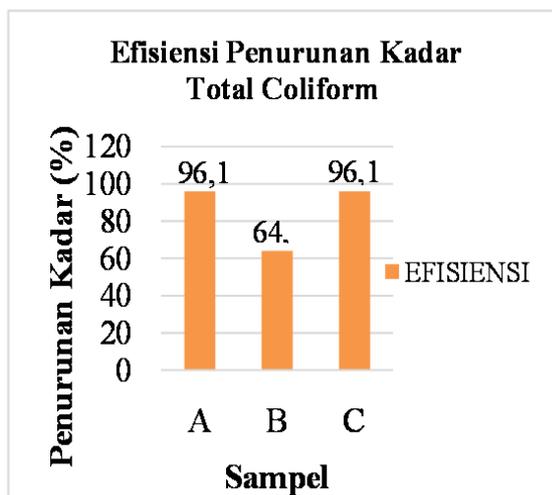
Sampel	Air Sebelum Filter (MPN / 100 ml)	Air Sesudah Filter (MPN / 100 ml)	Efisiensi (%)
A	78	3	96,15
B	78	28	64,10
C	78	3	96,15

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa hasil pengujian total *coliform* diatas menunjukkan bahwa reduksi terbesar total *coliform* adalah membran keramik sampel A dan C dengan nilai penurunan kadar mencapai 3 MPN / 100 ml. sedangkan penurunan kadar terendah ditunjukkan oleh membran keramik sampel B dengan nilai kadar sebesar 28 MPN / 100 ml.



**Gambar 2.** Grafik penurunan kadar air total *coliform* sesudah dan sebelum di filter menggunakan pot keramik.

Gambar 3 memperlihatkan efisiensi terendah pada penurunan total *coliform* yaitu pot keramik sampel B dengan nilai efisiensi sebesar 64,10%. Sedangkan efisiensi tertinggi pada data penelitian menunjukkan pada pot keramik sampel A dan sampel C dengan nilai efisiensi mencapai 96,15%.



**Gambar 3.** Grafik efisiensi penurunan kadar air total *coliform* sebelum dan sesudah di filter menggunakan pot keramik.

Berdasarkan nilai parameter total coliform yang diperoleh dari hasil sampel A, B, dan C yang melewati membran keramik hasilnya berada di bawah baku mutu. Namun grafik tersebut juga menunjukkan hasil yang cenderung bervariasi. Hal ini dikarenakan pada saat mencetak pot keramik yaitu dengan tangan, maka proses pengepresannya kurang efisien dibandingkan dengan menggunakan mesin pengepres. Tentu saja, itu juga menambah ruang pori karena kompresi yang tidak merata dan pencampuran yang tidak merata. Butuh waktu lama untuk menekan tanah liat ke dalam cetakan dengan tangan. Pengepresan bentuk dengan tangan membutuhkan campuran tanah liat yang mengandung air relatif lebih banyak agar bahan-bahan tersebut menahan bentuk dan tetap menyatu. Lebih mudah untuk menggunakan pengepres dengan hasil yang konsisten daripada membentuk pot keramik secara manual.

#### Efisiensi dalam Mereduksi Parameter *Escherichia coli* dengan Membran Keramik

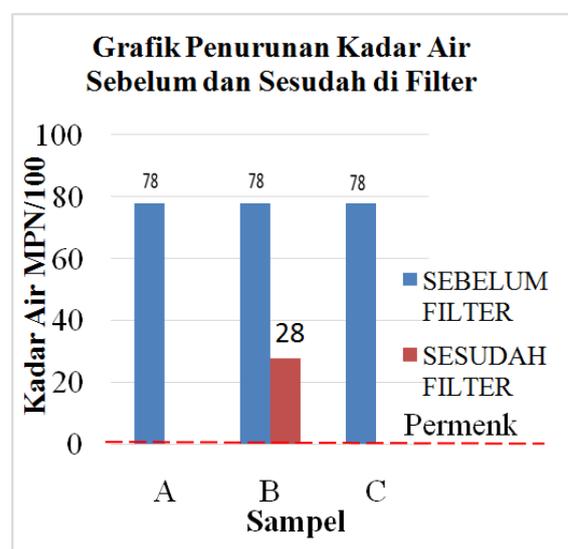
Hasil pengujian pada bakteri *Escherichia coli* memiliki hasil yang tidak sama, dimana pada nilai *Escherichia coli* pada membran keramik sampel A dan C berada dibawah standar yang ditetapkan Permenkes RI No. 32 Tahun 2017 tentang kadar maksimum yang

dihasilkan dalam air bersih adalah 0 MPN / 100 ml. Sedangkan pada membran keramik sampel B belum melewati standar yang telah ditetapkan.

**Tabel 3.** Penurunan parameter *Escherichia coli* pada membran keramik.

Sampel	Air Sebelum Filter (MPN / 100 ml)	Air Sesudah Filter (MPN / 100 ml)	Efisiensi (%)
A	78	0	100
B	78	28	64,10
C	78	0	100

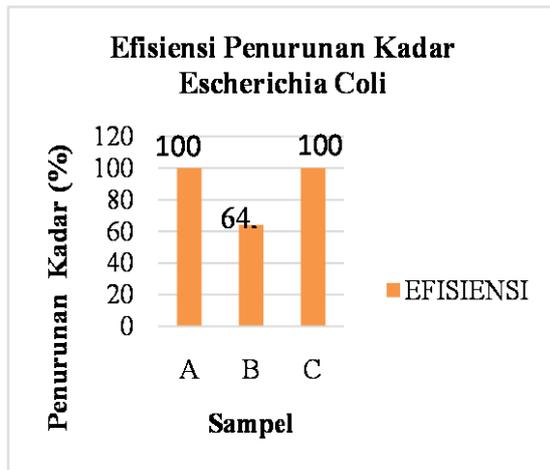
Mengacu pada Gambar 4 terlihat dari hasil pengujian *Escherichia coli* pada ketiga membran dengan variasi material yang berbeda mengalami penurunan yang sangat drastis. Grafik hasil pengujian *Escherichia coli* di atas menunjukkan bahwa reduksi terbesar *Escherichia coli* adalah dengan membran keramik sampel A dan C dengan nilai penurunan kadar mencapai 0 MPN / 100 ml. Sedangkan penurunan kadar terendah ditunjukkan oleh membran keramik sampel B dengan nilai kadar sebesar 28 MPN / 100 ml.



**Gambar 4.** Grafik penurunan kadar air *Escherichia coli* sebelum dan sesudah melewati membran keramik.

Dalam Gambar 5 nilai pada efisiensi terendah penurunan *Escherichia coli* terdapat pada data penelitian yang menunjukkan pada membran keramik sampel B dengan nilai

efisiensi sebesar 64,10%. Sedangkan efisiensi tertinggi pada data penelitian menunjukkan pada membran keramik sampel A dan C dengan nilai efisiensi mencapai 100%.



**Gambar 5.** Grafik efisiensi penurunan kadar air *Escherichia coli* sebelum dan sesudah melewati membran keramik.

Pada dasarnya air yang terinfeksi *Escherichia coli* adalah air yang sudah terkena kotoran manusia. Oleh sebab itu harus di periksa bakteriologik. Kualitas air yang sudah terkena parameter mikrobiologis harus diuji sehingga tidak akan membahayakan kesehatan si pengguna. Apabila air sudah terinfeksi bakteri ini, maka air tersebut di boleh digunakan.

## KESIMPULAN

Komposisi bahan berpengaruh terhadap reduksi bakteri total *coliform* dan *Escherichia coli* pada sampel air. Membran keramik pot sudah efektif sebagai alat pemfilteran air bersih yang terjangkau dan berguna. Pot keramik yang paling efektif dalam menurunkan bakteri total *coliform* dan *Escherichia coli* adalah membran keramik sampel A dan C dengan ukuran ayakan 100 mesh. Sedangkan pot keramik B dengan ukuran ayakan 100 mesh kurang efektif. Efisiensi terbaik pot keramik dalam menurunkan total *coliform* dan *Escherichia coli* yaitu sebesar 96,15% dan 100% menjadi layak sesuai standar Permenkes RI No. 32 Tahun 2017.

## REFERENSI

1. Permenkes RI. (2017). Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 32 Tahun 2017 Tentang Standar Persyaratan Kualitas Air Bersih.
2. Standar Nasional Inonesia. (2008). SNI 6989.58:2008 Air dan Air Limbah – Bagian 58: Metoda Pengambilan Contoh Air Tanah.
3. Asmadi, K., & Kasjono, H. S. (2011). *Teknologi Pengolahan Air Minum*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
4. Widodo. (2015). *Study of Total Coliform Reduction in Springs Using Clay Filter*. Semarang: Universitas Diponegoro.
5. Mawarni, H. (2018). *Studi Pembuatan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat dan Serbuk Gergaji untuk Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform Air Sungai Deli*. Skripsi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara.
6. Ma'ruf, A., Budiana, B., & Mulyadi, A. H. (2015). Pembuatan dan Karakterisasi Membrane Keramik TiO<sub>2</sub> untuk Ultrafiltrasi. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, 3.
7. Saragih, M. (2018). *Studi Pembuatan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat dan Sekam Padi untuk Menurunkan Kekeruhan dan Total Coliform Air Sungai Deli*. Skripsi Teknik Lingkungan, Universitas Sumatera Utara.
8. Nasir, S., Budi, T., & Silviaty, I. (2013). Aplikasi Filter Keramik Berbasis Tanah Liat Alam Dan Zeolit Pada Pengolahan Air Limbah Hasil Proses Laundry. *Bumi Lestari*, 13(1), 45–51.
9. Sari, S. F., & Sutrisno, J. (2018). Penurunan total Coliform pada air tanah

menggunakan membran keramik. *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA*, 16(1), 30-38.

10. Siswoyo, E., & Agustina, R. A. (2009). Penggunaan Membran Keramik Untuk

Menurunkan Bakteri E. Coli Dan Total Suspended Solid (TSS) Pada Air Permukaan. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 1(1), 77-85.



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

## ANALISIS DAN SINTESIS BUNYI PETIKAN KALIMBA MENGUNAKAN TRANSFORMASI FOURIER

Abd. Djamil Husin\*, Indriyanti Rahmi Setyani, Sidikrubadi Pramudito,  
Sitti Yani, Ardian Arif Setiawan

Jurusan Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor

\*E-mail korespondensi: [abd.hu@apps.ipb.ac.id](mailto:abd.hu@apps.ipb.ac.id)

### ABSTRACT

*This research aims to analyze the sound produced by kalimba plates using the Fourier transformation. This research went through two stages, namely the analysis stage and the synthesis stage. The kalimba plate is plucked with variations in the applied force of 2 N to 5.5 N. The sound of the kalimba pluck is recorded using a sound sensor connected to PASCO Capstone software so that a deviation graph is produced as a function of time. The data obtained was then analyzed using Octave software. The research results show that the frequency is directly proportional to the damping coefficient value. The higher the frequency, the higher the frequency spectrum will be widened. The resulting Fourier coefficients only capture the values of the fundamental harmonic frequencies. This is because the kalimba plate has high rigidity.*

**Keywords:** Damping Coefficient, Fourier Coefficient, Frequency, Kalimba Plate.

### ABSTRAK

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bunyi yang dihasilkan pelat kalimba menggunakan transformasi fourier. Penelitian ini melalui dua tahapan, yaitu tahap analisis dan tahap sintesis. Pelat kalimba dipetik dengan variasi gaya yang diberikan sebesar 2 N hingga 5,5 N. Bunyi petikan kalimba direkam menggunakan sensor bunyi yang terhubung dengan software PASCO Capstone sehingga dihasilkan grafik simpangan sebagai fungsi waktu. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan software Octave. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi berbanding lurus dengan nilai koefisien redaman. Semakin tinggi frekuensi akan menyebabkan pelebaran spektrum frekuensi yang semakin tinggi. Koefisien fourier yang dihasilkan hanya menangkap nilai dari frekuensi harmonik dasar. Hal ini disebabkan karena pelat kalimba memiliki ketegaran yang tinggi.*

**Kata kunci:** Koefisien Redaman, Koefisien Fourier, Frekuensi, Pelat Kalimba.

Diterima 09-06-2023 | Disetujui 12-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Bunyi merupakan gelombang mekanik yang merambat melalui medium. Bunyi ini dihasilkan oleh getaran partikel-partikel penyusun medium tersebut yang memiliki frekuensi yang dinyatakan dalam hertz. Sedangkan gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang dapat terjadi di medium cair, gas, dan padat. Gelombang bunyi dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan jangkauan frekuensinya yaitu infrasonik, audiosonik dan ultrasonik. Telinga manusia hanya dapat

mendengar bunyi secara langsung pada jangkauan bunyi audiosonik yang memiliki frekuensi antara 20 Hz sampai 20.000 Hz. Fenomena gelombang bunyi ini dapat ditemui dalam kehidupan sehari-hari, seperti suara orang berbicara dan bunyi alat musik.

Musik tercipta dari harmonisasi susunan tangga nada dalam bentuk gelombang bunyi [1]. Oleh karena itu, tidak semua bunyi dapat dikategorikan sebagai musik seperti suara klakson kendaraan di jalanan [2-4]. Alat musik memiliki bentuk dan ukuran yang beragam dan dapat dimainkan dengan cara yang berbeda.

Salah satunya adalah dengan cara dipetik. Kalimba merupakan contoh alat musik yang dimainkan dengan cara dipetik dan tergolong ke dalam jenis *lamellophone* (alat musik berpelat tipis) [5]. Harmonisasi dalam kalimba dihasilkan dari petikan pelat besi yang tersusun rapi. Pemanfaatan musik dalam kehidupan manusia sangat beragam. Mahatidanar dan Nisa (2017) meneliti pengaruh musik klasik terhadap penurunan tekanan darah pada lansia penderita hipertensi [6]. Selain itu, musik juga dapat digunakan sebagai sarana untuk menurunkan stress [7,8].

Kebermanfaatan musik menjadikan pengetahuan analisis dan sintesis bunyi menjadi penting. Dengan adanya pengetahuan tersebut peneliti dapat mengkaji karakteristik dari sebuah bunyi, sehingga dapat membuat prediksi bunyi dengan karakteristik yang diinginkan berdasarkan data yang sudah ada. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilakukan analisis dan sintesis bunyi pada kalimba agar dapat mengetahui karakteristik harmonik yang dihasilkan dari petikan kalimba. Kalimba digunakan sebagai sumber bunyi pada penelitian ini dikarenakan petikan kalimba menghasilkan gelombang bunyi yang periodik [9,10]. Gelombang bunyi yang periodik tersebut dapat diuraikan dalam deret Fourier sehingga dengan metode transformasi fourier dapat diketahui komponen-komponen penyusun bunyi kalimba.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai karakteristik bunyi kalimba pada masing-masing pelat yang dapat ditinjau dari amplitudo, frekuensi, dan redaman bunyi yang dihasilkan. Transformasi Fourier merupakan metoda alternatif yang dapat digunakan untuk menganalisis sinyal periodik dari bunyi kalimba. Data hasil analisis kemudian disintesis menggunakan Octave. Bunyi petikan kalimba dideteksi dengan menggunakan sensor bunyi kemudian disalurkan ke *ScienceWorkshop 750 interface* dan data terbaca pada komputer.

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

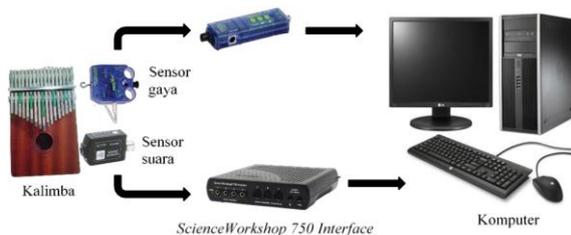
Alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa kalimba (Gambar 1), perangkat keras dan perangkat lunak pengolahan data. Perangkat keras terdiri dari laptop Acer Aspire V5 dengan spesifikasi Processor IntelCeleron terinstal OS Windows 8.1 Pro, komputer, sensor bunyi, sensor gaya, *ScienceWorkshop 750 interface*, *CMA Interface* dan kalimba. Perangkat lunak yang digunakan adalah PASCO Capstone, Coach 7 Lite, Microsoft Excel dan Octave.



**Gambar 1.** Alat musik kalimba.

### Tahap PengambilanData

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sensor bunyi yang terhubung dengan *interface* dan dihubungkan dengan *software* PASCO pada komputer agar data dapat terbaca secara langsung. Tujuh belas pelat kalimba ditarik menggunakan benang yang terhubung dengan sensor gaya dan *interface*. Variasi gaya dilakukan menggunakan sensor gaya sebesar 2,0 N; 2,5 N; 3,0 N; 3,5 N; 4,0 N; 4,5 N; 5,0 N dan 5,5 N. Perbedaan bunyi yang dihasilkan oleh kalimba dengan variasi gaya ini ditangkap menggunakan sensor suara. Perekaman dilakukan selama 5 detik. Skema pengambilan data ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema pengambilan data.

### Tahap Analisis

Data yang dihasilkan pada tahap pengambilan data yaitu berupa grafik simpangan terhadap waktu yang kemudian digunakan pada tahap analisis (Gambar 3). Bunyi yang dihasilkan kalimba berasal dari dua sumber yaitu sumber primer berasal dari pelat kalimba dan sumber sekunder berasal dari badan kalimba yang ikut bergetar. Grafik yang dihasilkan pada tahap pengambilan data menunjukkan adanya penurunan amplitudo seiring berjalannya waktu karena terjadi redaman [11]. Persamaan yang digunakan untuk mencari simpangan maksimum pada tahap analisis adalah:

$$A(t) = A_o e^{-kt} \quad (1)$$

dengan  $(t)$  = simpangan maksimum sebagai fungsi waktu (meter),  $A_o$  = simpangan maksimum awal (meter),  $k$  = koefisien redaman bunyi (1/s) dan  $t$  = waktu(s).

Analisis transformasi Fourier dilakukan menggunakan fungsi *fast fourier transform* (FFT) yang terdapat pada aplikasi Octave. Nilai koefisien redaman didapatkan berdasarkan perhitungan menggunakan Microsoft Excel dan aplikasi Octave yaitu dengan melakukan konversi data simpangan terhadap waktu ke dalam bentuk tabel kemudian menyaring simpangan maksimum berdasarkan Persamaan (1) menggunakan Octave sehingga diperoleh nilai koefisien redaman.

Hasil yang diperoleh pada tahap analisis adalah nilai koefisien redaman setiap pelat kalimba, lebar spektrum frekuensi dan koefisien fourier berdasarkan hasil transformasi fourier dari  $(t)$  sebagai fungsi waktu ke  $(\omega)$  sebagai

fungsi frekuensi untuk seluruh sinyal yang dihasilkan oleh petikan kalimba (Gambar 3).

### Tahap Sintesis

Tahap sintesis dilakukan dengan menggunakan data yang didapatkan pada tahap analisis. Langkah-langkah pada tahap sintesis adalah:

1. Membuat persamaan fungsi frekuensi sehingga dapat menghasilkan model pulsa berbentuk segitiga.
2. Melakukan substitusi nilai koefisien fourier, lebar frekuensi dan frekuensi harmonik yang diperoleh ke dalam persamaan fungsi frekuensi:

$$\chi(\omega) = Ak \left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega - (f_i - d_i)}{d_i} ; (f_i - d_i) < \omega \leq f_i \\ \frac{\omega - (f_i + d_i)}{d_i} ; f_i < \omega \leq (f_i + d_i) \\ 0 ; \omega \leq (f_i - d_i) \end{array} \right\} \quad (2)$$

dengan  $\chi(\omega)$  = fungsi frekuensi,  $A$  = amplitudo relatif,  $f_i$  = frekuensi harmonik ke- $i$  (Hz),  $k_i$  = koefisien fourier ke- $i$  (1/s),  $d_i$  = lebar spektrum frekuensi.

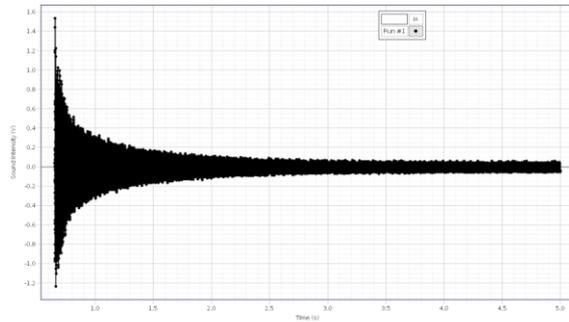
3. Merepresentasikan persamaan (2) menjadi grafik simpangan sebagai fungsi waktu petikan kalimba menggunakan Octave.
4. Melakukan transformasi hasil pada tahap (4) dari  $(\omega)$  sebagai fungsi frekuensi ke dalam  $(t)$  sebagai fungsi waktu menggunakan Octave.
5. Membandingkan grafik hasil sintesis dengan hasil rekaman pada tahap analisis untuk petikan kalimba yang bersesuaian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

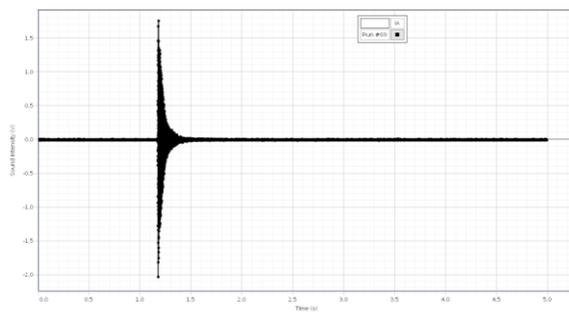
### Simpangan Bunyi terhadap Waktu pada Hasil Rekaman Bunyi Kalimba

Bunyi yang dihasilkan oleh kalimba direkam menggunakan sensor bunyi yang terhubung pada *software* PASCO seperti pada Gambar 5. Sedangkan untuk menghasilkan bunyi, pelat kalimba dipetik menggunakan benang yang telah dikaitkan dengan sensor gaya. Sensor

gaya menampilkan besar gaya dari tarikan benang terhadap pelat dan benang yang akan digunting ketika sensor gaya menampilkan besar gaya yang sesuai. Penelitian ini mengambil data dari nada 1 hingga 93 dengan variasi gaya yang diberikan pada pelat dari 2,0 N hingga 5,5 N.



**Gambar 3.** Grafik hasil rekaman nada 1 pada gaya 2,0 N.

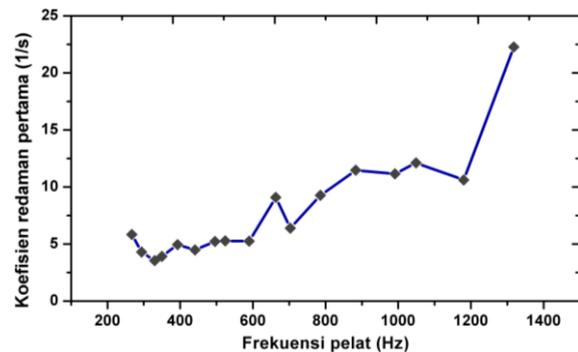


**Gambar 4.** Grafik hasil rekaman nada 93 pada gaya 2,0 N.

Data hasil rekaman yaitu berupa grafik simpangan terhadap waktu yang kemudian akan digunakan untuk melakukan analisis karakteristik bunyi, seperti frekuensi. Hasil yang didapatkan pada Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa terjadi penurunan simpangan bunyi seiring dengan berjalannya waktu. Penurunan simpangan bunyi yang terjadi pada Gambar 4 lebih besar dibandingkan dengan penurunan simpangan bunyi yang terjadi pada Gambar 3. Hal ini dikarenakan perbedaan nada dimana nada 93 memiliki tangga nada lebih tinggi dibandingkan dengan nada 1. Simpangan bunyi akan lebih besar padatanaga nada yang tinggi dan akan mengalami penurunan yang lebih cepat [12].

## Faktor Redaman pada Bunyi Petikan Kalimba

Sensor suara dapat mengubah bunyi yang direkam menjadi energi listrik sehingga simpangan yang diperoleh pada proses pengambilan data dapat dianalogikan sebagai tegangan. Data tegangan tersebut digunakan untuk menghitung koefisien redaman pada petikan masing-masing pelat kalimba (Gambar 5). Data petikan pelat kalimba direkam selama 5 detik, akan tetapi nilai koefisien redaman dihitung selama 0,3 detik ketika bunyi terdengar. Pengambilan data ini dikarenakan selama 0,3 detik sejak bunyi terdengar terjadi penurunan yang signifikan pada simpangan maksimum.



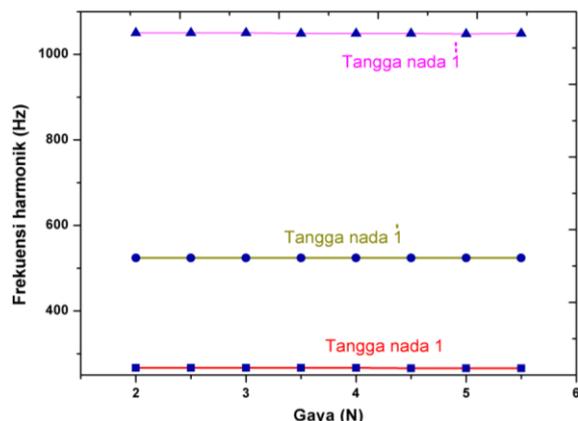
**Gambar 5.** Grafik koefisien redaman petikan kalimba sebagai fungsi frekuensi.

Bunyi petikan kalimba yang dihasilkan mengalami penurunan simpangan akibat adanya redaman yang besarnya ditunjukkan oleh nilai koefisien redaman. Nilai koefisien redaman petikan kalimba dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal dari pelat. Faktor internal yang memengaruhi nilai koefisien redaman yaitu keadaan fisis pelat seperti bahan pembentuk pelat, densitas, panjang dan ketegaran pelat. Keadaan pelat pendek dan ketegaran yang tinggi menghasilkan frekuensi bunyi kalimba yang semakin tinggi. Sedangkan faktor eksternal yang memengaruhi nilai koefisien redaman yaitu keadaan lingkungan kalimba, seperti adanya interferensi dari pelat lainnya dan resonator atau badan kalimba. Nilai koefisien redaman yang diperoleh dari penelitian ini secara umum cenderung

meningkat, hal ini menunjukkan bahwa bunyi yang dihasilkan oleh frekuensi yang tinggi akan cenderung lebih cepat teredam.

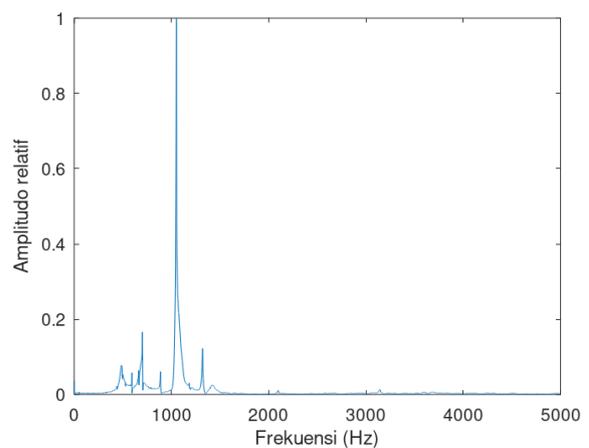
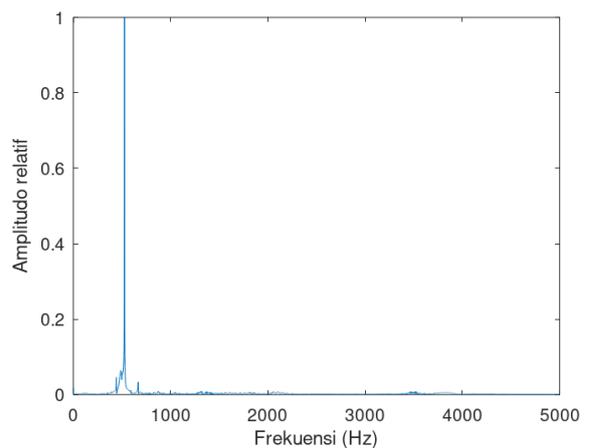
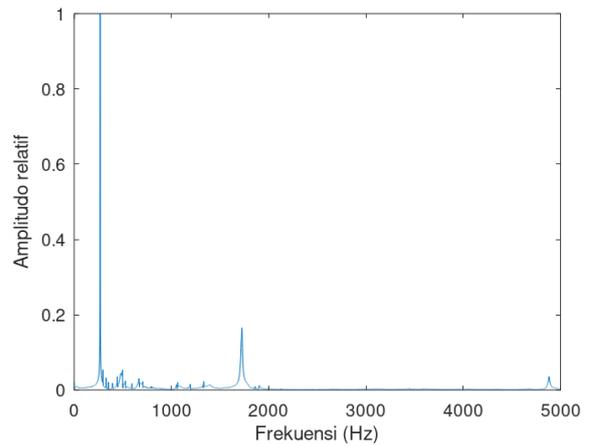
Nilai koefisien redaman dipengaruhi oleh tinggi rendahnya frekuensi. Pelat kalimba yang lebih pendek dan memiliki ketegaran tinggi akan menghasilkan bunyi dengan frekuensi tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi maka nilai koefisien redaman akan cenderung meningkat. Hal ini disebabkan karena setiap pelat menghasilkan resonansi bunyi berbeda-beda. Koefisien redaman yang kecil mengindikasikan adanya resonansi yang besar, begitu pun sebaliknya. Resonansi memiliki keterkaitan dengan interferensi. Ketika salah satu pelat dipetik maka dapat membuat pelat lainnya ikut bergetar dan menghasilkan gelombang bunyi secara bersamaan.

### Karakteristik Bunyi dan Koefisien Fourier pada Bunyi Petikan Kalimba



**Gambar 6.** Grafik frekuensi harmonik dasar terhadap gaya pada nada 1, 1!, dan 91.

Setiap jenis alat musik akan memiliki karakteristik bunyi yang berbeda-beda. Karakteristik bunyi pada kalimba dihasilkan sesuai dengan frekuensi harmonik dan amplitudo relatif. Grafik spektrum amplitudo relatif sebagai fungsi frekuensi merupakan hasil transformasi Fourier dari grafik tegangan sebagai fungsi waktu. Koefisien Fourier diperoleh dari nilai amplitudo relatif pada grafik spektrum amplitudo relatif sebagai fungsi frekuensi. Setiap frekuensi memiliki koefisien Fourier yang berbeda-beda.



**Gambar 7.** Spektrum frekuensi pada nada (a) 1, (b) 1!, dan (c) 91.

Karakteristik bunyi dapat ditunjukkan dengan adanya pergeseran frekuensi harmonik dari frekuensi dasarnya. Pengaruh tegangan yang diberikan pada petikan kalimba terhadap frekuensi harmonik ditunjukkan oleh Gambar 6. Pengaruh tegangan terhadap bunyi petikan kalimba cenderung kecil, ditunjukkan dengan hasil frekuensi harmonik yang tidak mengalami pergeseran signifikan baik pada nada 1, 1!,

maupun 91. Nilai pergeseran frekuensi Gambar 6 menunjukkan bahwa frekuensi harmonik pada nada 1! dan 91 cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa sistem dari kalimba cukup stabil sehingga ketika pelat diberikan gaya petik yang besar, pergeseran frekuensinya tidak nampak dengan jelas.

Kalimba merupakan alat musik yang memiliki pelat *clamped-free* (terikat-bebas) sehingga akan menghasilkan gelombang berdiri dengan frekuensi harmonik ganjil [13,14]. Gambar 7 (a) merupakan grafik hasil analisis frekuensi menggunakan FFT pada nada 1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hanya muncul frekuensi dasar sebagai koefisien Fourier sedangkan frekuensi harmonik lainnya tidak terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa pelat kalimba memiliki ketegaran yang cukup tinggi sehingga ketika dipetik hanya muncul gelombang yang berada pada frekuensi dasar sedangkan gelombang untuk frekuensi harmonik lainnya sulit terbentuk. Selain itu, terdapat frekuensi sebesar 50 Hz yang muncul sebelum frekuensi dasar. Frekuensi ini dapat berasal dari faktor eksternal yang ikut terekam ketika pengambilan suara dilakukan. Spektrum frekuensi pada nada lainnya terlihat pada Gambar 7 (b) dan (c).

**Tabel 1.** Lebar spektrum frekuensi.

Gaya (N)	Lebar Pulsa Frekuensi (Hz)		
	1	1!	91
2,0	36	40	108
2,5	42	43	112
3,0	40	43	123
3,5	40	41	125
4,0	33	43	133
4,5	40	40	120
5,0	40	41	142
5,5	38	44	138

Karakteristik bunyi lainnya yang teramati adalah adanya pelebaran frekuensi padanada. Tabel 1 menunjukkan bahwa nada 91 memiliki pelebaran frekuensi yang paling besar. Semakin tinggi tangga nada menyebabkan pelebaran frekuensi yang semakin besar. Hal ini dapat disebabkan karena adanya hubungan antara

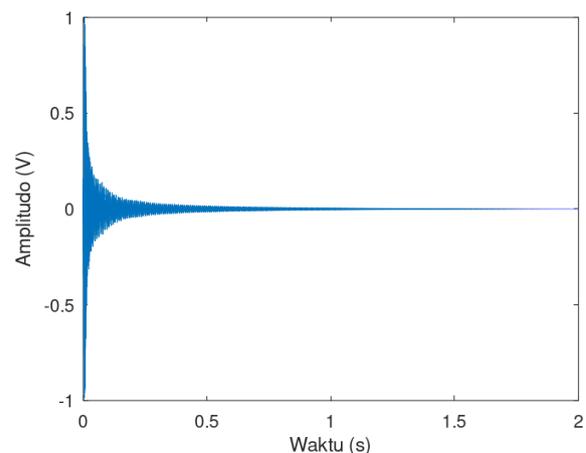
ukuran panjang pelat dengan frekuensi seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (3) berikut:

$$f_n = n \frac{v}{4L} = n f_1 \quad n = 1, 3, 5, \dots \quad (3)$$

dengan  $f_n$  merupakan frekuensi harmonik ke- $n$  yang dihasilkan oleh kalimba untuk  $n$  bilangan ganjil,  $v$  merupakan laju gelombang pada pelat kalimba (m/s),  $L$  merupakan panjang pelat kalimba (m) dan  $f_1$  sebagai frekuensi nada dasar.

Persamaan (3) ini menunjukkan frekuensi bunyi dengan panjang pipa organa tertutup memiliki hubungan berbanding terbalik [15]. Hal tersebut juga berlaku untuk bunyi kalimba. Tangga nada yang tinggi memiliki ukuran pelat lebih pendek. Semakin pendek ukuran pelat kalimba, maka frekuensi bunyi yang dihasilkan semakin tinggi dan pelebaran frekuensi semakin besar.

### Sintesis Bunyi Petikan Kalimba



**Gambar 8.** Grafik simpangan hasil sintesis bunyi sebagai fungsi waktu pada petikan pelat kalimba nada 1.

Tahap sintesis merupakan tahap yang menghasilkan grafik simpangan sebagai fungsi waktu dari transformasi pada fungsi frekuensi. Tahap sintesis bunyi dilakukan berdasarkan data yang telah diperoleh dari tahap analisis seperti nilai koefisien Fourier, frekuensi dan lebar spektrum frekuensi. Nilai tersebut digunakan pada Persamaan (2) kemudian diolah menggunakan Octave sehingga didapatkan

keluaran bunyi sintesis. Keluaran dari tahap sintesis yaitu berupa grafik simpangan sebagai fungsi waktu dan bunyi dari petikan kalimba yang disintesis (Gambar 8).

Tahapan sintesis pada penelitian ini mengambil sebanyak 8 koefisien Fourier untuk masing-masing pelat kalimba. Nilai koefisien Fourier diambil dari puncak yang terlihat pada grafik hasil analisis FFT. Frekuensi dari koefisien Fourier terkait dibutuhkan sehingga bunyi dan grafik sintesis yang dihasilkan sesuai dengan frekuensi hasil rekaman yang sebenarnya. Pada tahap ini digunakan juga data lebar frekuensi dari setiap pelat kalimba dikarenakan setiap frekuensi pelat memiliki pelebaran yang berbeda-beda, semakin tinggi frekuensi maka pelebaran spektrum frekuensi juga semakin besar.

Tahap sintesis menghasilkan bunyi dan grafik sebagai fungsi waktu. Grafik yang dihasilkan tahap sintesis dibandingkan dengan grafik hasil rekaman. Bentuk gelombang yang terdapat pada Gambar 8 memiliki perbedaan yang cukup signifikan dibandingkan dengan Gambar 3 hasil rekaman asli. Hal ini dapat disebabkan karena gelombang bunyi yang dimiliki kalimba cukup kompleks sehingga kualitas nada yang terbentuk masih kurang sempurna.

## KESIMPULAN

Frekuensi pelat memiliki hubungan berbanding terbalik dengan ukuran panjang pelat. Sehingga semakin pendek ukuran pelat kalimba, maka frekuensi bunyi yang dihasilkan semakin tinggi dan pelebaran frekuensi semakin besar. Nilai koefisien redaman berbanding lurus dengan frekuensi. Koefisien Fourier yang dihasilkan petikan kalimba hanya muncul pada frekuensi harmonik dasar. Hal ini dapat disebabkan karena pelat kalimba memiliki ketegaran yang tinggi sehingga gelombang frekuensi harmonik lainnya sukar terbentuk. Hasil sintesis bunyi kalimba menggunakan transformasi Fourier masih memiliki perbedaan yang cukup besar yang diakibatkan oleh bunyi yang dihasilkan

oleh kalimba sangat kompleks sehingga membutuhkan perlakuan data lebih lanjut.

## REFERENSI

1. Kurnia, A., Ngatelan, N., & Hidayatno, A. (2011). *Penala nada alat musik menggunakan alihragam fourier*. Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik.
2. Sankoh, A. S., Musthafa, A. R., Rosadi, M. I., & Arifin, A. Z. (2015). Klasterisasi Jenis Musik Menggunakan Kombinasi Algoritma Neural Network, K-Means dan Particle Swarm Optimization. *Jurnal Buana Informatika*, **6**(3).
3. Abdullah M. (2017). *Fisika Dasar II*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
4. Tipler, P. A. (2001). *Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
5. Rahman, S., & Gusmanto, R. (2020). Pemanfaatan Batok Kelapa Sebagai Media Pembuatan Bio-Instrumen Musik. *Besaung: Jurnal Seni Desain Dan Budaya*, **5**(2).
6. Mahatidanar, A., & Khairun, N. B. (2017). Pengaruh musik klasik terhadap penurunan tekanan darah pada lansia penderita hipertensi. *Agromedicine*, **4**(2), 264–268.
7. Dewi, M. P. (2009). Studi Metaanalisis: Musik untuk menurunkan stres. *Jurnal Psikologi*, **36**(2), 106–115.
8. Anwar, K., Isnaini, M., & Utami, L. S. (2014). Analisis Akord Dmayor Pada Alat Musik Gitar Acoustik. *Jurnal Fisika Indonesia*, **18**(54), 77–81.
9. Blacking, J. (1961). Patterns of Nsenga kalimba music. *African Music: Journal of the International Library of African Music*, **2**(4), 26–43.
10. Chapman, D. M. (2012). The tones of the kalimba (African thumb piano). *The Journal of the Acoustical Society of America*, **131**(1), 945–950.
11. Bakrun, B. (2013). *Pengaruh Variasi Putaran Roll Gulungan Kertas Terhadap Panjang Gelombang Amplitudo Pada Alat*

- Peredam Getaran*. Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Ponorogo.
12. Fletcher, N H., & Rossing, T. D. (2005). *The Physics of Musical Instruments Second Edition*. New York: Springer Science & Business Media.
  13. Garrett, S. L. (2020). *Understanding Acoustics An Experimentalist's View of Sound and Vibration Second Edition*. Pine Grove Mills: ASA Press.
  14. Fetra, N., & Irsyad, M. (2015). Aplikasi Pencarian Chord dalam Membantu Penciptaan Lagu Menggunakan Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) dan Metode Klasifikasi K-Nearest Neighbor (KNN). *Jurnal CoreIT: Jurnal Hasil Penelitian Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, **1**(1), 30–36.
  15. Nurhidayati, A., Lesmono, A. D., & Nuraini, L. (2022). Analisis Frekuensi Bunyi dan Cepat Rambat Gelombang Bunyi pada Alat Musik Tradisional Angklung. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, **11**(3), 85–92.



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

## ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN DAUN JAGUNG PADA KERAMIK BERPORI BERBAHAN DASAR TANAH LEMPUNG

**Ayu Amalya Rahma, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis\***

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

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

### ABSTRACT

*Corn leaves are agricultural waste that contains silica compounds and functions to reduce cracks in the drying of porous ceramics. Variations in the composition of clay and corn leaf ash are: 100% : 0%; 90% : 10%; 80% : 20%; and 70% : 30%. The manufacture of porous ceramics uses a dry pressing technique with a pressure of 4 tons for 10 minutes, using a  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$  mold, fired using a furnace at  $900^\circ\text{C}$  for 2 hours and allowed to cool for 24 hours. The characterization used namely density, porosity, water absorption, hardness and compressive strength. The result of the characterization of porous ceramics is: density  $1,20 - 1,79 \text{ g/cm}^3$ ; porosity 29,75% – 61,03%; water absorption 16,6% – 50,8%; hardness 41,41 – 187,58 MPa; and compressive strength 3,51 – 84,49 MPa. The more addition of corn leaf ash caused an increase in porosity and to water absorption and decrease in density, hardness and compressive strength.*

**Keywords:** Clay, Corn Leaf, Dry Pressing, Material, Porous Ceramics.

### ABSTRAK

*Daun jagung merupakan limbah pertanian yang mengandung senyawa silika dan berfungsi untuk mengurangi retak-retak pengeringan keramik berpori. Tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui pengaruh dalam penambahan abu daun jagung pada keramik berpori. Variasi komposisi lempung dan abu daun jagung adalah: 100% : 0%; 90% : 10%; 80% : 20%; dan 70% : 30%. Pembuatan keramik berpori memakai teknik dry pressing dan diberi tekanan 4 ton selama 10 menit, menggunakan cetakan berukuran  $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ , dibakar dengan tanur pembakaran pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 2 jam dan dibiarkan dingin selama 24 jam. Karakterisasi yang digunakan yaitu densitas, porositas, penyerapan air, kekerasan dan kuat tekan. Karakteristik keramik berpori yang dihasilkan adalah: densitas  $1,20 - 1,79 \text{ g/cm}^3$ ; porositas 29,75% – 61,03%; penyerapan air 16,6% – 50,8%; kekerasan 41,41 – 187,58 MPa; dan kuat tekan 3,51 – 84,49 MPa. Semakin banyak penambahan abu daun jagung menyebabkan peningkatan porositas dan penyerapan air serta penurunan densitas, kekerasan dan kuat tekan.*

**Kata kunci:** Tanah Lempung, Daun Jagung, Dry Pressing, Material, Keramik Berpori.

Diterima 19-06-2023 | Disetujui 17-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Memberikan sedikit desain terhadap bangunan akan memberikan nilai plus terhadap bangunan tersebut. Berbagai macam desain pun telah dikembangkan dari zaman ke zaman mulai dari desain bagian langit-langit rumah dengan plafon, dinding menggunakan batako hingga ke bagian lantai dengan keramik yang secara tidak langsung menuntut manusia agar dapat mengelola pemikiran dengan lebih efektif dan modern. Pemasangan keramik untuk lantai

akan memberikan nilai artistik sehingga ruangan itu akan terlihat lebih rapi, mudah untuk dibersihkan, serta dapat menyerap panas. Keramik yang dapat menyerap panas yaitu keramik yang memiliki pori-pori sebagai sirkulasi udara sehingga dengan menambahkan bahan aditif dapat membantu penyerapannya menjadi lebih maksimal.

Keramik atau “keramos” merupakan kata Yunani yang berarti suatu bentuk dari tanah liat, kemudian mengalami proses pembakaran. Bahan yang digunakan untuk membuat keramik

banyak terdapat di alam, seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  dan lain sebagainya. Keramik bersifat kuat, keras, stabil pada suhu tinggi, dan tidak korosif sehingga cocok digunakan sebagai bahan bangunan [1]. Bahan-bahan keramik yang disebutkan adalah semua bahan yang diperbuat dari bahan tanah ataupun batuan Silikat, dan proses pembuatannya dibakar dengan temperatur yang tinggi [2]. Keramik berpori merujuk kepada keramik dengan pori-pori dengan penyebaran ukuran tertentu dan porositas yang besar, keramik berpori biasanya digunakan untuk insulator termal dan sebagai bahan bangunan [1].

Lempung atau tanah liat memiliki kandungan *hydrated aluminium silica* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) penggunaannya untuk memfasilitasi proses pembentukan keramik, memiliki plastisitas yang mudah dibentuk, memiliki kemampuan mengikat bahan baku non-plastis, dan juga dicampur dengan kuarsa, yang merupakan bentuk lain dari silika dan perannya adalah untuk mengurangi retak selama pengeringan, mengurangi susut waktu dibakar dan mendapatkan kualitas yang baik, termasuk rangka selama dibakar [3]. Bahan campuran dalam pembuatan keramik berpori berbasis tanah lempung ini adalah daun jagung.

Daun jagung merupakan limbah pertanian yang sangat berpotensi untuk dimanfaatkan karena limbah ini belum banyak pemanfaatannya dan sering kali terbuang [4]. Daun jagung mengandung silika yang dapat dijadikan campuran keramik berpori.

Pada penelitian yang telah dilakukan, dibuat suatu bahan bangunan berupa keramik berpori yang memiliki peranan sebagai penyaring udara karena bisa digunakan sebagai saluran sirkulasi udara. Campuran bahan yang digunakan pada pembuatan keramik berpori ini adalah daun jagung yang didapat dari sisa pemanen jagung. Selain itu, pengujian yang dilakukan pada pembuatan keramik berpori berbahan dasar tanah lempung dengan aditif daun jagung adalah pengujian densitas, porositas, penyerapan air, kekerasan, dan kuat tekan.

## TINJAUAN PUSTAKA

Keramik memiliki kandungan bahan campuran dari beberapa fasa yang digunakan untuk bahan padat anorganik yang didapatkan dari paduan unsur logam dan nonlogam. Keramik mempunyai beberapa kelebihan daripada logam. Keramik memiliki kerapatan yang lebih kecil dibandingkan kebanyakan logam. Hal ini membuat keramik lebih disukai sebagai pengganti logam karena mempertimbangkan beratnya. Meskipun memiliki kelebihan, keramik juga memiliki kelemahan yaitu bersifat getas dan kekuatan tariknya yang rendah (mudah patah). Jika logam atau plastik mengalami tekanan maka akan bengkok ataupun berubah bentuk, namun keramik tidak bisa menyerap tekanan sehingga keramik akan menjadi pecah [5].

Keramik berpori adalah keramik yang dibuat mempunyai pori-pori kecil dan mudah dilewati oleh fluida dan pada umumnya dipakai untuk *filter*. Keramik berpori lebih tahan terhadap perubahan temperatur tinggi, korosi dan kontaminasi terhadap material lain, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media filter, antara lain air limbah, gas buang, penguangan logam cair (seperti timah) dan lain sebagainya. Penambahan zat aditif dapat memengaruhi kemampuan penyerapannya [6].

Selain kemampuan dalam menyerap, porositas pada keramik berpori juga penting, karena keramik berpori memiliki pori yang kecil dan bisa menyerap fluida (seperti udara dan air). Berbagai teknik seperti pengeringan suhu rendah digunakan untuk memproduksi keramik dengan ukuran pori yang sangat kecil (mikro). Ini juga dapat dilakukan dengan proses pembakaran yang berfungsi untuk menghilangkan material organik dan menghasilkan pori-pori. Disisi lain, cara pencetakan (*forming method*) dapat digunakan baik dengan *slip casting* atau *dry pressing*. Selanjutnya dibentuk dan dibakar menghasilkan penyebaran pori yang sesuai [7].

Abu daun jagung merupakan hasil abudari pembakaran daun jagung sisa panen yang memiliki warna kuning kecoklatan dan dibakar

sampai memiliki warna hitam keabu-abuan. Abu daun jagung harus dihaluskan agar dapat dicampurkan dengan bahan-bahan lain untuk membuat keramik. Penghalusan abu daun jagung berperan sebagai bahan pengganti parsial semen yang berguna untuk memfasilitasi sifat fisik dan kimia abu yang memiliki komposisi silika yang baik dan modulus kehalusan yang cukup tinggi [8].

Penelitian sebelumnya oleh Anisah (2019) telah membuat keramik berpori dengan bahan aditif cangkang kemiri dengan metode *dry pressing* [9]. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa pengaruh penambahan karbon aktif yang terkandung pada cangkang kemiri dalam pembuatan keramik berpori berbahan dasar *clay* dengan pengaruh ukuran pori menunjukkan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan tanpa penambahan karbon aktif cangkang kemiri, dan meningkatkan porositasnya.

Ridayani *et al.* (2017) telah menganalisis porositas dan susut bakar keramik berpori berbasis *clay* dan serat tandan kosong kelapa sawit untuk mengetahui pengaruh variasi TKKS dengan pengaruh porositas dan susut bakar dari keramik yang dihasilkan dengan suhu yang digunakan 945°C. Dengan hasil material serat tandan kosong kelapa sawit efektif sebagai penggunaan *pore-forming* dengan penambahan hingga 30% bobot [10].

## METODE PENELITIAN

Dilakukan penelitian di Laboratorium Fisika Unimed dan Laboratorium Fisika Material PTKI Medan. Adapun peralatan yang digunakan meliputi kertas label, plastik klip, jangka sorong, mortar dan lumpang, *beaker glass*, ayakan, neraca digital, cetakan, tanur/tungku pembakaran, *AC hydraulic press*, *vickers hardness machine*, dan *universal testing machine*. Sedangkan penggunaan material dalam penelitian ini adalah: lempung, daun jagung, larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 0,1 M dan aquades. Prosedur pembuatan keramik berpori berbasis tanah lempung dengan aditif daun jagung dimulai dengan menyiapkan bahan-bahan (tanah lempung dan daun jagung),

pembakaran daun jagung dengan suhu 600°C dan dikumpulkan abu daun jagung untuk dicampurkan dengan tanah lempung, dihaluskan abu daun jagung menggunakan mortar dan lumpang lalu mengayak abu daun jagung dengan ukuran butir 100 mesh, mengaktivasi tanah lempung dengan larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 M selama 24 jam dan dibilas tanah lempung sampai mencapai pH netral dengan aquades, pengeringan lempung dengan temperatur 100°C dalam waktu 2 jam didalam tanur pembakaran, menghaluskan tanah lempung menggunakan mortar dan lumpang dilanjut dengan pengayakan dengan ukuran butir 100 mesh, membuat sampel yang memiliki ukuran pada cetakan 3 × 3 × 3 cm<sup>3</sup>, membuat sampel ditambah campuran tanah lempung dan abu daun jagung dengan variasi yaitu sampel A (100% : 0%), B (90% : 10%), C (80% : 20%), dan D (70% : 30%) dengan ditambahkan aquades tetes demi tetes, kemudian aduk sampai campuran homogen dengan alat mortar dan lumpang kemudian dimasukkan kedalam cetakan, keramik berpori dicetak dengan metode *dry pressing* dengan diberi tekanan 4 ton dan ditahan 10 menit, dikeringkan sampel dengan waktu 3 hari yang bertujuan untuk menghilangkan komposisi air pada sampel, pembakaran sampel ditanur pembakaran dengan temperatur 900°C, dan *holding time* selama 2 jam dan sampel dibiarkan dingin didalam tanur pembakaran selama 24 jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Densitas

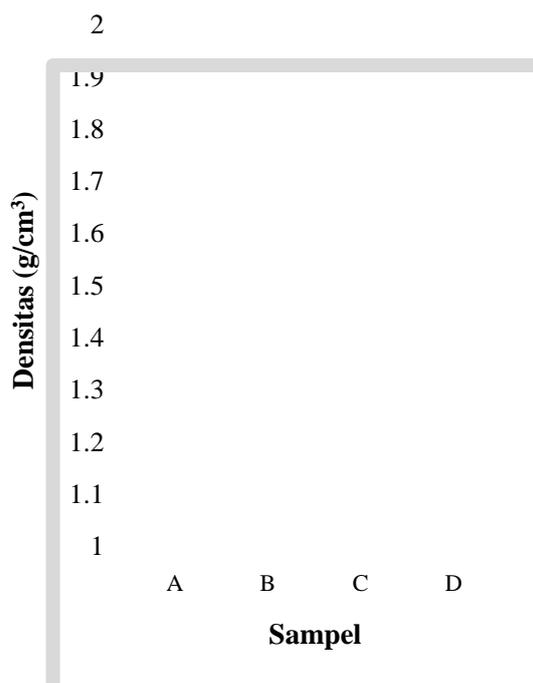
Pengujian densitas dilakukan untuk mengetahui kerapatan dari bahan dalam penentuan kualitas pada keramik berpori. Pengujian yang dihasilkan pada uji densitas pada keramik berpori telah disajikan seperti pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 menunjukkan bahwa pengujian densitas sampel keramik berpori pada sampel A didapatkan nilai sebesar 1,79 g/cm<sup>3</sup>, pada sampel B sebesar 1,54 g/cm<sup>3</sup>, pada sampel C

sebesar 1,27 g/cm<sup>3</sup> dan pada sampel D sebesar 1,20 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan nilai yang telah dihasilkan, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Hasil pengujian densitas.

Sampel	Densitas (g/cm <sup>3</sup> )	Densitas rata-rata (g/cm <sup>3</sup> )
A	1,81	1,79
	1,78	
	1,77	
B	1,59	1,54
	1,53	
	1,48	
C	1,22	1,27
	1,28	
	1,32	
D	1,19	1,20
	1,21	
	1,20	



**Gambar 1.** Grafik nilai densitas terhadap sampel.

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai densitas terbesar dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel B dengan komposisi tanah lempung 90% dan abu daun jagung 10%. Sedangkan nilai densitas terkecil dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel D dengan komposisi tanah

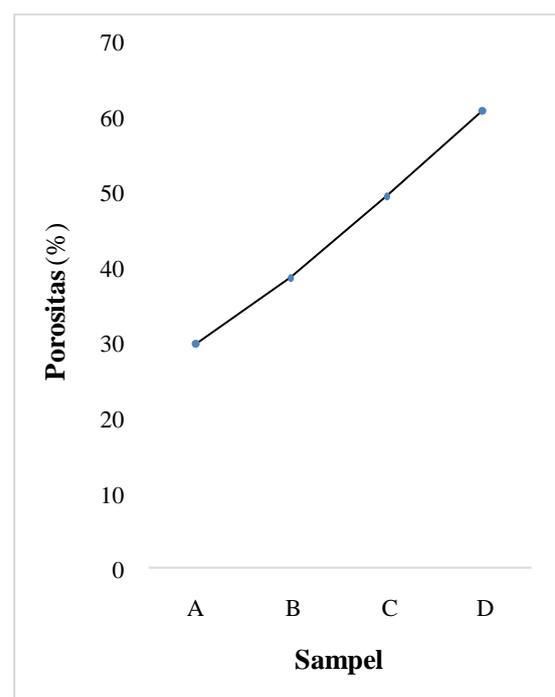
lempung 70% dan abu daun jagung 30%. Penurunan nilai densitas menunjukkan bahwa penambahan abu daun jagung sangat mempengaruhi nilai kerapatan pada keramik berpori.

### Porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui besar persentase pori-pori sampel terhadap volume pada sampel keramik berpori. Uji Porositas pada sampel yang dihasilkan telah disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Hasil pengujian porositas.

Sampel	Porositas (%)	Porositas rata-rata (%)
A	30,57	29,75
	29,12	
	29,57	
B	38,95	38,64
	38,79	
	38,19	
C	47,11	49,56
	50,53	
	51,04	
D	60,35	61,03
	63,37	
	59,38	



**Gambar 2.** Grafik nilai porositas terhadap sampel.

Dari Tabel 2 diatas menunjukkan bahwa pengujian porositas sampel keramik berpori pada sampel A didapatkan nilai sebesar 29,75%, sampel B sebesar 38,64%, sampel C sebesar 49,56% dan sampel D sebesar 61,03%. Berdasarkan nilai yang telah dihasilkan, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa nilai uji porositas pada variasi sampel mengalami kenaikan yang menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi abu daun jagung maka semakin banyak bekas pori yang dihasilkan pada keramik berpori. Bekas pori yang dihasilkan terjadi akibat abu daun jagung yang mengandung silika melebur pada proses pembakaran keramik berpori. Nilai yang paling baik untuk keramik berpori didapatkan pada sampel B dengan komposisi tanah lempung 90% dan abu daun jagung 10%.

### Penyerapan Air

Uji penyerapan air bertujuan untuk mendapatkan nilai kemampuan bahan dalam menyerap air pada sampel keramik berpori. Hasil dari pengujian penyerapan air pada keramik berpori yang dihasilkan telah disajikan pada Tabel 3.

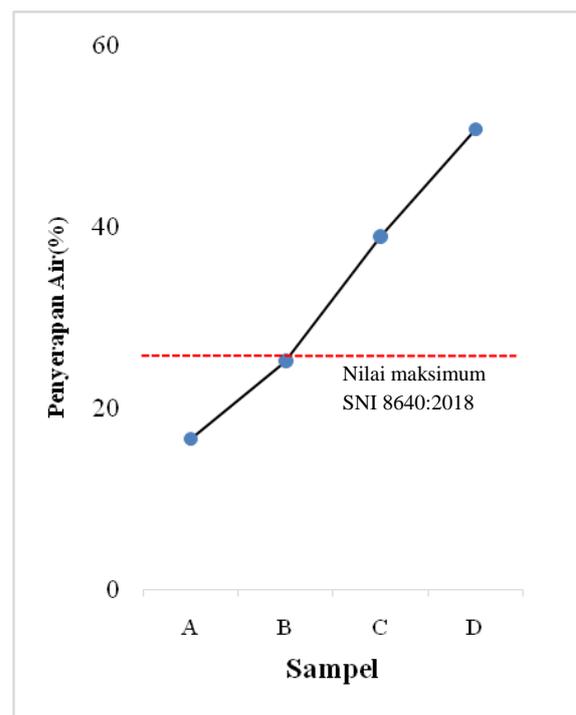
**Tabel 3.** Hasil pengujian penyerapan air.

Sampel	Penyerapan air (%)	Penyerapan air rata-rata (%)	SNI 8640:2018
A	16,72	16,60	Maks. 25%
	16,38		
	16,69		
B	24,55	25,18	
	25,28		
	25,71		
C	38,47	38,96	
	39,62		
	38,80		
D	50,55	50,80	
	52,27		
	49,59		

Dari Tabel 3 diatas menunjukkan bahwa pengujian penyerapan air sampel keramik berpori pada sampel A didapatkan nilai sebesar

16,60%, sampel B sebesar 25,18%, sampel C sebesar 38,96% dan sampel D sebesar 50,80%. Berdasarkan nilai yang telah dihasilkan, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 3.

Pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa nilai uji penyerapan air pada setiap variasi sampel komposisi keramik berpori berbahan dasar tanah lempung dan abu daun jagung mengalami kenaikan yang menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan abu daun jagung maka semakin banyak air yang diserap oleh keramik berpori. Nilai penyerapan air terbesar adalah 50,80% pada sampel dengan komposisi tanah lempung 70% dan abu daun jagung 30% serta nilai penyerapan air terkecil adalah 16,60% pada sampel komposisi tanah liat 100% dan abu daun jagung 0%. Nilai pada sampel B yang optimum sesuai dengan SNI 8640:2018.



**Gambar 3.** Grafik nilai penyerapan air dan sampel.

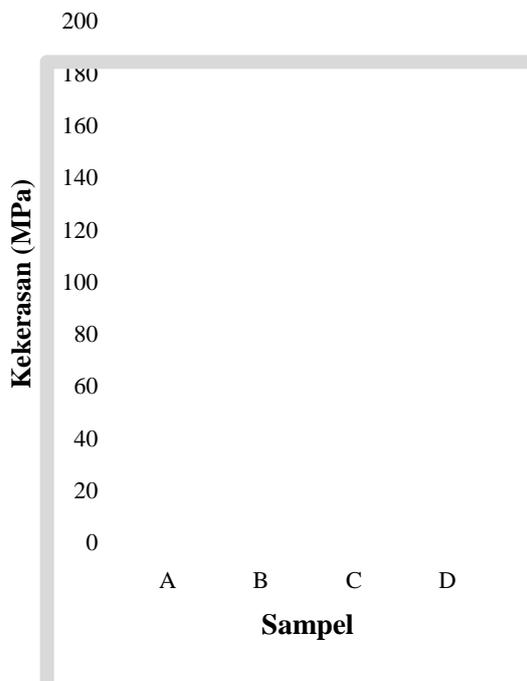
### Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui batas kekerasan pada sampel keramik berpori hingga sampel tersebut hancur. Pengujian kekerasan menggunakan *vickers hardness machine*. Hasil dari pengujian

kekerasan pada keramik berpori yang dihasilkan telah pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Hasil pengujian kekerasan.

Sampel	Kekerasan (MPa)	Kekerasan rata-rata (MPa)
A	176,57	187,58
	198,28	
	187,90	
B	56,02	62,54
	72,56	
	59,04	
C	30,27	44,30
	50,06	
	52,56	
D	37,28	41,41
	51,04	
	35,91	



**Gambar 4.** Grafik nilai kekerasan terhadap sampel.

Dari Tabel 4 diatas menunjukkan bahwa pengujian kekerasan sampel keramik berpori pada sampel A didapatkan nilai sebesar 187,58 MPa, sampel B sebesar 62,54 MPa, sampel C sebesar 44,30 MPa dan sampel D sebesar 41,41 MPa. Berdasarkan nilai yang dihasilkan, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 menunjukkan nilai kekerasan dari penambahan abu daun jagung

terhadap sampel keramik berpori diperoleh pada sampel B dengan komposisi tanah lempung 90% dan abu daun jagung 10% sebesar 62,54 MPa sedangkan kekerasan terkecil dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel D dengan komposisi tanah lempung 70% dan abu daun jagung 30% sebesar 41,41 MPa. Dapat diartikan bahwa penambahan abu daun jagung sangat mempengaruhi kualitas keramik berpori yang ditandai semakin menurunnya nilai kekerasan yang dihasilkan.

### Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan bertujuan untuk mengetahui daya kekuatan suatu benda dalam menahan tekanan atau beban. Hasil dari uji kuat tekan pada sampel yang dihasilkan telah disajikan pada Tabel 5.

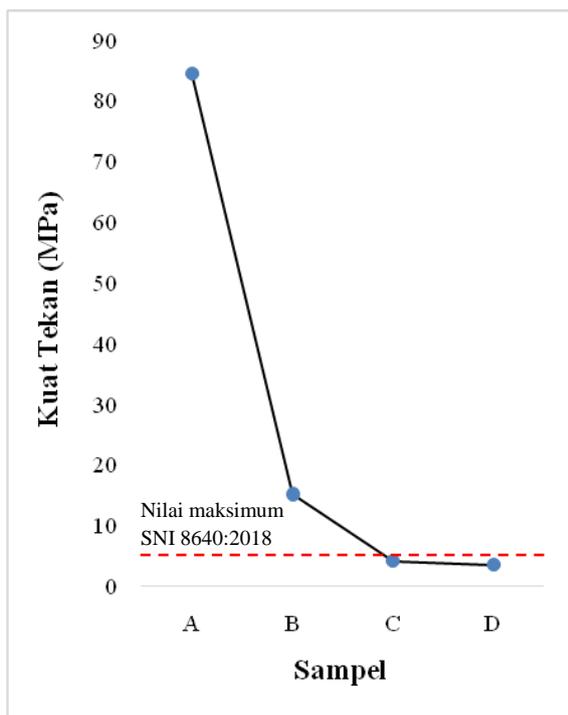
**Tabel 5.** Hasil pengujian kuat tekan.

Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan (MPa)	SNI 8640:2018
A	83,82	84,49	$\geq 4$ MPa
	84,88		
	84,77		
B	17,02	15,11	
	13,42		
	14,88		
C	5,19	4,05	
	3,12		
	3,83		
D	3,13	3,51	
	3,54		
	3,85		

Dari Tabel 5 diatas menunjukkan bahwa pengujian kuat tekan sampel keramik berpori pada sampel A didapatkan nilai sebesar 84,49 MPa, sampel B sebesar 15,11 MPa, sampel C sebesar 4,05 MPa dan sampel D sebesar 3,51 MPa. Berdasarkan nilai yang dihasilkan, maka dapat dibuat grafik seperti pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 memperlihatkan nilai kuat tekan pada setiap variasi sampel memiliki komposisi berbahan dasar tanah lempung dengan aditif daun jagung mengalami penurunan yang menunjukkan bahwa semakin

banyak penambahan abu daun jagung maka semakin banyak rongga (pori) yang dihasilkan dan mengakibatkan keramik menjadi ringan dan rapuh. Nilai kuat tekan terbesar adalah 84,49 MPa pada sampel dengan komposisi tanah lempung 100% dan abu daun jagung 0% serta nilai penyerapan air terkecil adalah 3,51 MPa pada sampel komposisi tanah lempung 70% dan abu daun jagung 30%. Nilai pada sampel yang optimum sesuai dengan SNI 8640:2018.



**Gambar 5.** Grafik nilai kuat tekan dan sampel.

## KESIMPULAN

Penambahan abu daun jagung terhadap keramik berpori berbahan dasar tanah lempung mempengaruhi kualitas keramik berpori yang dihasilkan. Abu daun jagung berperan hanya meninggalkan bekas pori dikarenakan abu daun jagung yang mengandung silika ikut melebur pada proses pembakaran keramik berpori. Variasi yang optimum didapatkan pada sampel B dengan variasi komposisi 90% : 10% dengan menghasilkan karakteristik: densitas 1,54 g/cm<sup>3</sup>, porositas 38,64%, penyerapan air 25,18%, kekerasan 62,54 MPa, dan kuat tekan 15,11 MPa.

## REFERENSI

1. Siagian, H., & Hutabalian, M. (2012). Studi pembuatan keramik berpori berbasis clay dan kaolin alam dengan aditif abu sekam padi. *Jurnal Penelitian Sainatika*, **12**(01), 14–23.
2. Astuti, A. (1997). *Pengetahuan Keramik*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Press.
3. Sitohang, O. (2014). *Sintesis dan Karakterisasi Bahan Keramik Berpori Berbasis Clay dan Zeolit dengan Aditif Tempurung Kelapa*. Skripsi Fisika Material, Universitas Negeri Medan.
4. Fagbemigun, T. K. (2014). *Pulp and Paper-Making Potential of Cornhusk*. Lagos-Nigeria: International Agri Science.
5. Oxtoby, D. W. (2003). *Prinsip-Prinsip Kimia Modern*. Jakarta: Erlangga.
6. Hasanah, M., & Saktisahdan, T. J. (2015). Analisis Sifat Fisis Keramik Berpori Berbahan Debu Vulkanik Gunung Sinabung. *Jurnal Kisaran Sumatera Utara*, **1**(1), 1–6.
7. Katrina, G. (2014). Pemanfaatan limbah kulit kerang sebagai substitusi pasir dan abu ampas tebu sebagai substitusi semen pada campuran beton mutu K-225. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, **2**(3), 308–313.
8. Pinem, P. (2020). *Efek Penggunaan Abu Daun Jagung (yang Sudah Diperhalus) terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton*. Skripsi Fisika Material, Universitas Sumatera Utara.

9. Anisah, F. (2019). *Pembuatan Keramik Berpori Berbasis Clay dengan Aditif Karbon Aktif Cangkang Kemiri*. Skripsi Fisika Material, Universitas Sumatera Utara.
10. Ridayani, D., Malino, M. B., & Asifa, A. (2017). Analisis Porositas dan Susut Bakar keramik Berpori Berbasis Clay dan Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Prisma Fisika*, **5**(2), 51–54.



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

## PENGARUH PENAMBAHAN ADITIF DAUN JAGUNG (*Zea mays L.*) TERHADAP SIFAT FISIS DAN MEKANIK KERAMIK ALUMINA

Ayu Dwi Retno\*, Ety Jumiati, Ridwan Yusuf Lubis  
Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

\*E-mail korespondensi: [ayu.dwiretno@uinsu.ac.id](mailto:ayu.dwiretno@uinsu.ac.id)

### ABSTRACT

*Research has been carried out on the manufacture of alumina ceramics. This study aims to determine the effect of the addition of corn leaf additives on the physical and mechanical properties of alumina ceramics. Variations in the composition of alumina and corn leaf ash are: 95% : 5%; 90% : 10%; and 85% : 15%. The process of making these ceramics uses the die pressing method, and uses variations in firing temperature, namely 1300°C and 1400°C for 1 hour, and is printed using a  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$  mold. the characterization of the tests carried out included physical properties, namely density and porosity and mechanical properties, namely hardness. The results of the data obtained from measuring the density at 1300°C are 2.11 – 2.18 g/cm<sup>3</sup> and at 1400°C they are 2.13 – 2.20 g/cm<sup>3</sup>, the porosity at 1300°C is 25.82% – 27.25% and 1400°C temperature of 25.36% – 26.89%, and 1300°C temperature hardness test of 59.641 MPa – 67.055 MPa and 1400°C temperature of 61.926 MPa – 70.958 MPa.*

**Keywords:** Alumina Ceramic, Ceramic, Corn Leaves.

### ABSTRAK

*Telah dilakukan penelitian pada pembuatan keramik alumina. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan zat aditif daun jagung terhadap sifat fisik dan mekanik keramik alumina. Variasi komposisi alumina dan abu daun jagung adalah: 95% : 5%; 90% : 10%; dan 85% : 15%. Proses pembuatan keramik ini menggunakan metode die pressing, dan menggunakan variasi suhu pembakaran yaitu 1300°C dan 1400°C selama 1 jam, serta dicetak menggunakan cetakan berukuran  $3 \times 3 \times 1 \text{ cm}^3$ . karakterisasi pengujian yang dilakukan meliputi sifat fisik yaitu densitas dan porositas dan sifat mekanik yaitu kekerasan. Hasil data yang diperoleh dari pengukuran massa jenis pada suhu 1300°C adalah 2,11 – 2,18 g/cm<sup>3</sup> dan pada suhu 1400°C adalah 2,13 – 2,20 g/cm<sup>3</sup>, porositas pada 1300°C sebesar 25,82% – 27,25% dan suhu 1400°C sebesar 25,36% – 26,89%, dan suhu 1300°C uji kekerasan sebesar 59,641 MPa – 67,055 MPa dan suhu 1400°C sebesar 61,926 MPa – 70,958 MPa.*

**Kata kunci:** Keramik Alumina, Keramik, Daun jagung.

Diterima 19-06-2023 | Disetujui 17-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan gaya hidup yang modern mendorong manusia untuk selalu menemukan ide-ide yang kreatif misalnya dalam perkembangan dibidang industri yaitu keramik. Ada banyak jenis keramik yang terdapat ditoko-toko bangunan seperti keramik lantai, keramik dinding dan lain- lain sebagainya [1]. Dahulu orang-orang membuat keramik berbahan dasar tanah liat yang diidentik dengan kerajinan tangan hingga

kemudian dikembangkan dengan ilmu pengetahuan hingga saat ini munculah keramik dengan varian baru yaitu keramik alumina. Keramik alumina banyak ditemukan didalam komponen-komponen elektronika seperti resistor, dioda, kapasitor hingga busi.

Alumina adalah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Material jenis ini akan meleleh jika berada pada suhu 2050°C dan dapat mempertahankan kekuatannya pada suhu 1500°C sampai dengan 1700°C [2]. Alumina

sering digunakan dalam berbagai pengaplikasian, dikarenakan mempunyai sifat fisika dan kimia yang cukup tinggi seperti kekuatan yang tinggi, sangat keras, ketahanan panas, temperatur lebur yang tinggi, serta ketahanan abrasi dan korosi yang tinggi [3]. Dalam waktu beberapa tahun terakhir ini permintaan alumina dengan kemurnian yang tinggi berkembang sangat pesat diberbagai sektor dengan seiring meningkatnya pertumbuhan industri mobil, semikonduktor, komputer dan lainnya [4]. Tanaman jagung yang memiliki nama latin *Zea mays L.* merupakan tanaman berumah satu *Monoecious* dimana letak bunga jantan terpisah dengan bunga betina pada satu tanaman [5].

Abu daun jagung merupakan abu yang di hasilkan oleh pembakaran daun jagung yang merupakan limbah setelah panen yang telah kering berwarna kuning kecoklatan dan dibakar sampai berwarna hitam keabu-abuan [6]. Pemakaian abu daun jagung yang telah dihaluskan berfungsi sebagai bahan substitusi parsial semen yang dibuat untuk memanfaatkan sifat fisik dan kimia abu daun jagung yang memiliki kadar silika cukup tinggi dan modulus kehalusan yang baik [7].

Pada penelitian ini akan dibuat suatu material industri berupa keramik alumina. Bahan campuran pada pembuatan keramik alumina ini adalah abu daun jagung yang didapat dari sisa pemanen jagung. Selain itu, parameter karakterisasi pengujian yang dilakukan pada pembuatan keramik alumina dengan aditif daun jagung adalah pengujian densitas, porositas dan kekerasan.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Unimed. Adapun peralatan yang digunakan meliputi kertas label, plastik klip, jangka sorong, mortar dan lumping, *beaker glass*, ayakan, neraca digital, cetakan, tanur / tungku pembakaran, *AC hydraulic press*, dan *vickers hardness machine*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk alumina, abu daun jagung dan aquades.

Prosedur pembuatan keramik alumina dengan aditif daun jagung di mulai dengan menyiapkan bahan-bahan berupa serbuk alumina, abu daun jagung, dan aquades, dicampurkan semua bahan yang sudah ada sesuai dengan takarannya, dicetak sampel dengan cetakan yang sudah disediakan dan ditekan agar sampel menjadi lebih padat, dibakar sampel dengan variasi suhu 1300°C dan 1400°C selama 1 jam dan didinginkan selama 24 jam [8].

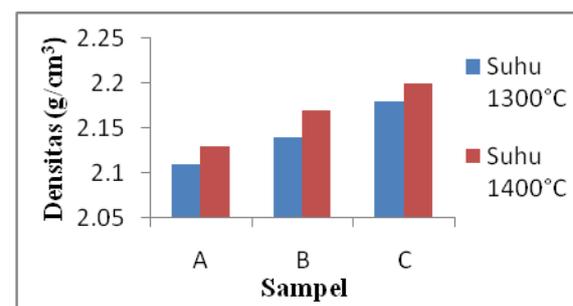
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Densitas

Pengujian densitas dilakukan untuk menghitung nilai kerapatan pada suatu keramik berpori. Penghitungan nilai densitas dilakukan dengan cara massa keramik berpori dibagi dengan volume. Hasil dari pengujian densitas telah disajikan pada Tabel 1. Nilai densitas sampel keramik alumina untuk suhu 1300°C pada sampel A didapatkan sebesar 2,11 g/cm<sup>3</sup>, sampel uji B sebesar 2,14 g/cm<sup>3</sup> dan sampel uji C sebesar 2,18 g/cm<sup>3</sup>. Sedangkan nilai densitas sampel keramik alumina untuk suhu 1400°C pada sampel A didapatkan sebesar 2,13 g/cm<sup>3</sup>, sampel uji B sebesar 2,17 g/cm<sup>3</sup> dan sampel uji C sebesar 2,20 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabel 1.** Hasil pengujian densitas.

Suhu (°C)	Sampel	Hasil Uji Densitas (g/cm <sup>3</sup> )
1300	A	2,11
	B	2,14
	C	2,18
1400	A	2,13
	B	2,17
	C	2,20



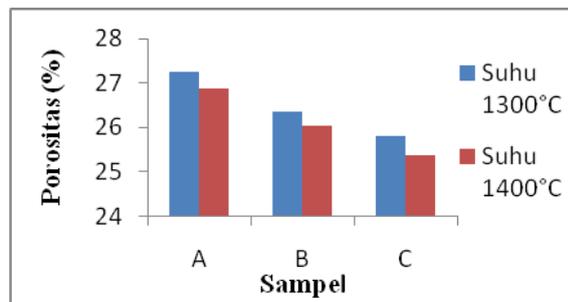
**Gambar 1.** Grafik hubungan antara nilai densitas terhadap sampel.

Berdasarkan dari hasil pengujian pada Tabel 1 maka akan diperoleh grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Nilai densitas semakin naik seiring dengan bertambahnya abu daun jagung yang diberikan. Nilai densitas terbesar dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel C dengan komposisi serbuk alumina 85% dan abu daun jagung 15%. Sedangkan nilai densitas terkecil dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel A dengan komposisi serbuk alumina 95% dan abu daun jagung 5%. Dapat diartikan bahwa penambahan abu daun jagung sangat mempengaruhi nilai sifat fisis keramik alumina. Hal ini ditandai dengan semakin menurunnya nilai densitas yang dihasilkan.

### Porositas

**Tabel 2.** Hasil pengujian porositas.

Suhu (°C)	Sampel	Hasil Uji Porositas (%)
1300 °C	A	27,25
	B	26,37
	C	25,82
1400 °C	A	26,89
	B	26,03
	C	25,39



**Gambar 2.** Grafik hubungan antara nilai porositas dan sampel.

Pengujian porositas dilakukan untuk mengukur banyak pori suatu material yang dihitung dengan mencari persentase (%) berdasarkan daya serap bahan terhadap air dan perbandingan volume yang diserap terhadap volume total sampel. Hasil dari pengujian densitas telah disajikan pada Tabel 2. Nilai porositas sampel keramik alumina untuk suhu 1300°C pada sampel A didapatkan sebesar

27,25%, sampel uji B sebesar 26,37% dan sampel uji C sebesar 25,82%. Sedangkan nilai porositas sampel keramik alumina untuk suhu 1400°C pada sampel A didapatkan sebesar 26,89 %, sampel uji B sebesar 26,02% dan sampel uji C sebesar 25,39%.

Berdasarkan dari hasil pengujian pada Tabel 2 diatas maka akan diperoleh grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Nilai pengujian porositas dari setiap penambahan abu daun jagung mengalami penurunan. Nilai pengujian tertinggi didapatkan pada sampel A sedangkan nilai pengujian terendah terdapat pada sampel C. hubungan porositas dan densitas dikatakan berbanding terbalik dikarenakan, semakin banyak penambahan abu daun jagung nilai densitas yang didapatkan semakin tinggi sedangkan nilai porositasnya semakin rendah.

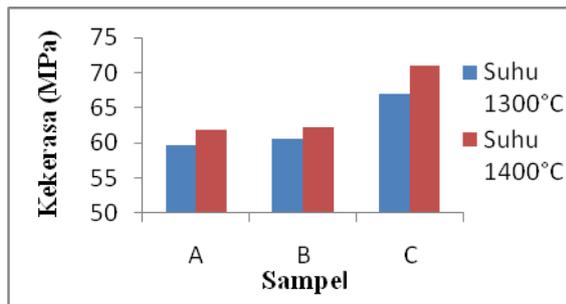
### Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui batas kekerasan pada sampel keramik berpori hingga sampel tersebut hancur. Pengujian kekerasan menggunakan *vickers hardness machine*. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai kekerasan sampel keramik alumina untuk suhu 1300°C pada sampel A didapatkan sebesar 59,541 MPa sampel uji B sebesar 60,505 MPa dan sampel uji C sebesar 67,055 MPa. Sedangkan nilai kekerasan sampel keramik alumina untuk suhu 1400°C pada sampel A didapatkan sebesar 61,926 MPa, sampel uji B sebesar 62,271 MPa dan sampel uji C sebesar 70,958 MPa.

Berdasarkan dari hasil pengujian pada Tabel 3 di atas maka akan diperoleh grafik seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Nilai kekerasan meningkat seiring dengan bertambahnya abu daun jagung. Nilai porositas terbesar terhadap sampel keramik alumina diperoleh pada sampel C dengan komposisi serbuk alumina 85% dan abu daun jagung 15%. Sedangkan nilai kekerasan terkecil dari penambahan abu daun jagung diperoleh pada sampel A dengan komposisi serbuk alumina 95% dan abu daun jagung 5%.

**Tabel 3.** Hasil pengujian kekerasan.

Suhu (°C)	Sampel	Hasil Uji Kekerasan (MPa)
1300 °C	A	59,541
	B	60,505
	C	67,055
1400 °C	A	61,926
	B	62,271
	C	70,958



**Gambar 3.** Grafik hubungan antara nilai kekerasan dan sampel.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yaitu penelitian yang dilakukan oleh Tri Exaudi Sidabutar (2017) mengatakan bahwa nilai kekerasan (*hardness*) meningkat dengan temperatur sintering sebagai akibat dari peningkatan densitas (*relative sintering density*). Hubungan densitas, porositas dan kekerasan pada penelitian ini dapat dilihat dari hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi variasi penambahan abu daun jagung mengakibatkan semakin tingginya nilai densitas dan kekerasan sedangkan terjadi penurunan pada porositas.

## KESIMPULAN

Dari data penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwasannya penambahan abu daun jagung mempengaruhi kualitas fisis maupun mekanik keramik alumina. Variasi yang optimum didapatkan pada sampel C dengan variasi komposisi 85% : 15% pada suhu 1300°C mendapat nilai densitas sebesar 2,18 g/cm<sup>3</sup>, porositas 25,92% dan kekerasan 67,055 MPa dan pada suhu pada suhu 1400°C mendapat nilai densitas sebesar 2,20 g/cm<sup>3</sup>,

porositas 25,39% dan nilai kekerasan 70,958 MPa. Suhu yang optimum pada penelitian ini adalah 1400°C karena memiliki nilai setiap pengujian diatas nilai dari suhu 1300°C. Berdasarkan dari data penelitian yang telah dilakukan maka disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk mencari bahan aditif yang lainnya agar keramik alumina yang didapatkan lebih optimum.

## REFERENSI

1. Bahtiar. (2016). *Pengaruh variasi komposisi terhadap densitas dan kekerasan pada manufaktur keramik lantai*. Skripsi Fisika, Universitas Alauddin Makassar.
2. Sidabutar, T. E. (2017). Pembuatan dan karakterisasi keramik magnesium alumina silika dari abu vulkanik gunung sinabung. *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, **6**(1), 28–35.
3. Nasrun, M., & Sujianto, S. (2020). Pembuatan dan pengujian sifat fisis dan sifat mekanik keramik alumina sebagai komponen mekanik. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, **16**(2), 249–254.
4. Lumbanbatu, D. F. (2017). *Pembuatan dan Karakterisasi Keramik Alumina dengan Aditif Glass Bead*. Skripsi Fisika, Universitas Sumatera Utara.
5. Muhadjir, F. (1988). *Budidaya Tanaman Jagung*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
6. Simbolon, E. S. M. (2020). *Pengaruh Penggunaan Abu Daun Jagung Terhadap Kuat Tekan Beton*. Skripsi Fisika, Universitas Sumatera Utara.
7. Pinem, P. (2020). *Efek penggunaan abu daun jagung (yang sudah diperhalus) terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton*. Skripsi Fisika, Universitas Sumatera Utara.
8. Mawardani, P. (2014). *Pengaruh Kemurnian Bahan Baku Alumina Terhadap Temperatur Sintering dan Karakterisasi Keramik Alumina*. Skripsi Fisika, UIN Syarif Hidayatullah.



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

## PERANCANGAN SISTEM *MONITORING* DAN KONTROL KUALITAS AIR BERBASIS IoT PADA KOLAM IKAN AIR TAWAR

Riski Muhammad Natsir Nasution\*, Nazaruddin Nasution, Mulkan Iskandar Nasution

Program Studi Fisika FST Universitas Islam Negeri Sumatera Utara

\*E-mail korespondensi: [riski.muhammad@uinsu.ac.id](mailto:riski.muhammad@uinsu.ac.id)

### ABSTRACT

*Research has been carried out on designing an IoT-based water quality monitoring and control system in freshwater fish ponds, which aims to produce a tool that is able to monitor and control water quality remotely in freshwater fish ponds, to find out how the tool works in monitoring and controlling water quality over long distances in freshwater fish ponds. This research was conducted by connecting several components, namely using Arduino Mega 2560, WiFi expansion shield, pH sensor, turbidity sensor, DS18B20 sensor, ultrasonic sensor HC-SR04, and two DC pumps. Each sensor is compared with the actual measuring instrument and has an average percentage of error, the pH sensor is compared three times, namely the pH buffer solution of 4.01 with an average error of 2.1%, in the pH 6.86 buffer solution the average error is 0.4 %, and in aquadest solution the average error is 0.7%, the turbidity sensor has an average error of 1.6%, and the DS18B20 sensor has an average error of 0.4%. It can be concluded that the designed tool has been successfully made, and works well, for monitoring it is displayed on the LCD and in the Blynk application, for controlling water can be done through the Blynk application by turning on and off the pump that has been made.*

**Keywords:** Arduino Mega 2560, DS18B20 Sensor, IoT, pH Sensor, Turbidity Sensor.

### ABSTRAK

*Sudah dilakukan penelitian tentang perancangan sistem monitoring dan pengendalian kualitas air pada kolam ikan air tawar berbasis IoT, yang bertujuan untuk menghasilkan alat yang mampu memantau dan mengontrol kualitas air pada kolam ikan air tawar dari jarak jauh, untuk mengetahui cara kerja alat tersebut. dalam pemantauan dan pengendalian kualitas air jarak jauh di tambak ikan air tawar. Penelitian ini dilakukan dengan menghubungkan beberapa komponen yaitu menggunakan Arduino Mega 2560, WiFi expansion shield, sensor pH, sensor kekeruhan, sensor DS18B20, sensor ultrasonik HC-SR04, dua buah pompa DC. Setiap sensor dibandingkan dengan alat ukur sebenarnya dan memiliki rata-rata persentase error, sensor pH dibandingkan sebanyak tiga kali yaitu larutan buffer pH 4,01 dengan rata-rata error 2,1%, pada larutan buffer pH 6,86 rata-rata error adalah 0,4 %, dan pada larutan aquadest error rata-rata 0,7%, sensor kekeruhan rata-rata error 1,6%, dan sensor DS18B20 rata-rata error 0,4%. Dapat disimpulkan alat yang dirancang telah berhasil dibuat, dan bekerja dengan baik, untuk monitoring ditampilkan pada LCD dan pada aplikasi Blynk, untuk pengendalian air dapat dilakukan melalui aplikasi Blynk dengan cara menghidupkan dan mematikan pompa yang telah dibuat.*

**Kata kunci:** Arduino Mega 2560, Sensor DS18B20 Sensor, IoT, Sensor pH, Sensor Turbidity.

Diterima 10-07-2023 | Disetujui 26-07-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan akan sumberdaya alam air tawar yang melimpah, dengan melimpahnya sumber air ini bisa dimanfaatkan menjadi suatu peluang usaha bagi masyarakat salah satunya adalah

membudidayakan ikan yang merupakan salah satu sektor usaha yang paling menguntungkan karena meningkatnya permintaan pasar untuk kebutuhan pangan [1-3]. Ikan merupakan salah satu makanan kegemaran masyarakat Indonesia, karena harganya yang terjangkau dan juga mempunyai kandungan gizi yang tinggi [3,4].

Selain menjadi bahan pangan, ikan juga sangat berperan penting dalam dunia kesehatan, salah satunya adalah ikan gabus (*Channa striata*) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *serum albumin* atau nutrasetikal berbasis *fish serum albumin* (FSA) [5]. Selain ikan gabus, ikan gurame juga bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku *serum albumin* karena ikan gurame memiliki kandungan FSA dan mempunyai konsentrasi FSA paling tinggi dari pada ikan gabus, dan masih banyak lagi berbagai ikan air tawar yang mempunyai kandungan FSA [6,7].

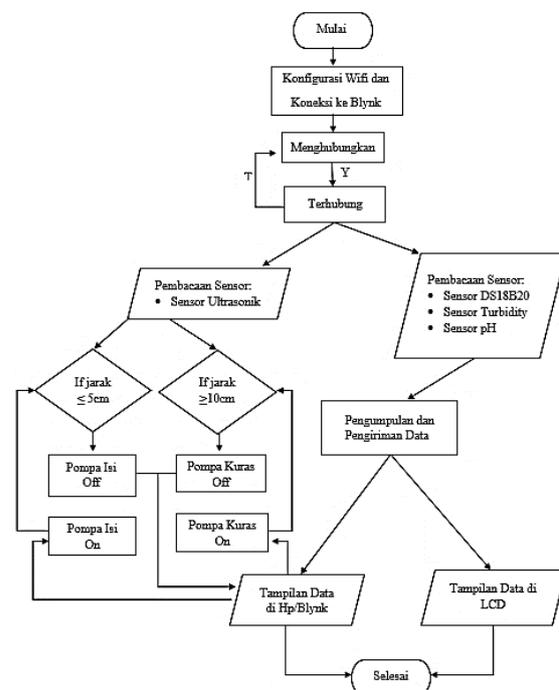
Dalam budidaya ikan yang perlu diperhatikan hanyalah kualitas airnya agar memperoleh ketahanan tubuh ikan yang bagus, sebab untuk memperoleh ikan yang bagus bergantung pada kualitas air. Adapun salah satu faktor berubahnya kualitas air adalah akibat dari sisa-sisa makanan, dan hasil dari ekskresi ikan yang terlarut dalam air. Kualitas air dapat dilihat dari nilai parameter yang terdapat dalam air, diantaranya adalah pH, kekeruhan, dan suhu air [8-10]. Oleh sebab itu, peneliti akan merancang suatu alat yang mampu *monitoring* dan mengontrol kualitas air berbasis IoT pada kolam ikan air tawar, nilai parameter akan ditampilkan di LCD dan di aplikasi Blynk serta bisa dikontrol melalui aplikasi tersebut.

## METODE PENELITIAN

Ada dua metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu pertama metode pengumpulan data, didalam metode ini terdapat tiga tahap yang dilakukan, tahap pertama adalah studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari kajian-kajian yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, tahap kedua adalah observasi yang dibuat dengan tahap pengamatan dengan tujuan mendapatkan permasalahan dalam budidaya ikan air tawar, tahap ketiga adalah perancangan perangkat yang diawali dengan merancang konsep dari gambaran permasalahan dan dibuat dalam bentuk prototipe sebagai percobaan.

Metode kedua yang dilakukan adalah perancangan sistem, dalam perancangan sistem

ini dibagi atas empat bagian utama, yaitu bagian pemrosesan dan pengiriman data yang terdiri dari Arduino Mega 2560 yang mengatur kerja sistem setiap sensor yang terhubung dan memberi perintah pada perangkat output yang terhubung, dan *WiFi expansion shield* merupakan perangkat yang berfungsi sebagai penghubung ke jaringan internet dan mengirimkan data ke aplikasi Blynk. Bagian sensor merupakan bagian input yang terdiri dari sensor pH, sensor DS18B20, sensor *turbidity*, ketiga sensor tersebut ditempat di air yang akan di-*monitoring* kualitasnya, dan sensor ultrasonik HC-SR04 (jarak) yang ditempatkan diatas air sebagai pengukur jarak batas air. Bagian output merupakan bagian yang dikendalikan untuk mengontrol kualitas air yaitu terdapat dua buah pompa yang berfungsi untuk menguras air dan mengisi air ke dalam kolam pada saat dikendalikan. Berdasarkan alat yang sudah dirancang kemudian diuji dengan prosedur dan langkah-langkah berdasarkan diagram alir seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hasil pengujian setiap sensor yang dirancang dan pembahasan yang didapat dari penelitian yang lakukan.

## Pengujian Sensor pH

Hasil pengujian sensor pH dilakukan dengan tiga tahap pengujian dengan larutan yang berbeda dan nilai yang dihasilkan sensor dibandingkan dengan nilai yang dihasilkan oleh pH meter bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1.** Hasil pengujian sensor pH pada larutan *buffer* pH 4,01.

No	Sensor pH	pH Meter	Error (%)
1	4,1	4,0	2,5
2	3,8	4,0	5,0
3	4,1	4,1	0
4	4,0	3,9	2,5
5	3,9	4,0	2,5
6	3,9	3,9	0
Rata-Rata Error			2,1

**Tabel 2.** Hasil pengujian sensor pH pada larutan *buffer* pH 6,86.

No	Sensor pH	pH Meter	Error (%)
1	6,8	6,8	0
2	6,9	7,0	1,4
3	7,0	6,9	1,4
4	6,9	6,8	1,4
5	6,9	6,8	1,4
6	7,0	6,8	2,9
Rata-Rata Error			1,4

**Tabel 3.** Hasil pengujian sensor pH pada larutan akuades.

No	Sensor pH	pH Meter	Error (%)
1	7,0	7,0	0
2	7,0	7,1	1,4
3	6,9	6,9	0
4	7,0	7,0	0
5	6,8	7,0	2,8
6	6,9	6,9	0
Rata-Rata Error			0,7

Dari ketiga pengujian sensor pH diatas terlihat persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian menggunakan larutan akuades yang memiliki rata-rata *error* 0,7 %, yang kedua paling rendah adalah menggunakan larutan *buffer* pH 6,86 yang memiliki rata-rata *error* 1,4 %, dan selanjutnya menggunakan

larutan *buffer* pH 4,01 yang memiliki rata-rata *erroe* 2,1 %.

## Pengujian Sensor Turbidity

Hasil pengujian sensor *turbidity* dilakukan dengan membandingkan nilai yang dihasilkan oleh sensor dan nilai yang sudah diuji dengan *turbidity* meter sebagai pembanding bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.** Hasil pengujian sensor *turbidity*.

No	Sensor Turbidity (NTU)	Nilai Keruh yang Diuji (NTU)	Error (%)
1	2,8	2,1	1,8
2	2,7	2,1	1,7
3	2,4	2,1	1,4
4	2,7	2,1	1,7
5	2,8	2,1	1,8
6	2,6	2,1	1,6
Rata-Rata Error			1,6

Dari hasil pengujian sensor *turbidity* diatas yang diuji sebanyak enam kali pengambilan data terlihat bahwa persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke empat yaitu 1,4 %, dan persentase rata-rata *error* 1,6 %.

## Pengujian Sensor DS18B20

Hasil pengujian sensor DS18B20 dilakukan dengan membandingkan nilai yang dihasilkan oleh sensor dan nilai yang dihasilkan oleh termometer sebagai pembanding bisa dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil pengujian sensor DS18B20.

No	Sensor DS18B20 (°C)	Termometer (°C)	Error (%)
1	25,9	26,0	0,3
2	25,8	26,0	0,7
3	25,9	26,0	0,3
4	25,8	26,0	0,7
5	25,9	26,0	0,3
6	25,9	26,0	0,3
Rata-rata error			0,4

Dari hasil pengujian sensor DS18B20 diatas yang diuji sebanyak enam kali pengambilan data terlihat bahwa persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke satu, tiga, lima, dan enam yaitu 0,3 %, dan persentase rata-rata *error* 0,4 %.

## KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian, bisa disimpulkan bahwa sistem *monitoring* dan kontrol kualitas air kolam berbasis IoT pada kolam ikan air tawar berhasil dibuat dan bekerja dengan baik. Untuk pemakaian sensor bisa digunakan dan diterapkan untuk pembuatan alat tersebut, karena kerja setiap sensor setelah dibandingkan dengan hasil yang diukur dengan alat ukur sebenarnya memperoleh persentase *error* yang tidak jauh artinya bisa ditoleransi. Untuk sensor pH yang dibandingkan, diuji pada larutan *buffer* pH 4,01 memperoleh persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke tiga dan enam yaitu 0%, pada larutan *buffer* pH 6,86 memperoleh persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke satu yaitu 0%, pada larutan akuades memperoleh persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke satu, tiga, empat dan enam yaitu 0%, untuk sensor turbidity yang dibandingkan memperoleh persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke tiga 1,4%, dan untuk sensor DS18B20 yang dibandingkan memperoleh persentase *error* paling rendah terdapat pada pengujian ke satu, tiga, lima, dan enam yaitu 0,3%.

## REFERENSI

1. Qalit, A., Fardian, F., & Rahman, A. (2017). Rancang bangun prototipe pemantauan kadar pH dan kontrol suhu serta pemberian pakan otomatis pada budidaya ikan lele sangkuriang berbasis IoT. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, *2*(3), 8–15.
2. Amin, A. (2018). Monitoring water level control berbasis arduino uno menggunakan

lcd lm016L. *EEICT (Electric, Electronic, Instrumentation, Control, Telecommunication)*, *1*(1), 41–52.

3. Andrianto, H. (2015). *Pemrograman Mikrokontroler AVR ATmega16 Menggunakan Bahasa C (CodeVisionAVR)*. Bandung: Informatika Bandung.
4. Supriyanto, A., & Fathurrahmani, F. (2019). Purwarupa Sistem Monitoring Kualitas Air pada Kolam Ikan Air Tawar. *Ultimatics: Jurnal Teknik Informatika*, *11*(2), 84–88.
5. Lintang, E., & Firdaus, F. (2017). Sistem monitoring kualitas air pada kolam ikan berbasis wireless sensor network menggunakan komunikasi zigbee. *Prosiding SNATIF*, 145–152.
6. Indartono, K., Kusuma, B. A., & Putra, A. P. (2020). Perancangan sistem pemantau kualitas air pada budidaya ikan air tawar. *Journal of Information System Management*, *1*(2), 11–17.
7. Hidayatullah, M., Fat, J., & Andriani, T. (2018). Prototype sistem telemetri pemantauan kualitas air pada kolam ikan air tawar berbasis mikrokontroler. *Positron*, *8*(2), 43–52.
8. Christanto, F. W., Susanto, S., & Pramono, B. A. (2020). NodeMCU dan Kontrol Pengukuran Ph Air Berbasis Android untuk Menentukan Tingkat Kejernihan Pada Air Tawar. *Jurnal Pengembangan Rekayasa Dan Teknologi*, *16*(1), 6–8.
9. Siregar, M. H., & Nasution, M. I. (2021). Rancang bangun sistem pemberian pakan dan pengaturan pH air secara otomatis padabudi daya ikan lele berbasis Atmega 16 menggunakan media smartphone. *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, *6*(2), 24–36.
10. Hutagaol, C. A. (2017). *Mendeteksi Kekeruhan Air Menggunakan Turbidity Sensor Berbasis Arduino Atmega328 Berdasarkan Prinsip Hamburan Cahaya*. Skripsi Fisika, Universitas Sumatera Utara.



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

## DESAIN KIT PEMBELAJARAN GERAK MENGGELINDING PADA BIDANG MIRING UNTUK SISWA SEKOLAH DASAR

**Dzulfiqar Yudha Pranata, Rusydi Balfas, Mohammad Kelfiana, Zaky Vebrian,  
Joseph Bagas Triambada, Rima Fitria Adiati\***

Jurusan Fisika FMIPA Institut Pertanian Bogor

\*E-mail korespondensi: [rima\\_adiati@apps.ipb.ac.id](mailto:rima_adiati@apps.ipb.ac.id)

### ABSTRACT

*The experiment of rolling motion on an inclined plane can be related to everyday life and be an example of learning science while playing. This study aims to design a learning kit for rolling motion on an inclined plane for elementary school students. The research method used is research and development (R&D) which has been used to validate and develop products used in education. The result of this research is a rolling motion science learning kit design for elementary school students which consists of an inclined plane, test objects, and student worksheets. The objects used as test objects are solid cylinders, thin hollow cylinders, solid balls, hollow balls, and cubes. From the experiments, obtained variations in acceleration results ranging from  $1.23 \text{ m/s}^2$  to  $3.27 \text{ m/s}^2$ . Based on experiments and simulations, the designed kit meets the theory of rolling motion and mechanics-dynamic analysis.*

**Keywords:** Elementary School, Inclined Plane, Kit Design, Learning Kit, Rolling Motion.

### ABSTRAK

*Percobaan gerak menggelinding pada bidang miring dapat dikaitkan dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi sarana belajar ilmu pengetahuan alam (IPA) sambil bermain. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain kit pembelajaran gerak menggelinding pada bidang miring kepada siswa Sekolah Dasar (SD). Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan atau research and development (R&D) yang telah digunakan untuk memvalidasi dan mengembangkan produk-produk yang digunakan dalam pendidikan. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah rancangan Kit pembelajaran IPA gerak menggelinding untuk siswa SD yang terdiri atas bidang miring, benda uji, dan lembar kerja siswa. Objek yang digunakan sebagai benda uji adalah silinder pejal, silinder tipis berongga, bola pejal, bola berongga, dan kubus. Dari percobaan, diperoleh variasi hasil percepatan mulai dari  $1,23 \text{ m/s}^2$  sampai  $3,27 \text{ m/s}^2$ . Berdasarkan percobaan dan simulasi, kit yang didesain telah memenuhi teori gerak menggelinding dan analisis mekanika-dinamika.*

**Kata kunci:** Sekolah Dasar, Bidang Miring, Desain Kit, Kit Pembelajaran, Gerak Menggelinding.

*Diterima 24-08-2023 | Disetujui 02-11-2023 | Dipublikasi 30-11-2023*

### PENDAHULUAN

Terdapat permasalahan atas rendahnya minat siswa Sekolah Dasar (SD) dalam pembelajaran ilmu pengetahuan alam (IPA). Hasil penelitian oleh Elpra dan Ghufon (2015) menunjukkan bahwa siswa SD kurang berminat pada mata pelajaran tersebut. Hal ini disebabkan karena kurangnya media pembelajaran yang diberikan oleh guru kepada siswa, sehingga siswa merasa bosan dan kurang

berminat. Permasalahan ini juga terlihat dari rendahnya hasil nilai belajar pra penelitian yang dilakukan di kelas IV SD Muhammadiyah Sagan dengan rata-rata 60,77 dari 30 soal pertanyaan tentang pembelajaran IPA.

Dalam pembelajaran IPA di SD dibutuhkan kit pembelajaran IPA yang optimal sehingga dapat menunjang kegiatan belajar mengajar di kelas. Namun, hasil penelitian Wahyu *et al.* (2020) menunjukkan bahwa hampir semua sekolah memiliki kit IPA dan media

pembelajaran lainnya tetapi dari sekian banyak media yang ada banyak yang rusak dan tidak memungkinkan untuk digunakan dalam pembelajaran. Kedua, dari sisi pemanfaatannya, sebagian besar media pembelajaran belum dimanfaatkan secara maksimal.

Kit pembelajaran adalah alat peraga yang dipresentasikan oleh guru kepada siswa dalam proses pembelajaran [3]. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa kit pembelajaran ialah suatu alat komunikasi dalam proses pembelajaran yang dapat digunakan untuk mendemonstrasikan materi yang diajarkan oleh guru kepada siswa, serta bermanfaat untuk membantu guru dalam menyampaikan materi pembelajaran agar lebih mudah, efektif, dan efisien sehingga tujuan pembelajaran diharapkan dapat dicapai dengan mudah.

Kit IPA telah didesain khusus berisi seperangkat alat peraga untuk menunjang proses pembelajaran. Penggunaan kit IPA dalam proses pembelajaran berfungsi untuk menampilkan suatu kejadian alam di dalam kelas selama proses pembelajaran. Kit IPA ini sangat berguna karena dengan alat peraga yang ditampilkan siswa tidak harus keluar kelas dan fenomena alam dapat dengan mudah diamati secara berulang-ulang. Selain itu, kit IPA ini berfungsi untuk membantu guru agar lebih mudah dalam menyampaikan materi kepada siswa. Jadi materi tidak hanya menyampaikan secara teori saja, akan tetapi dipresentasikan secara langsung menggunakan peralatan uji coba sederhana berupa kit IPA sehingga, siswa dapat lebih mudah dalam memahami konsep yang diajarkan. Terdapat berbagai macam jenis kit IPA diantaranya kit mekanika, kit optik, kit listrik, kit bunyi, kit pesawat sederhana serta kit lainnya.

Berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya menunjukkan hasil bahwa penggunaan kit IPA dalam kegiatan belajar sangat membantu dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Hal ini berkaitan erat dengan interaksi antara guru dan siswa. Hasil penelitian Satria dan Sari (2018) menunjukkan bahwa penggunaan kit peraga adalah salah satu faktor yang memengaruhi proses pembelajaran [3], hal

ini karena dapat membuat suasana kelas dapat menjadi lebih menarik, guru dapat menjelaskan materi menggunakan benda konkrit sehingga siswa lebih mudah memahami materi. Pembelajaran yang sifatnya kontekstual dan eksplorasi (*discovery learning*) juga memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa [4,5]. Dalam proses belajar mengajar hendaknya guru dapat mengarahkan dan membimbing siswa untuk aktif dalam kegiatan belajar mengajar sehingga tercipta suatu interaksi yang baik antara guru dengan siswa maupun siswa dengan siswa [6]. Disisi lain, pembelajaran yang berbasis alam atau lingkungan sekitar sangat relevan dengan usia SD (7 – 12 tahun), karena anak membutuhkan lingkungan belajar di alam yang terbuka [7]. Pelaksanaan praktikum yang baik menjadi penting terutama pada jenjang SD karena dapat meningkatkan motivasi belajar IPA, mengembangkan keterampilan dasar untuk melakukan eksperimen, menjadi wahana belajar pendekatan ilmiah, dan dapat mendukung materi [8].

Pengembangan kit pembelajaran merupakan suatu proses yang kontinu dan terus dilakukan seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, metode pembelajaran, dan teknologi. Beberapa penelitian telah dilakukan terkait proses pembuatan kit dan media pembelajaran di berbagai jenjang. Contohnya pembuatan kit fotosintesis untuk siswa SMP [9], praktikum bunyi dengan peralatan sehari-hari [10], pembelajaran berbasis augmented reality [11], pengembangan alat praktikum berbasis sensor [12,13], dan tentunya semua perlu ditunjang dengan peningkatan kapasitas guru [14].

Dalam penelitian ini, didesain sebuah kit pembelajaran gerak menggelinding pada bidang miring sederhana yang ergonomis, aman, menarik, dan tentunya sesuai dengan teori sehingga membawa manfaat secara keilmuan. Kit pembelajaran ini dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran siswa-siswi SD dalam menumbuhkan minat mereka dalam dunia sains, khususnya di bidang Fisika. Kit pembelajaran yang didesain diharapkan dapat

memiliki karakteristik yang ergonomis, aman, dan menarik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan termasuk penelitian pengembangan atau *research and development* (R&D). Research and Development merupakan metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan atau memvalidasi produk-produk yang digunakan dalam pendidikan dan pembelajaran. Dalam bidang pendidikan, penelitian dan pengembangan dapat digunakan untuk mengembangkan buku, modul, media pembelajaran, instrumen evaluasi, model kurikulum, evaluasi, dan lain-lain.

Perancangan kit pembelajaran memperhatikan pemenuhan teori gerak menggelinding terkait dengan mekanika dan dinamika, yaitu konsep percepatan, gerak translasi-rotasi, serta hukum Newton kedua. Rancangan bentuk dan set up percobaan terinspirasi berbagai percobaan fisika dasar [15-17]. Perhitungan-perhitungan teoritis dilakukan dengan bantuan perangkat lunak Microsoft Excel. Desain gambar 2 dimensi dibuat menggunakan website *spline.design* dan perangkat lunak *Microsoft Powerpoint*. Simulasi interaktif dilakukan pada website *oPhysics.com* untuk dapat membuktikan kesesuaian antara desain dengan teori. Data hasil simulasi diolah dan dibandingkan terhadap perhitungan teoritis untuk mendapatkan nilai kesesuaian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kit pembelajaran gerak menggelinding pada bidang miring didesain dengan berbagai pertimbangan, yaitu dari segi ergonomis, keamanan, dan tampilan yang menarik. Kit gerak menggelinding terbuat dari bahan kayu yang dihaluskan dengan sudut-sudut yang tidak tajam. Pemilihan cat juga perlu diperhatikan, yaitu menggunakan cat yang aman untuk anak-anak. Bobot dari masing-masing bangun ruang adalah sebesar 500 gram agar tidak berat

diangkat oleh anak-anak. Bentuk 3 dimensi dari kit yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 1.



(a)



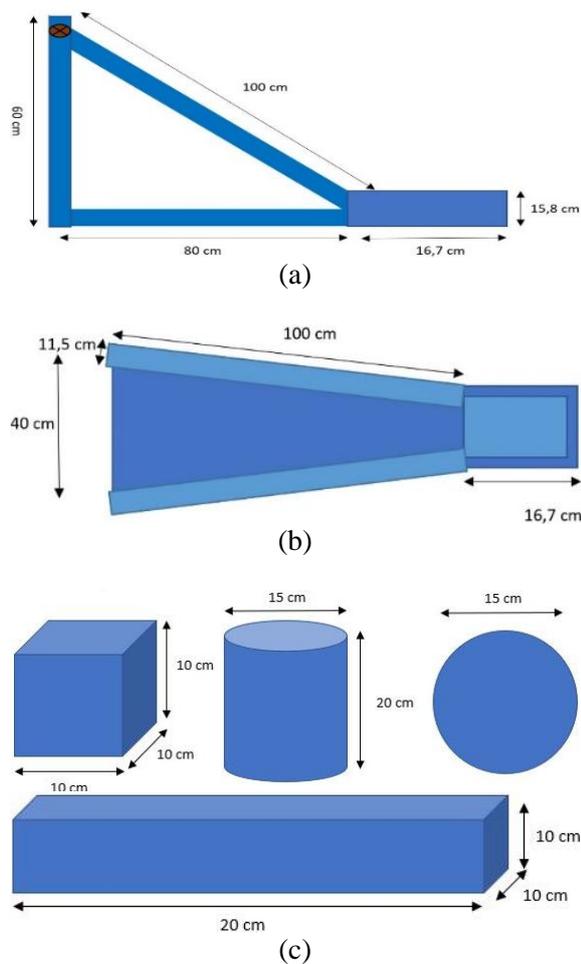
(b)

**Gambar 1.** Desain 3D kit pembelajaran gerak menggelinding dengan variasi warna (a) dominan biru dan (b) dominan merah muda.

Desain 3 dimensi pada Gambar 1 dibuat menggunakan website *spline.design*. Pemilihan warna biru dan merah muda serta aksesoris-aksesoris menarik pada desain tersebut ditujukan agar menarik minat siswa SD. Ukuran kit secara spesifik ditunjukkan pada Gambar 2. Pemilihan ukuran dengan rentang 10-20 cm ditujukan agar mudah dipegang untuk anak-anak usia SD, komponennya tidak mudah hilang, dan tidak ada resiko tertelan.

Kit pembelajaran gerak menggelinding memiliki 2 bagian utama yaitu bidang miring dan kotak pendaratan. Bagian bidang miring kit tersebut memiliki panjang lintasan 100 cm, dengan lebar lintasan 40 cm dan lebar batas sisi dengan lintasan 11.5 cm. Bidang miring tersebut memiliki alas sepanjang 80 cm dan tinggi 60 cm. Lalu kotak pendaratan kit tersebut memiliki panjang 40 cm, lebar 16.7 cm dan tinggi 15.8 cm. Sementara itu, di atas ujung pinggir bidang miring antara tinggi dengan

panjang lintasan memiliki sebuah tuas yang dapat diputar sehingga bidang miring dapat disesuaikan menjadi beberapa variasi sudut kemiringan. Beberapa bangun ruang yang melengkapi kit yaitu kubus dengan ukuran sisi 10 cm, silinder pejal dengan ukuran diameter 15 cm dengan tinggi 20 cm, bola pejal dan bola berongga dengan diameter 15 cm, dan balok dengan panjang 20 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm.



**Gambar 2.** Desain 2 dimensi kit pembelajaran gerak menggelinding dengan (a) tampak samping, (b) tampak atas, dan (c) berbagai benda uji.

Suatu hal yang menjadi acuan dalam metode pembelajaran melalui kit ini ialah menentukan benda mana yang lebih dahulu sampai pada posisi tujuan, yakni di dasar bidang miring. Kegiatan pembelajaran siswa SD yang dapat dilakukan adalah pengamatan terhadap benda uji, yaitu menentukan benda mana yang dapat

menuruni bidang miring dalam waktu yang paling singkat. Perhitungan teori dilakukan sebagai bukti kepaduan antara penjelasan secara teoretis dengan penjelasan secara eksperimental.

Pertama-tama, ditentukan rumus waktu tempuh benda untuk menggelinding turun pada bidang miring. Waktu tempuh benda menggelinding turun pada bidang miring, berdasarkan konsep gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diekspresikan sebagai Persamaan (1) berikut:

$$L = v_i t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (1)$$

dimana,  $L$  merupakan panjang lintasan, percepatan benda dinyatakan dengan  $a$ . Kecepatan awal benda, yang dinyatakan dengan  $v_i$ , bernilai nol karena ketika berada di puncak bidang miring, benda dalam keadaan diam dan dilepaskan begitu saja tanpa kecepatan awal saat memulai pergerakan. Dengan demikian:

$$L = \frac{1}{2} a t^2 \quad (2)$$

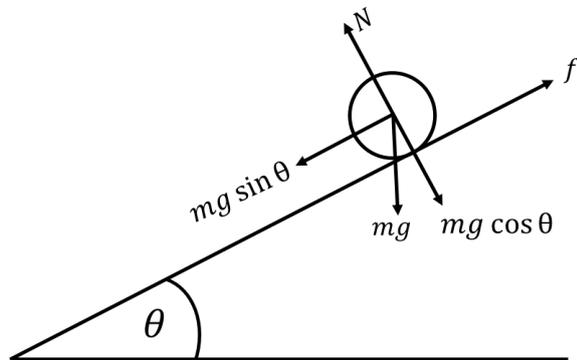
atau

$$t = \sqrt{\frac{2L}{a}} \quad (3)$$

Persamaan (3) merupakan bentuk rumusan awal. Nilai percepatan dapat dihitung menggunakan persamaan dinamika Hukum Newton II. Terdapat dua macam gerak yang dianalisa pada benda uji, yaitu gerak menggelinding pada bola dan silinder dan gerak translasi murni pada balok.

Gambar 3 menunjukkan diagram gaya-gaya yang bekerja pada benda yang menggelinding pada suatu bidang miring. Persyaratan agar dapat terjadi gerak menggelinding adalah adanya gesekan antara permukaan benda dan lintasan. Jika tidak ada gesekan, maka hanya akan terjadi gerak translasi. Berdasarkan gambar 3, dapat dianalisis gaya-gaya yang

bekerja pada objek yang mengalami gerak menggelinding, yaitu gabungan gerak rotasi dan translasi pada bidang miring.



**Gambar 3.** Diagram gaya gerak menggelinding pada bidang miring.

Hukum I Newton:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ N + (-mg \cos \theta) &= 0 \\ N &= mg \cos \theta \end{aligned} \quad (4)$$

Hukum II Newton (translasi):

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= ma \\ mg \sin \theta - f &= ma \end{aligned} \quad (5)$$

Hukum II Newton (rotasi):

$$\begin{aligned} \Sigma \tau &= I \alpha \\ fR &= kmR^2 \alpha \\ f &= kmR \alpha \end{aligned} \quad (6)$$

Hubungan antara percepatan sudut (rotasi) dan percepatan linier (translasi):

$$a = \alpha R \Rightarrow \alpha = \frac{a}{R} \quad (7)$$

substitusi Persamaan (7) ke (6):

$$\begin{aligned} f &= kmR \frac{a}{R} \\ f &= kma \end{aligned} \quad (8)$$

substitusi Persamaan (8) ke (5):

$$\begin{aligned} mg \sin \theta - kma &= ma \\ mg \sin \theta &= (1 + k)ma \\ a &= \frac{g \sin \theta}{(1 + k)} \end{aligned} \quad (9)$$

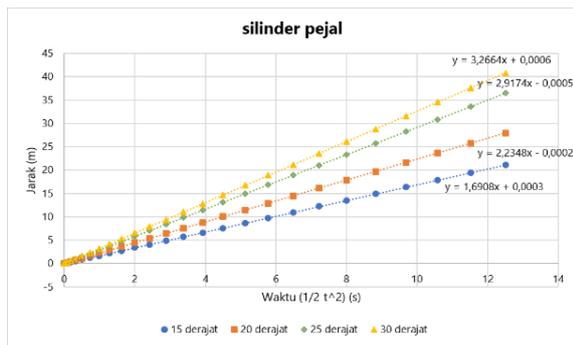
Telah diperoleh ekspresi variabel percepatan benda, yakni Persamaan (9).

Substitusi Persamaan (9) ke (3), diperoleh:

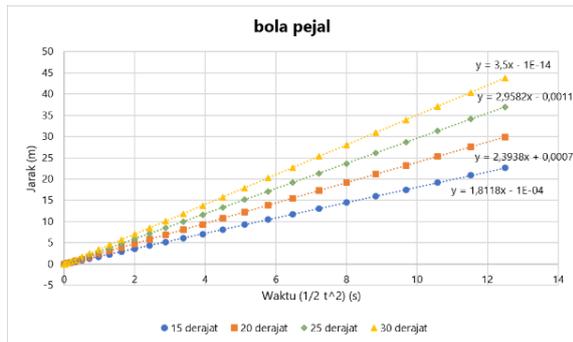
$$t = \sqrt{\frac{2L(1 + k)}{g \sin \theta}} \quad (10)$$

**Tabel 1.** Hasil perhitungan percepatan gerak benda uji secara teori dan simulasi.

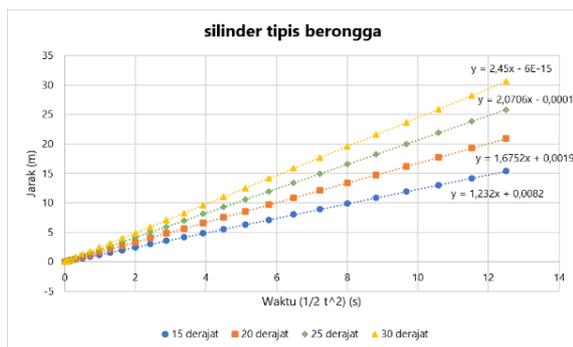
Benda Uji	Koefisien Inersia $k$	Sudut kemiringan bidang $\theta$ ( $^\circ$ )	Percepatan gerak $a$ ( $m/s^2$ )	
			Teori	Simulasi
Silinder pejal	0,50	15	1,69	1,69
		20	2,23	2,23
		25	2,76	2,91
		30	3,27	3,27
Bola pejal	0,40	15	1,81	1,81
		20	2,39	2,39
		25	2,96	2,96
		30	3,50	3,50
Silinder tipis berongga	1,00	15	1,27	1,23
		20	1,68	1,67
		25	2,07	2,07
		30	2,45	2,45
Bola berongga	0,67	15	1,52	1,52
		20	2,01	1,99
		25	2,48	2,31
		30	2,94	3,00



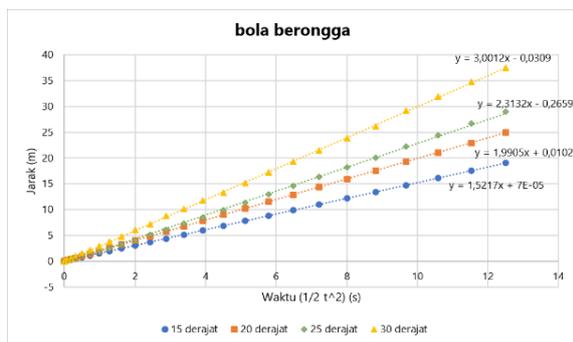
(a)



(b)



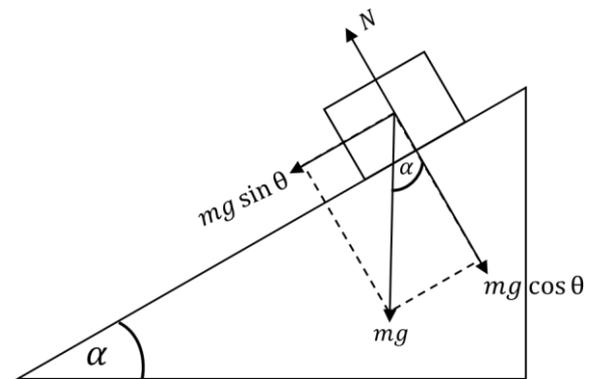
(c)



(d)

**Gambar 4.** Hasil *fitting* data jarak terhadap waktu pada berbagai benda uji: (a) silinder pejal; (b) bola pejal; (c) silinder tipis berongga; dan (d) bola berongga yang menggelinding dengan variasi sudut kemiringan.

Dari Persamaan (10) secara teori dapat disimpulkan bahwa lamanya benda menggelinding turun pada bidang miring dipengaruhi oleh variabel panjang bidang miring, konstanta geometri inersia benda, percepatan gravitasi, dan besar sudut kemiringan antara lantai dengan bidang miring. Perhitungan percepatan gerak benda secara teoritis menggunakan Persamaan (9) dengan memasukkan nilai koefisien inersia  $k$  dan sudut kemiringan bidang miring. Hasilnya ditunjukkan pada Tabel 1.



**Gambar 5.** Diagram gaya gerak translasi pada bidang miring.

Untuk mengetahui gerak benda uji pada setiap detik, dilakukan simulasi gerak dengan bantuan website *oPhysics.com*. Simulasi juga dilakukan untuk menguji desain kit terhadap teori fisika terkait gerak menggelinding. Bangun ruang yang disimulasikan adalah silinder pejal, silinder tipis berongga, bola pejal, bola berongga, dan kubus. Simulasi diperoleh dengan memasukkan data benda uji serta kemiringan bidang miring. Data yang diperoleh dari simulasi yaitu jarak dalam meter dan waktu dalam detik. Pada simulasi yang dilakukan, dilakukan variasi kemiringan sudut, yaitu  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $25^\circ$ , dan  $30^\circ$ . Dari grafik simulasi gerak menggelinding pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar sudut kemiringan suatu bidang miring, maka makin besar juga percepatan suatu benda tersebut. Sebagai catatan, grafik pada gambar 4 menunjukkan jarak yang ditempuh benda uji

pada satuan waktu  $(t^2)/2$ , dengan batas ukur selama 5 detik. Melalui perhitungan gradien atau kemiringan garis *fitting* linier, dapat diperoleh nilai percepatan benda yang ditunjukkan pada tabel 1. Nilai percepatan yang diperoleh melalui perhitungan teori memiliki kemiripan terhadap nilai percepatan yang diperoleh dari simulasi dengan nilai rata-rata error 1,19%.

Kondisi yang berbeda akan terjadi bila benda uji berupa balok atau kubus, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5. Berikut adalah analisis gaya-gaya yang terjadi pada gerak translasi murni.

Hukum I Newton:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 \\ N + (-mg\cos\theta) &= 0 \\ N &= mg\cos\theta \end{aligned} \quad (11)$$

Hukum II Newton (translasi):

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= ma \\ mgsin\theta - f &= ma \end{aligned} \quad (12)$$

Persamaan umum gaya gesek:

$$f = \mu_k N \quad (13)$$

substitusi Persamaan (11) ke (13), diperoleh:

$$f = \mu_k mg\cos\theta \quad (14)$$

substitusi Persamaan (14) ke (12):

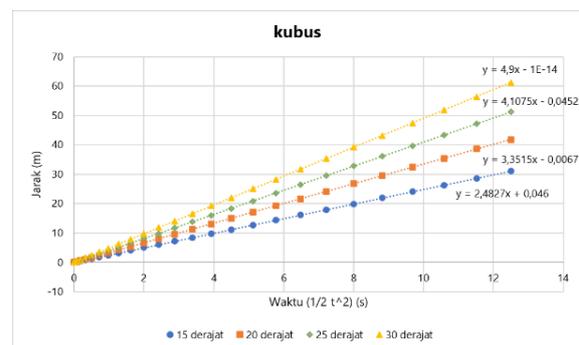
$$\begin{aligned} mgsin\theta - \mu_k mg\cos\theta &= ma \\ a &= g(\sin\theta - \mu_k \cos\theta) \end{aligned} \quad (15)$$

substitusi Persamaan (15) ke (3), diperoleh:

$$t = \sqrt{\frac{2L}{g(\sin\theta - \mu_k \cos\theta)}} \quad (14)$$

Dari persamaan (16) secara teori dapat disimpulkan bahwa lamanya benda (balok)

bergerak turun pada bidang miring dipengaruhi oleh variabel panjang bidang miring, koefisien gesek dinamik bidang dengan benda, percepatan gravitasi, dan besar sudut kemiringan antara lantai dengan bidang miring. Dengan menggunakan simulasi, diperoleh bahwa percepatan gerak translasi pada kubus adalah  $2,48 \text{ m/s}^2$  hingga  $4,9 \text{ m/s}^2$ . Nilai percepatan secara teoritis tidak dapat ditentukan tanpa nilai koefisien gesek dinamik dari permukaan bidang miring.



**Gambar 6.** Hasil *fitting* data jarak terhadap waktu pada kubus dengan variasi sudut kemiringan bidang.

Penggunaan kit gerak menggelinding di sekolah dapat membantu guru IPA dalam menyampaikan materi pembelajaran tentang gerak dengan cara yang menyenangkan, yaitu belajar sambil bermain. Penyampaian materi tentunya menyesuaikan tingkatan kelas dan kurikulum IPA SD yang tentunya merupakan kompetensi guru, sehingga tidak disampaikan lebih lanjut dalam penelitian ini. Gambar 7 merupakan contoh dari lembar kerja siswa untuk praktikum tentang gerak menggelinding. Terlepas dari kurikulum SD, penggunaan kit ini tidak terbatas pada jenjang tersebut. Dengan persamaan-persamaan fisika yang telah diuraikan dan analisis yang sesuai, kit ini juga dapat digunakan untuk media pembelajaran fisika hingga jenjang SMA untuk menunjang materi tentang kinematika-dinamika khususnya pada bidang miring.

**LEMBAR KERJA PRAKTIKUM**

1. **Judul Praktikum** : Gerak Menggelinding Pada Bidang Miring
2. **Tujuan** : Mengetahui benda-benda yang dapat menggelinding dan mengamati benda apa saja yang menggelinding lebih cepat dan lambat
3. **Alat dan Bahan** :
  - a. Kit Gerak Menggelinding
  - b. Alat Tulis
  - c. *Stopwatch*
4. **Teori Dasar** :  
 Gerak menggelinding merupakan gerak berpindah tempat sambil berputar. Gerak menggelinding umumnya terjadi pada benda yang sisinya berbentuk bundar. Gerak menggelinding terjadi dengan sendirinya bila benda diletakkan dalam lintasan yang miring. Benda yang dapat mengalami gerak menggelinding misalnya kelereng, bola, dan pensil.
5. **Cara Kerja** :
  - a. Siapkan Kit Gerak menggelinding, alat tulis, dan lembar kerja.
  - b. Rangkai Kit Gerak menggelinding yang sesuai dengan gambar.
  - c. Pilih salah satu benda yang tersedia di dalam Kit Gerak Menggelinding (bola pejal, bola berongga, silinder pejal, silinder tipis berongga, kubus, dan balok)
  - d. Kemudian letakkan benda yang dipilih di puncak bidang miring
  - e. Lepaskan benda agar menggelinding hingga ke dasar bidang dan hitung waktu saat benda dilepaskan
  - f. Amati benda dan waktu saat benda dilepaskan hingga benda sampai ke dasar bidang miring
  - g. Catat hasil pengamatan pada tabel yang tersedia
6. **Data Pengamatan** :

Tabel Hasil Pengamatan Gerak Menggelinding

No.	Benda Yang Diamati	Mengelinding	Tidak Menggelinding	Waktu Pengamatan (detik)	Cepat	Lambat
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Catatan: Beri tanda centang (✓) pada bagian menggelinding, tidak menggelinding, waktu pengamatan, cepat, dan lambat.

**7. Pertanyaan:**

1. Sebutkan benda-benda apa saja yang dapat menggelinding pada praktikum yang telah dilakukan?  
.....
2. Benda apa yang memiliki waktu tempuh paling cepat dan waktu tempuh paling lama?  
.....
3. Benda apa yang memiliki kecepatan paling cepat dan kecepatan paling lambat?  
.....

**8. Kesimpulan:**

.....  
 .....

**Gambar 7.** Contoh lembar kerja siswa.

**KESIMPULAN**

Pengembangan desain kit pembelajaran gerak menggelinding pada bidang miring telah berhasil dilakukan dengan memperhatikan

aspek ergonomis, keamanan, dan tampilan yang menarik bagi anak-anak. Kit pembelajaran yang dirancang telah diperiksa kesesuaiannya terhadap teori fisika kinematika-dinamika secara perhitungan teori dan simulasi sehingga

dapat dijadikan acuan pembelajaran materi gerak yang sederhana dan menyenangkan bagi siswa SD. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lanjutan adalah pembuatan purwarupa kit pembelajaran secara lengkap untuk diujikan kepada responden siswa SD maupun guru atau orang tua. Aspek fungsionalitas dan harga juga perlu dievaluasi untuk pengembangan kit lebih lanjut.

## REFERENSI

1. Elpira, N., & Ghufron, A. (2015). Pengaruh penggunaan media powerpoint terhadap Minat dan hasil belajar ipa siswa kelas IV SD. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, *2*(1), 94–104.
2. Wahyu, Y., Edu, A. L., & Nardi, M. (2020). Problematika pemanfaatan media pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *6*(1), 107–112.
3. Satria, E., & Sari, S. G. (2018). Penggunaan alat peraga dan KIT IPA oleh guru dalam pembelajaran di beberapa Sekolah Dasar di Kecamatan Padang Utara dan Nanggalo Kota Padang. *IKRA-ITH HUMANIORA: Jurnal Sosial Dan Humaniora*, *2*(2), 1–8.
4. Adim, M., Herawati, E. S. B., & Nuraya, N. (2020). Pengaruh model pembelajaran contextual teaching and learning (CTL) menggunakan media kartu terhadap minat belajar IPA kelas IV SD. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, *3*(1), 6–12.
5. Siswanti, R. (2019). Penerapan Model Pembelajaran Discovery Learning Untuk Meningkatkan Minat Belajar Dan Hasil Belajar Dalam Pembelajaran IPA SD. *Indonesian Journal of Education and Learning*, *2*(2), 226.
6. Fakhurrrazi, F. (2018). Hakikat pembelajaran yang efektif. *At-Taqfir*, *11*(1), 85–99.
7. Juwantara, R. A. (2019). Analisis teori perkembangan kognitif piaget pada tahap anak usia operasional konkret 7-12 tahun dalam pembelajaran Matematika. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah*, *9*(1), 27–34.
8. Darmayanti, N. W. S., & Triwahyuni, I. G. A. (2023). Analisis Pelaksanaan Praktikum Siswa Kelas V SD N 1 Cempaga. *Jurnal Elementary: Kajian Teori dan Hasil Penelitian Pendidikan Sekolah Dasar*, *6*(1), 25–29.
9. Harahap, N. M. (2019). Pengembangan Alat Peraga Kit Uji Fotosintesis untuk Meningkatkan Aktivitas Belajar Siswa Kelas VIII-6 Di MTsN 1 Banda Aceh Tahun Ajaran 2018/2019. *BIOILMI: Jurnal Pendidikan*, *5*(1), 1–9.
10. Naimah, K. (2022). Inovasi Pembelajaran IPA SD dengan Pemanfaatan Media KIT Alat Sederhana yang Berasal dari Lingkungan Sekitar Untuk Meningkatkan Kompetensi dan Kreativitas Siswa. *Formosa Journal of Science and Technology*, *1*(2), 97–110.
11. Oktaviani, Y., Lusa, H., & Noperman, F. (2019). Pengaruh Augmented reality sebagai media pembelajaran terhadap minat belajar siswa mata pelajaran ipa sd kota bengkulu. *JURIDIKDAS: Jurnal Riset Pendidikan Dasar*, *2*(3), 202–208.
12. Mardiansyah, Y., Rahman, T., Hernando, L., & Meldra, D. (2022). Rancang Bangun Praktikum Gerak Menggelinding Pada Bidang Miring Berbasis Sensor Arduinomikro untuk Menentukan Konstanta Inersia. *Jurnal Pendidikan Fisika*, *10*(1), 62–73.
13. Saputra, W., & Pramudya, Y. (2019). Pengembangan Instrumentasi Penentuan Kecepatan Gerak Silinder pada Bidang Miring dengan Menggunakan Arduino. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, *8*(2), 207–215.
14. Usmeldi, U., & Amini, R. (2021). Pelatihan penggunaan KIT IPA dan pengembangan LKPD berbasis praktikum untuk guru IPA. *Jurnal Abdimas Prakasa Dakara*, *1*(2), 56–65.
15. Deesera, V. S., & Ilhamsyah, D. T. (2017). Rancang Bangun Alat Ukur Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) Pada Bidang

- Miring Berbasis Arduino. *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, **5**(2).
16. Ariefka, R., & Pramudya, Y. (2019, March). The study of hollow cylinder on inclined plane to determine the cylinder moment of inertia. In *Journal of Physics: Conference Series*, **1170**(1), 012081.
17. Prihatini, S., Handayani, W., & Agustina, R. D. (2017). Identifikasi faktor perpindahan terhadap waktu yang berpengaruh pada kinematika gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). *Journal of Teaching and Learning Physics*, **2**(2), 13–20.



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

## PREPARASI NANOPARTIKEL OKSIDA BESI BERBASIS PASIR ALAM LOGAS DIDOPING KOBALT SEBAGAI MATERIAL LINGKUNGAN

Erwin Amiruddin\*, Amir Awaluddin, Muhammad Rizki

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

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

### ABSTRACT

*The cobalt doped iron oxide nanoparticles have been prepared by ball milling method using Logas natural sand as a raw material. The milled iron oxide nanoparticles were doped using cobalt with concentration of 0, 5, 10, 15, and 20 wt.%. The structural, magnetic and optical properties were studied using X-ray diffractometer (XRD), vibration sample magnetometer (VSM), and UV-Vis spectroscopy, respectively. The samples show cobalt-hematite nanoparticles as indicated through XRD measurement. The XRD measurements confirmed the formation of crystalline, rhombohedral crystal structure and hematite nanoparticles. The average crystallite size calculated using Scherrer formula found to be 38.51, 35.67, 33.75, 32.73, and 31.53 nm after being doped with cobalt 0, 5, 10, 15, and 20 wt. %, respectively. The samples exhibited weak ferromagnetic behaviour with the coercivity ranged from 124 Oe to 299 Oe. The optical properties strongly depend on cobalt content and showed that the band gaps of cobalt doped hematite decrease with increasing cobalt content. This work suggests that the prepared iron oxide nanoparticles are attractive photo Fenton catalysts for the degradation of methylene blue in the water.*

**Keywords:** Ball Milling, Cobalt, Logas Natural Sand, Optical, Magnetic and Structural Properties.

### ABSTRAK

*Hematit yang didoping kobalt nanopartikel telah dibuat dengan metode ball milling menggunakan Logas pasir alam sebagai bahan baku. Nanopartikel hematit hasil gilingan didoping menggunakan kobalt dengan konsentrasi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Sifat struktur, magnetik dan optik dipelajari masing masing menggunakan sinar-X difraktometer (XRD), vibration sample magnetometer (VSM) dan spektroskopi UV-Vis. Pengukuran XRD mengkonfirmasi struktur kristal nanopartikel oksida besi adalah rhombohedral dan memiliki fase hematit. Hasil ini juga menunjukkan pembentukan nanopartikel oksida besi-kobalt. Ukuran kristal rata-rata dihitung menggunakan persamaan Scherrer adalah 38,51, 35,67, 33,75, 32,73, dan 31,53 nm setelah didoping dengan kobalt dengan komposisi masing-masing 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Sifat optik sangat bergantung pada komposisi kobalt dan menunjukkan bahwa band gap nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt menurun dengan meningkatnya komposisi kobalt. Pengukuran sifat magnetik nanopartikel oksida besi menggunakan VSM menunjukkan sifat feromagnetik lemah dengan koersivitas berkisar antara 124 Oe hingga 299 Oe. Penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel oksida besi yang disiapkan adalah katalis foto Fenton yang menarik untuk degradasi biru metilen di dalam air.*

**Kata kunci:** Ball Milling, Cobalt, Pasir Alam Logas, Optik, Sifat Magnetik dan Struktur.

Diterima 26-10-2023 | Disetujui 04-11-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

### PENDAHULUAN

Partikel oksida besi telah menjadi subjek penelitian saat ini karena dapat diperoleh dari alam pasir [1]. Oksida ini ada di alam dalam

berbagai bentuk; Namun, bentuk yang paling umum adalah magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dan maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) [2]. Dalam ukuran nanometer, partikel oksida besi memiliki sifat super paramagnetik [3] yang

membuat material ini dapat digunakan dalam aplikasi yang lebih luas mulai dari katalis [4], hingga aplikasi biomedis [5, 6], dan lingkungan perbaikan [7]. Banyak metode preparasi nanopartikel oksida besi yang telah dikembangkan seperti hidrotermal [8], presipitasi kimia [9], *microwave*, [10] dan *ball milling* [11-13].

Metode yang paling umum untuk preparasi nanopartikel oksida besi adalah metode *ball milling* [14]. Dalam metode ini awalnya ukuran butiran yang lebih besar dari sampel diperkecil menjadi partikel yang berskala nanometer dengan cara mekanis. Adapun keuntungan menggunakan metode ini adalah sederhana, efisien, dan biaya rendah dibandingkan dengan metode lain. Sebelumnya peneliti [14,15] telah menggunakan metode *ball milling* untuk menghasilkan nanopartikel oksida besi. Misalnya, peneliti [15] menggunakan metode *ball milling* untuk mempreparasi nanopartikel oksida besi dengan ukuran 39,2 nm berbasis pasir alam Logas dan ditemukan bahwa nanopartikel ini memiliki struktur heksagonal dan berfase  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Sifat magnetik, fase dan morfologi partikel yang diperoleh tergantung pada waktu, kecepatan dan jenis bola *milling* yang digunakan [14]. Salah satu parameter paling penting untuk mengontrol sifat magnetik dari nanopartikel besi oksida magnetik adalah ukuran partikel. Namun, pengembangan metode sederhana, andal, dan biaya rendah untuk menyiapkan nanopartikel oksida besi dengan ukuran dan distribusi ukuran yang dapat dikontrol menjadi tugas yang menantang bagi para peneliti. Berdasarkan peneliti sebelumnya [16], ketika unsur logam transisi didoping ke nano partikel oksida besi, maka proses ini dapat mengubah sifat optik, magnetik dan sifat struktural partikel nanopartikel oksida besi.

Metode doping dan pemilihan elemen doping mempengaruhi sifat optik, magnetik dan struktur nanopartikel besi oksida. Dalam tulisan ini, ditentukan sifat struktur, magnetik dan sifat optik nanopartikel oksida besi berbasis pasir alam Logas kabupaten Kuansing didoping

kobalt menggunakan metode *ball milling* untuk aplikasi lingkungan.

## METODE PENELITIAN

### Bahan Baku dan Zat Kimia

Bahan baku yang digunakan untuk menyiapkan nanopartikel oksida besi adalah pasir alami yang diambil dari desa Logas Kabupaten Kuansing Provinsi Riau. Bahan kimia digunakan untuk mendoping nanopartikel oksida besi adalah *cobalt* dengan kemurnian 99,99%. Metilen biru digunakan sebagai model polusi untuk aplikasi foto-fenton.

### Persiapan Nanopartikel Oksida Besi Tanpa Doping dan Didoping *Cobalt*

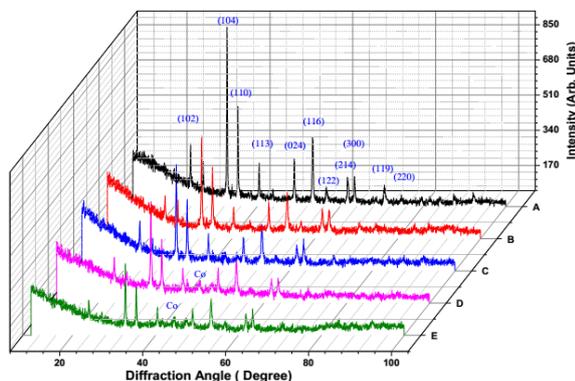
Sampel pasir alam diambil dari desa Logas kabupaten Kuansing Provinsi Riau. Jumlah partikel non oksida besi dalam sampel dikurangi menggunakan *iron sand separator* (ISS). Partikel oksida besi yang diperoleh di-*milling* menggunakan metode *ball milling* 2 tahap.

Tahap pertama *milling* berlangsung selama 50 jam dan dilanjutkan dengan pemisahan antara partikel oksida besi dan oksida non-besi menggunakan magnet NdFeB. Tahap kedua *milling* dilakukan untuk 50 jam lagi dan diikuti dengan pemisahan antara oksida besi dan oksida non-besi menggunakan magnet NdFeB. Produk dari proses tahap 2 *ball milling* dibagi menjadi 4 bagian dengan berat yang sama. Masing-masing produk di-*milling* bersama dengan kobalt sebagai dopan komposisi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.% selama 20 jam.

Sifat struktur, magnetik dan optik nanopartikel oksida besi sebelum dan sesudah doping dipelajari menggunakan masing masing spektroskopi UV-Vis, *X-ray diffractometer* (XRD), dan vibration sample magnetometer (VSM). Komposisi sampel sebelum dan sesudah dilakukan doping kobalt diperoleh dengan menggunakan spektrometer *X-ray fluorescence* (XRF).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan pola XRD nanopartikel oksida besi tanpa doping dan didoping kobalt. Sifat struktur sampel dianalisis menggunakan XRD Phillips menghasilkan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) sebesar 0,15406 nm. Dalam pengukuran ini, sudut difraksi dipilih dalam interval  $10^\circ$  sampai  $100^\circ$  dengan step  $0,01^\circ$ . Pola XRD dari nanopartikel oksida besi yang tidak didoping menunjukkan sudut difraksi  $23,92^\circ$ ,  $32,74^\circ$ ,  $35,37^\circ$ ,  $40,47^\circ$ ,  $48,95^\circ$ ,  $53,38^\circ$ ,  $56,70^\circ$ ,  $61,84^\circ$ , dan  $63,50^\circ$  dan ini sesuai dengan bidang (102), (104), (110), (113), (024), (116), (122), (214) dan (300). Ini sesuai dengan literatur JCPDS nomor file: 89-8103 dengan fase rhombohedral  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  [17]. Semua puncak difraksi yang diamati telah diindeks ke  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . Dalam kasus 5, 10, 15, dan 20 wt.% kobalt yang didoping  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  nanopartikel, pola difraksi nanopartikel oksida besi strukturnya tidak berubah ketika didoping kobalt. Namun, pola XRD menunjukkan puncak tambahan pada sudut difraksi  $44,38^\circ$  sesuai dengan bidang refleksi (400) kobalt [18].



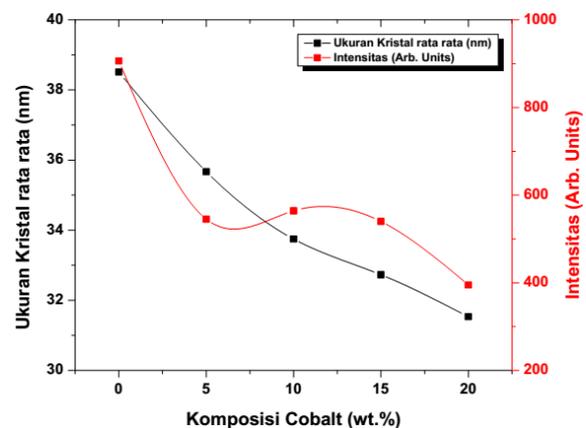
**Gambar 1.** Pola XRD nanopartikel oksida besi untuk (A) tidak didoping kobalt dan didoping chromium (B) 5 wt.%, (C) 10 wt.%, (D) 15 wt.%, dan (E) 20 wt.%.

Dalam kasus 5, 10, 15, dan 20 wt.% doping kobalt nanopartikel oksida besi, pola difraksinya tidak berubah ketika didoping kobalt. Pola XRD menunjukkan puncak tambahan pada sudut difraksi  $44,38^\circ$  dengan sesuai dengan refleksi bidang (400) yang merupakan karakteristik kobalt (JCPDS15-

0806) [19]. Intensitas sinar-X fase kobalt meningkat seiring dengan peningkatan komposisi kobalt yang memperlihatkan fase kobalt dalam sampel. Oleh karena itu, keberadaan puncak difraksi terkait dengan kobalt dan nanopartikel oksida besi menunjukkan keberhasilan pembentukan fase nanopartikel  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -kobalt menggunakan metode *ball milling*. Ukuran rata-rata kristal nanopartikel oksida besi ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) dihitung menggunakan Persamaan Scherrer [20]:

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

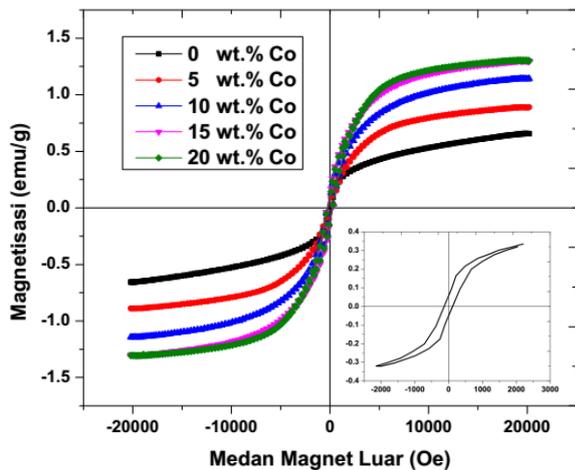
dimana  $D$  adalah ukuran kristal (nm),  $\lambda$  adalah sinar-X panjang gelombang ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ),  $k$  adalah konstanta Scherrer, yang sama dengan 0,9,  $\beta$  adalah lebar penuh setengah maksimum (FWHM) dari puncak, dan  $\theta$  adalah difraksi yang sesuai sudut ( $^\circ$ ).



**Gambar 2.** Ukuran kristal rata rata dan intensitas sebagai fungsi komposisi kobalt (wt.%).

Estimasi ukuran kristalit nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah 38,52 nm dan didoping kobalt dengan komposisi 5, 10, 15, dan 20 wt.% adalah 35,67, 33,75, 35,73, dan 31,53 nm seperti ditampilkan pada Gambar 2. Dapat dilihat dengan jelas bahwa ukuran kristal nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt berkurang dengan meningkatkan komposisi kobalt, menunjukkan bahwa penambahan kobalt dapat secara efektif menurunkan kristal nanopartikel oksida besi. Oleh karena itu,

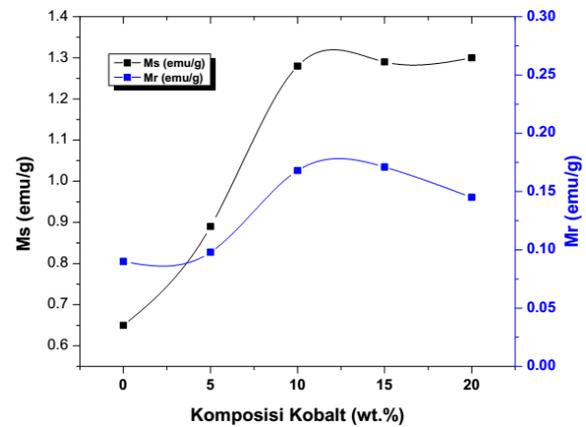
ukuran kristal rata-rata nanopartikel oksida besi yang didoping kobalt menjadi lebih kecil dibandingkan dengan nanopartikel hematit yang tidak didoping. Untuk membandingkan hasil yang diperoleh dengan literatur, maka digunakan semuanya bidang dalam pola difraksi untuk menghitung ukuran kristal nanopartikel oksida besi. Hasil yang diperoleh sesuai dengan data dalam literatur di mana ukuran kristal antara 21 nm dan 82 nm [21].



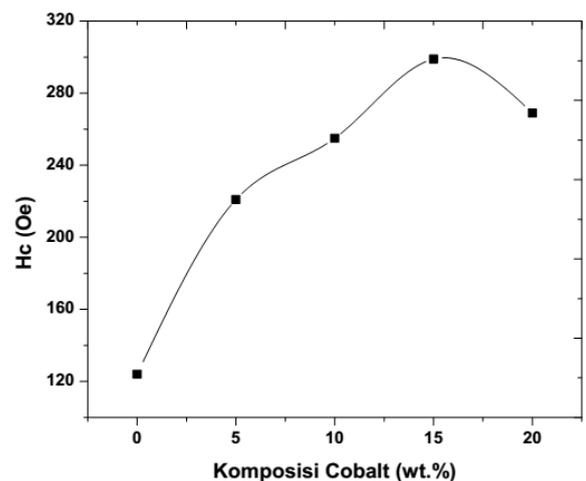
**Gambar 3.** *Hysteresis loop* nanopartikel oksida besi didoping kobalt. Gambar sisipan adalah *hysteresis loop* diperbesar untuk komposisi kobalt 0 wt.%.

Plot medan magnet luar (Oe) terhadap magnetisasi (emu/g) dari nanopartikel oksida besi didoping kobalt ditampilkan pada Gambar 3. *Loop* ini diukur menggunakan vibration sample magnetometer (VSM) dimana medan magnet yang digunakan antara +20.000 Oe sampai -20.000 Oe. Nilai magnetisasi saturasi sampel meningkat seiring peningkatan konsentrasi kobalt karena atom kobalt berada pada batas butir-butir oksida besi. Nilai parameter magnetik yang diukur seperti magnetisasi saturasi ( $M_s$ ), magnetisasi remanen ( $M_r$ ), koersivitas ( $H_c$ ) dan kuadrat loop diberikan dalam Gambar 4 dan 5. Dapat dilihat bahwa saturasi magnetisasi nanopartikel oksida besi yang tidak didoping adalah 0,65 emu/g. Nilai ini lebih rendah dari yang dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [22]. Peningkatan nilai magnetisasi saturasi nanopartikel oksida besi didoping kobalt dibandingkan untuk

nanopartikel oksida besi tanpa doping dikarenakan oleh peningkatan kandungan kobalt dimana kobalt adalah elemen ferromagnetik.



**Gambar 4.** Magnetisasi saturasi dan remanan nanopartikel oksida besi sebagai fungsi komposisi doping kobalt (wt.%).

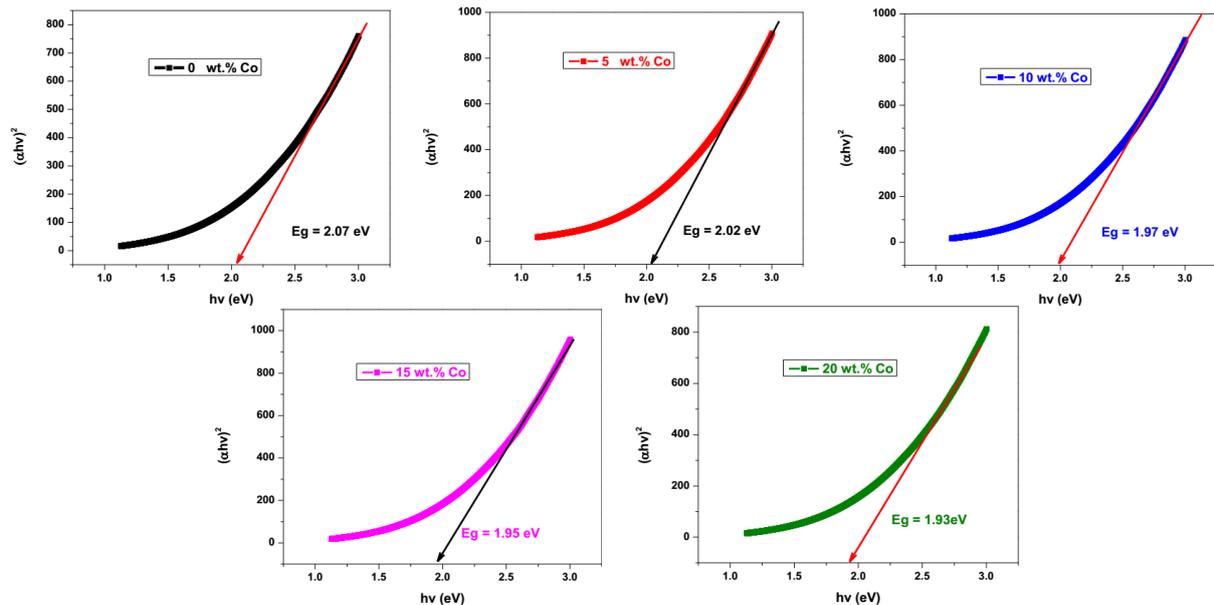


**Gambar 5.** Nilai koersivitas nanopartikel oksida besi sebagai fungsi komposisi kobalt.

*Loop* histeresis dari semua sampel menunjukkan perilaku ferromagnetik lemah ditandai dengan rendahnya nilai koersivitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Koersivitas dari nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah sekitar 124 Oe dan meningkat menjadi 221, 255, 299, dan 269 Oe ketika didoping kobalt dengan komposisi masing-masing adalah 5, 10, 15, dan 20 wt.%. Peningkatan nilai koersivitas dapat dipahami secara kualitatif dimana penambahan komposisi kobalt menyebabkan semakin banyak partikel kobalt yang berada diantara butir-butiran oksida besi, sehingga partikel oksida besi makin

terpisah antara satu dengan yang lainnya. Dimana pada akhirnya kopling *exchange* antara nanopartikel oksida besi menjadi lemah [23]. Nilai koersivitas dari sampel menurun menjadi 269 Oe untuk komposisi kobalt 20 wt.%. Pengurangan nilai koersivitas ini karena lebih banyak interaksi antara nanopartikel kobalt dalam sampel. Efek ini menyebabkan penurunan koersivitas untuk sampel dengan

kandungan kobalt 20 wt.% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai magnetisasi remanen (MR) nanopartikel oksida besi tanpa doping adalah 0,095emu/g dan meningkat menjadi 1,71 emu/g untuk komposisi kobalt 15 wt.% dan menurun menjadi 0,145 emu/g untuk komposisi kobalt 20 wt.% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 6.** Band gap nanopartikel oksida besi berdasarkan variasi komposisi kobalt (wt.%).

Gambar 6 menunjukkan grafik Tauc untuk *band gap* transisi tidak langsung untuk nanopartikel oksida besi tanpa doping dan didoping kobalt. *Band gap* nanopartikel tanpa doping dan didoping kobalt ditentukan menggunakan persamaan Tauc berikut [24]:

$$(\alpha hv)^n = A(hv - E_g) \quad (2)$$

di mana  $\alpha$  adalah koefisien absorpsi,  $A$  adalah konstanta,  $hv$  adalah energi cahaya, dan  $n$  adalah konstanta yang tergantung pada sifat transisi elektron [21].

Hematit memiliki  $n = 1/2$  untuk *band gap* tidak langsung [25]. *Band gap* dari nanopartikel hematit yang didoping dan kobalt dapat ditentukan dari grafik hubungan antara  $(\alpha hv)^2$  terhadap  $hv$ . Bagian linier dari grafik dengan kemiringan tertentu ketika ekstrapolasi memotong sumbu-x akan menghasilkan *band*

*gap*. *Band gap* untuk nanopartikel tanpa doping dan didoping kobalt 5, 10, 15, dan 20 wt.% ditampilkan pada Gambar 6. Nilai *band gap* ini menurun dengan penambahan komposisi kobalt yaitu 2.07, 2.03, 1.98, 1.96, dan 1.93 eV. Nilai band ini berada dalam interval 1.54 – 2.3 eV seperti yang ditunjukkan pada referensi [26]. Hasil ini menunjukkan bahwa nanopartikel oksida besi didoping kobalt memiliki sifat fotokatalitik yang diharapkan di bawah penyinaran cahaya tampak.

## KESIMPULAN

Nanopartikel oksida besi didoping kobalt dengan komposisi 0, 5, 10, 15, dan 20 wt.% telah berhasil dibuat dengan metode *ball milling*. Pengukuran XRD menunjukkan bahwa ukuran rata Kristal nanopartikel oksida besi menurun seiring dengan bertambahnya komposisi kobalt. Struktur kristal nanopartikel

oksida besi tidak berubah setelah didoping kobalt. Namun, sifat magnetik nanopartikel oksida besi didoping kobalt mengalami perubahan. Magnetisasi ( $M_s$ ) dan remanansi magnetisasi ( $M_r$ ), dan koersivitas ( $H_c$ ) meningkat dengan meningkatnya komposisi kobalt. *Band gap* nanopartikel oksida besi mengalami penurunan dengan seiring penambahan komposisi kobalt sebagai elemen doping. Kemampuan untuk memodifikasi nanopartikel oksida besi dalam ukuran Kristal, sifat magnetik dan *band gap* yang terkontrol memungkinkan nanopartikel oksida besi ini dapat digunakan untuk aplikasi lingkungan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung secara finansial oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Indonesia Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Perjanjian No. 15465/UN19.5.1.3/AL.04/2023). Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), untuk melakukan pengukuran VSM dan Jurusan Fisika UNP untuk melakukan XRD dan UV-Vis. Terimakasih juga disampaikan kepada mahasiswa S-1 Fisika yang telah membantu pengumpulan sampel dan uji XRD, VSM dan UV-Vis.

### REFERENSI

1. Amiruddin, E., Hadianto, H., Riana, M., Sinuraya, S., Noverdi, M. D., & Fitri, A. S. (2021). Undoped and manganese doped iron oxide nanoparticles for environmental applications. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, **16**(18), 1872–1876.
2. Teja, A. S., & Koh, P. Y. (2009). Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles. *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials*, **55**(1-2), 22–45.
3. Xu, P., Zeng, G. M., Huang, D. L., Feng, C. L., Hu, S., Zhao, M. H., ... & Liu, Z. F. (2012). Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: a review. *Science of the Total Environment*, **424**, 1–10.
4. Liu, J., Yang, H., & Xue, X. (2019). Preparation of different shaped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with large particles of iron oxide red. *Cryst. Eng. Comm*, **21**(7), 1097–1101.
5. Akbarzadeh, A., Samiei, M., & Davaran, S. (2012). Magnetic nanoparticles: preparation, physical properties, and applications in biomedicine. *Nanoscale Research Letters*, **7**, 1–13.
6. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C., & Kim, W. S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, **16**(2), 023501.
7. Araújo, R., Castro, A. C. M., & Fiúza, A. (2015). The use of nanoparticles in soil and water remediation processes. *Materials Today: Proceedings*, **2**(1), 315–320.
8. Tadic, M., Panjan, M., Damnjanovic, V., & Milosevic, I. (2014). Magnetic properties of hematite ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles prepared by hydrothermal synthesis method. *Applied Surface Science*, **320**, 183–187.
9. Quintin, M., Devos, O., Delville, M. H., & Campet, G. (2006). Study of the lithium insertion–deinsertion mechanism in nanocrystalline  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> electrodes by means of electrochemical impedance spectroscopy. *Electrochimica Acta*, **51**(28), 6426–6434.
10. Hu, L., Percheron, A., Chaumont, D., & Brachais, C. H. (2011). Microwave-assisted one-step hydrothermal synthesis of pure iron oxide nanoparticles: magnetite, maghemite and hematite. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **60**, 198–205.

11. Amiruddin, E., & Prayitno, A. (2019). The synthesis of magnetic nanoparticles from natural iron sand of Kata beach Pariaman West Sumatera using ball milling method as environmental material. *MATEC Web of Conferences*, **276**
12. Erwin, A., Salomo, S., Adhy, P., Utari, N., Ayu, W., Wita, Y., & Nani, S. (2020). Magnetic iron oxide particles (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) fabricated by ball milling for improving the environmental quality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **845**(1), 012051
13. Razavi-Tousi, S. S., & Szpunar, J. A. (2015). Effect of ball size on steady state of aluminum powder and efficiency of impacts during milling. *Powder Technology*, **284**, 149–158.
14. Amiruddin, E., Awaluddin, A., Hariani, I., Sihombing, R., & Angraini, R. (2020). The Influence of Milling Ball Size on the Structural, Morphological and Catalytic Properties of Magnetite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) Nanoparticles toward Methylene Blue Degradation. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012006.
15. Hadianto, H., Amiruddin, E., Venera, R. S. P., & Aprilia, V. (2020). Structural and Morphological Properties of Undoped and Manganese Doped Hematite Nanoparticles Prepared by Ball Milling Method. *Journal of Physics: Conference Series*, **1655**(1), 012013.
16. Krishnan, K. M., Pakhomov, A. B., Bao, Y., Blomqvist, P., Chun, Y., Gonzales, M., ... & Roberts, B. K. (2006). Nanomagnetism and spin electronics: materials, microstructure and novel properties. *Journal of Materials Science*, **41**, 793–815.
17. Supattarasakda, K., Petcharoen, K., Permpool, T., Sirivat, A., & Lerdwijitjarud, W. (2013). Control of hematite nanoparticle size and shape by the chemical precipitation method. *Powder Technology*, **249**, 353–359.
18. Park, K. W., & Kolpak, A. M. (2018). Understanding photocatalytic overall water splitting on CoO nanoparticles: Effects of facets, surface stoichiometry, and the CoO/water interface. *Journal of Catalysis*, **365**, 115–124.
19. Xu, C., Sun, F., Gao, H., & Wang, J. (2013). Nanoporous platinum–cobalt alloy for electrochemical sensing for ethanol, hydrogen peroxide, and glucose. *Analytica Chimica Acta*, **780**, 20–27.
20. Lin, J., Lin, Y., Liu, P., Meziani, M. J., Allard, L. F., & Sun, Y. P. (2002). Hot-fluid annealing for crystalline titanium dioxide nanoparticles in stable suspension. *Journal of the American Chemical Society*, **124**(38), 11514–11518.
21. Lassoued, A., Dkhil, B., Gadri, A., & Ammar, S. (2017). Control of the shape and size of iron oxide ( $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanoparticles synthesized through the chemical precipitation method. *Results in Physics*, **7**, 3007–3015.
22. Satheesh, R., Vignesh, K., Suganthi, A., & Rajarajan, M. (2014). Visible light responsive photocatalytic applications of transition metal (M= Cu, Ni and Co) doped  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Journal of environmental chemical engineering*, **2**(4), 1956–1968.
23. Erwin & Prayitno, A. (2017). Magnetic Exchange Interaction in Cobalt Samarium Thin Films for High Density Magnetic. *Recording Media ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, **12**(12), 3832.
24. Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. *Physica Status Solidi (B)*, **15**(2), 627–637.
25. Bhar, S. K., Mukherjee, N., Maji, S. K., Adhikary, B., & Mondal, A. (2010).

Synthesis of nanocrystalline iron oxide ultrathin films by thermal decomposition of iron nitroprusside: structural and optical properties. *Materials Research Bulletin*, **45**(12), 1948–1953.

26. Gilbert, B., Frandsen, C., Maxey, E. R., & Sherman, D. M. (2009). Band-gap measurements of bulk and nanoscale hematite by soft x-ray spectroscopy. *Physical Review B*, **79**(3), 035108.



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

# PEMANFAATAN LIMBAH SERABUT KELAPA MUDA SEBAGAI ELEKTRODA KARBON SUPERKAPASITOR DENGAN VARIASI KONSENTRASI AKTIVATOR $ZnCl_2$

Ridho Nopriansyah, Awitdrus\*  
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau

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

## ABSTRACT

*The chemical activation method is a simple and low-cost activation method that can modify the surface morphology associated with improving the electrochemical properties of supercapacitor cell electrodes. The porous carbon framework was derived from young coconut fiber biomass by optimizing the chemical activation reagent ( $ZnCl_2$ ). Carbon material derived from coconut fiber is a biomass for the application of supercapacitor cell electrodes through the pre-carbonization stage at  $200^\circ C$  for 1 hour 30 minutes, chemical activation using the activating agent  $ZnCl_2$  with various concentrations of 0.1, 0.3, and 0.5 M, the carbonization process uses gas  $N_2$  with a temperature of  $600^\circ C$  and physical activation using  $CO_2$  gas with a temperature of  $750^\circ C$ . The optimum concentration of young coconut fiber-based carbon electrodes is found at a concentration of 0.5 M, which has the highest density shrinkage percentage of 53.11%. X-ray diffraction analysis showed that the sample at a concentration of 0.5 M was amorphous with two wider diffraction angle of  $2\theta$  at an angle of  $24.867^\circ$  and  $44.556^\circ$ , with the lowest  $L_c/L_a$  ratio of 0.3 and an average microcrystalline layer of 2.3. Analysis of electrochemical properties showed that samples at a concentration of 0.5 M has an optimum specific capacitance of 81.84 F/g in the CV.*

**Keywords:** Carbon Electrodes, Chemical Activation, Specific Capacitance, Supercapacitors, Young Coconut Fiber.

## ABSTRAK

*Metode aktivasi kimia merupakan salah satu metode aktivasi yang sederhana dan berbiaya rendah yang dapat merekayasa morfologi permukaan yang berhubungan dengan peningkatan sifat elektrokimia elektroda sel superkapasitor. Kerangka karbon berpori diturunkan dari biomassa serabut kelapa muda dengan pengoptimalan aktivasi kimia ( $ZnCl_2$ ). Material karbon turunan serabut kelapa merupakan biomassa untuk aplikasi elektroda sel superkapasitor melalui tahapan pra-karbonisasi pada suhu  $200^\circ C$  selama 1 jam 30 menit, aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif  $ZnCl_2$  dengan variasi konsentrasi 0,1, 0,3, dan 0,5 M, proses karbonisasi menggunakan gas  $N_2$  dengan suhu  $600^\circ C$  dan aktivasi fisika menggunakan gas  $CO_2$  dengan suhu  $750^\circ C$ . Konsentrasi optimum dari elektroda karbon berbasis serabut kelapa muda terdapat pada konsentrasi 0.5 M, yang memiliki persentase penyusutan densitas tertinggi yaitu sebesar 53,11%. Analisis difraksi sinar-X menunjukkan sampel pada konsentrasi 0.5 M bersifat amorf yang memiliki dua sudut difraksi yang lebar  $2\theta$  pada sudut  $24,867^\circ$  dan  $44,556^\circ$ , dengan rasio  $L_c/L_a$  terendah sebesar 0,3 dan rata-rata lapisan mikrokristalin sebesar 2,3. Analisis sifat elektrokimia menunjukkan sampel pada konsentrasi 0,5 M memiliki kapasitansi spesifik optimum sebesar 81,48 F/g pada uji CV.*

**Kata kunci:** Elektroda Karbon, Aktivasi Kimia, Kapasitansi Spesifik, Supercapacitor, Serabut Kelapa muda.

Diterima 05-06-2023 | Disetujui 04-11-2023 | Dipublikasi 30-11-2023

## PENDAHULUAN

Pasokan energi menjadi salah satu perhatian utama bagi negara-negara di dunia, seperti

halnya Indonesia saat ini. Tingkat penggunaan energi listrik telah meningkat rata-rata 7,1% per tahun selama tahun 2000 – 2025. Tren ini

kemungkinan akan terus berlanjut karena meningkatnya penggunaan energi listrik dalam kehidupan modern [1]. Krisis energi akhir-akhir ini mendorong para peneliti untuk berinovasi menciptakan perangkat yang dapat menyimpan energi dalam jumlah besar dan dapat digunakan dalam waktu yang relatif lama [2].

Era global banyak muncul perbincangan tentang energi, mulai dari sumber energi baru, energi alternatif hingga penyimpanan energi yang semakin hari semakin berkembang. Penyimpanan energi yang digunakan dalam perangkat elektronik sehari-hari adalah baterai dan kapasitor. Baterai dianggap efektif sebagai perangkat penyimpan energi bertegangan rendah sampai saat ini. Baterai akan mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*) jika sering digunakan, dan kapasitor konvensional hanya mampu menyimpan energi pada kapasitansi yang kecil [3]. Krisis energi yang terjadi membuat peneliti berinovasi membuat sebuah piranti penyimpanan energi dengan kapasitas penyimpanan yang lebih tinggi dari kapasitor konvensional dan dengan energi yang lebih tinggi dari baterai, yang disebut superkapasitor. Superkapasitor terdiri dari elektroda, elektrolit, pengumpul arus dan pemisah.

Elektroda superkapasitor dapat dibuat dari karbon aktif yang berasal dari biomassa. Pembuatan karbon aktif menggunakan limbah biomassa untuk elektroda superkapasitor sebagai piranti penyimpanan energi sangatlah menjanjikan. Limbah organik memiliki kandungan karbon yang cukup besar, yang dapat dijadikan sebagai bahan dasar pembuatan karbon aktif berpori. Selain itu juga, menyediakan luas permukaan tinggi, struktur pori alami yang beragam, konduktivitas tinggi, stabilitas termal yang baik, ketersediaannya yang melimpah, harga yang lebih ekonomis dan mempunyai sifat fisika-kimiawi yang sangat baik menjadi salah satu alasan memilih biomassa untuk dijadikan elektroda superkapasitor [4]. Limbah serabut kelapa muda adalah biomassa yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan elektroda karbon berpori pada sel superkapasitor pada penelitian ini. Serabut kelapa dapat dimanfaatkan sebagai

bahan baku pembuatan karbon aktif karena adanya kandungan lignin hemiselulosa dan selulosa yang besar. Kandungan lignin sebanyak 33,5%, hemiselulosa 15,5%, dan selulosa 37,9% [5]. Studi ini difokuskan pada peranan pengaruh konsentrasi aktivasi kimia terhadap penyusutan densitas dan kapasitansi spesifik sel superkapasitor yang dihasilkan.

## METODE PENELITIAN

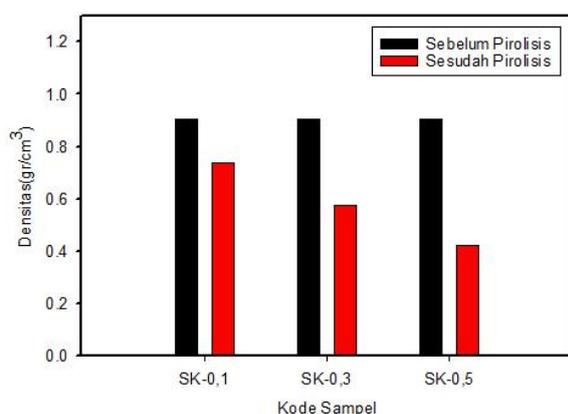
Metode penelitian ini menjelaskan prosedur pembuatan elektroda karbon sel superkapasitor yang berbahan dasar serabut kelapa muda. Serabut kelapa muda dipisahkan dari buahnya dan dijemur dibawah sinar matahari hingga massa konstan. Proses pra-karbonisasi menggunakan oven dengan suhu sebesar 200°C selama 1 jam 30 menit dan sampel dihaluskan menggunakan ball milling selama 24 jam dengan waktu istirahat selama 4 jam. Sampel diayak menggunakan ayakan ukuran 53 µm untuk menyeragamkan ukuran partikel serbuk karbon. Proses aktivasi kimia menggunakan agen pengaktif ZnCl<sub>2</sub> dengan variasi 0,1, 0,3, dan 0,5 M. Pembuatan pelet dari serbuk karbon menggunakan hydraulic press dengan tekanan sebesar 7,5 ton dan ditahan selama 2 menit. Proses karbonisasi dilakukan dengan cara memanaskan pelet di dalam furnace pada suhu 600°C yang dialiri gas nitrogen (N<sub>2</sub>). Proses aktivasi fisika menggunakan gas Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada suhu 750°C. Elektroda karbon direndam menggunakan aquades hingga pH netral. Pembuatan sel superkapasitor dibuat menggunakan beberapa bahan, yaitu elektroda karbon, pengumpul arus, teflon, separator (masker medis lapisan ke-2), dan elektrolit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Masing-masing sampel dilakukan perhitungan densitas dan analisis difraksi sinar-X, serta pengujian sifat elektrokimia menggunakan metode siklik voltametri.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Densitas

Gambar 1 merupakan grafik penyusutan densitas elektroda karbon sebelum dan sesudah

proses pirolisis. Penurunan hasil densitas dipengaruhi oleh penguapan unsur selain karbon yang dapat meningkatkan porositas. Aktivasi konsentrasi agen pengaktif  $ZnCl_2$  yang dilakukan dapat membuat zat pengaktif bereaksi secara langsung dengan karbon, selanjutnya proses aktivasi fisika dengan gas  $CO_2$  mengakibatkan gas bereaksi dengan permukaan elektroda karbon yang mengakibatkan pembentukan pori sehingga menurunkan densitas pada semua sampel [6]. Besarnya densitas setiap sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 setelah proses karbonisasi-aktivasi fisika yaitu 0,730, 0,574, dan 0,424  $gr/cm^3$  dengan persentase penyusutan densitas masing-masing yaitu 18,38%, 36,44%, dan 53,11%. SK-0,5 memiliki densitas yang paling rendah dari pada SK-0,1 dan SK-0,3. Konsentrasi 0,5 M merupakan konsentrasi optimum untuk pembentukan pori-pori karbon pada biomassa serabut kelapa muda. Nilai densitas yang semakin kecil akan membuat semakin banyak pori-pori elektroda karbon aktif yang terbentuk sehingga tingkat porositas yang dihasilkan pun semakin besar, dengan demikian penyimpanan muatan pada elektroda akan semakin baik [7].



**Gambar 1.** Grafik penyusutan densitas elektroda karbon.

### Analisis Data Difraksi Sinar-X

Pola difraksi sinar-X yang dihasilkan merupakan pola difraksi terhadap karbon aktif yaitu terdapat 2 puncak landai pada rentang sudut difraksi  $2\theta$  dengan bidang refleksi (002)

dan (100), pada sudut  $22^\circ - 25^\circ$  dan  $42^\circ - 45^\circ$ . Dua puncak landai tersebut mengindikasikan bahwa pada sampel tersebut memiliki struktur karbon amorf [8].

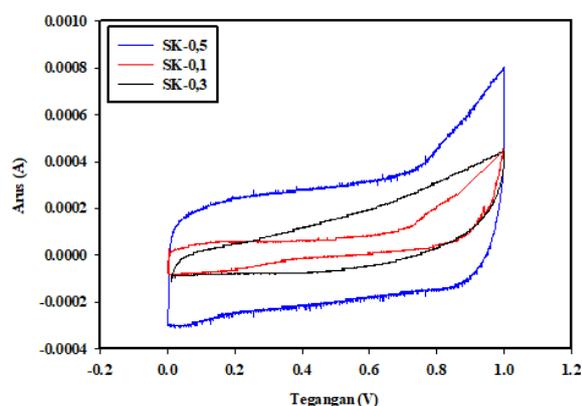
Penambahan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  dapat menyebabkan perubahan nilai  $L_c$  dan  $L_a$ . Perubahan nilai  $L_c$  dan  $L_a$  tersebut disebabkan terjadi pergeseran jarak antar lapisan pada bidang refleksi (002) dan (100) pada SK-0,1 terdapat jarak antar bidang dari 3,693 nm menjadi 2,053 nm, sedangkan SK-0,5 menunjukkan jarak antar bidang dari 3,578 nm menjadi 2,032 nm. Pergeseran sudut  $2\theta$  ini disebabkan oleh semakin banyaknya impregnasi  $ZnCl_2$  pada sampel SK sehingga terjadilah reaksi karbon dengan reagen kimia yang menghasilkan produk-CO  $ZnOCl$  dan menguapkan lebih banyak senyawa volatile sehingga pori-pori mulai terbentuk dan menyebar secara tidak teratur pada permukaan sampel [9]. Luas permukaan elektroda karbon dipengaruhi oleh nilai  $L_a$  dan  $L_c$ ,  $L_c$  yang lebih rendah diperlukan untuk pembentukan luas permukaan yang tinggi [10]. SK-0,5 juga menunjukkan rasio  $L_c/L_a$  yang lebih rendah, dimana rasio  $L_c/L_a$  menyatakan bahwa elektroda SK memiliki kristalinitas rendah, aromatik, dan ketidakteraturan atom karbon yang tinggi sehingga dapat memfasilitasi pergerakan elektron dan secara bersamaan meningkatkan daya hantar listrik atau konduktivitas. Nilai  $N_p$  yang dihasilkan sampel SK-0,5 juga menunjukkan nilai tertinggi dari kedua sampel, hal ini menunjukkan bahwa pada molaritas 0.5 M  $ZnCl_2$  yang bereaksi dengan karbon saat proses karbonisasi menghasilkan sedikit produk sampingan dan banyak zat pengotor yang menguap, sehingga ada banyak pori yang terbentuk menyebar tidak teratur pada permukaan elektroda SK-0,5. Kondisi ini dapat meningkatkan konduktivitas dari elektrokimia sel superkapasitor [11]. Pada Tabel 1 sampel SK-0,5 memiliki nilai  $L_c$  dan  $L_c/L_a$  yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel SK-0,1 yaitu 8,25 dan 0,3 dan memiliki nilai  $N_p$  tertinggi yaitu 2,3.

**Tabel 1.** Jarak antar bidang dan dimensi mikrokristalin elektroda karbon.

Kode Sampel	2θ		Jarak antar bidang		Dimensi mikrokristalin		$L_c/L_a$	$N_p$
	002	100	$d_{002}$ (nm)	$d_{100}$ (nm)	$L_c$ (nm)	$L_a$ (nm)		
SK-0,1	24,076	44,066	3,693	2,053	8,37	24,82	0,34	2,27
SK-0,5	24,867	44,556	3,578	2,032	8,25	27,93	0,30	2,30

### Analisis Siklik Voltametri

Kurva pengujian siklik voltametri dari sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 dengan laju pemindaian 1 mV/s dipaparkan pada Gambar 2. Kurva CV yang dihasilkan mempunyai lengkungan dan mendekati bentuk persegi panjang, dimana bentuk ini merupakan sifat ideal dari superkapasitor lapis ganda elektrokimia (EDLC) [12]. Kurva CV pada SK-0,1 memiliki luas paling kecil dan kurva CV pada SK-0,5 memiliki luas paling besar, hal ini dapat mempengaruhi besarnya nilai kapasitansi spesifik pada sel superkapasitor. Semakin luas kurva CV maka nilai arus pengisian-pengosongan semakin besar, maka kapasitansi spesifik tinggi.

**Gambar 2.** Kurva siklik voltametri.

Nilai kapasitansi spesifik untuk masing-masing sampel SK-0,1, SK-0,3, dan SK-0,5 yaitu 12,38, 36,1, dan 81,48 F/g. Pada kurva setiap sampel terjadinya kenaikan rapat arus yang signifikan. Kenaikan rapat arus ini disebabkan karena kandungan heteroatom yang terdapat pada sampel [13]. Tingginya nilai kapasitansi spesifik pada SK-0,5 disebabkan karena memiliki nilai densitas setelah proses pirolisis paling rendah dari sampel lainnya. Rendahnya nilai densitas dari elektroda karbon

mampu meningkatkan porositas yang mengindikasikan terdapat banyaknya pori-pori dari elektroda karbon. Aktivasi konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  yang dilakukan dapat membuat zat pengaktif bereaksi secara langsung dengan karbon, selanjutnya proses aktivasi fisika dengan gas  $CO_2$  mengakibatkan gas bereaksi dengan permukaan elektroda karbon yang mengakibatkan pembentukan pori sehingga menurunkan densitas pada sampel [6].

### KESIMPULAN

Hasil dan Pembahasan menunjukkan bahwa konsentrasi 0,5 M merupakan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  optimum untuk sampel serabut kelapa muda. Konsentrasi 0,5 M mampu menghasilkan elektroda karbon dengan persentase penyusutan densitas tertinggi sebesar 53,11%. Aktivasi kimia aktivator  $ZnCl_2$  0,5 M memiliki nilai  $L_c$  dan  $L_c/L_a$  terendah sehingga mampu meningkatkan luas permukaan dari elektroda karbon. Analisis menggunakan siklik voltametri menunjukkan konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$  0,5 M mampu menghasilkan  $C_{sp}$  sebesar 81,84 F/g.

### REFERENSI

1. Tumimomor, F. R., & Palilingan, S. C. (2018). Pemanfaatan karbon aktif dari sabut kelapa sebagai elektroda superkapasitor. *Fullerene Journal of Chemistry*, **3**(1), 13–18.
2. Wang, X., Li, Y., Lou, F., Buan, M. E. M., Sheridan, E., & Chen, D. (2017). Enhancing capacitance of supercapacitor with both organic electrolyte and ionic liquid electrolyte on a biomass-derived carbon. *RSC advances*, **7**(38), 23859–23865.

3. Pasaribu, F. I. (2020). Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi Menggunakan Bahan Graphene. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, **2**(2), 65–72.
4. Wei, Q., Chen, Z., Cheng, Y., Wang, X., Yang, X., & Wang, Z. (2019). Preparation and electrochemical performance of orange peel based-activated carbons activated by different activators. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **574**, 221–227.
5. Lita, A. L., Maulana, A., & Ryswaldi, R. (2022). Characteristics Biochar from Young Coconut Waste based on Particle Size as Améliorant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **959**(1), 012034.
6. Ayinla, R. T., Dennis, J. O., Zaid, H. M., Sanusi, Y. K., Usman, F., & Adebayo, L. L. (2019). A review of technical advances of recent palm bio-waste conversion to activated carbon for energy storage. *Journal of cleaner production*, **229**, 1427–1442.
7. Farma, R., Husni, H., Apriyani, I., Awitdrus, A., & Taer, E. (2021). Biomass waste-derived rubber seed shell functionalized porous carbon as an inexpensive and sustainable energy material for supercapacitors. *Journal of Electronic Materials*, **50**, 6910–6919.
8. Awitdrus, A., Hanifa, Z., Agustino, A., Taer, E., & Farma, R. (2022). Perbandingan larutan elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan KOH pada kinerja elektrokimia bahan elektroda berbasis karbon aktif sabut kelapa muda. *Jurnal Litbang Industri*, **12**(1), 15–20.
9. Hor, A. A., & Hashmi, S. A. (2020). Optimization of hierarchical porous carbon derived from a biomass pollen-cone as high-performance electrodes for supercapacitors. *Electrochimica Acta*, **356**, 136826.
10. Deraman, M., Daik, R., Soltaninejad, S., Nor, N. S. M., Awitdrus, Farma, R., ... & Othman, M. A. R. (2015). A new empirical equation for estimating specific surface area of supercapacitor carbon electrode from X-ray diffraction. *Advanced Materials Research*, **1108**, 1–7.
11. Farma, R., Maurani, S. F., Apriyani, I., & Rini, A. S. (2021). Fabrication of Carbon Electrodes from Sago Midrib Biomass with Chemical Variation for Supercapacitor Cell Application. *Journal of Physics: Conference Series*, **2049**(1), 012054.
12. Hanifa, Z., & Awitdrus, A. (2022). Pembuatan Elektroda Karbon dari Biomassa Sabut Kelapa Muda dengan Aktivator KOH Sebagai Aplikasi Sel Supercapacitor. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **19**(1), 45–50.
13. Liu, T., Zhang, F., Song, Y., & Li, Y. (2017). Revitalizing carbon supercapacitor electrodes with hierarchical porous structures. *Journal of Materials Chemistry A*, **5**(34), 17705–17733.



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