

Vol. 10, No. 2, October 2021

ISSN: 2085-9872

JURNAL SAINS DASAR

PENERBIT
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

PENYELESAIAN MASALAH TRANSPORTASI FUZZY DENGAN METODE PENDEKATAN MONALISHA PADA DISTRIBUSI AIR PERUSAHAAN DAERAH AIR MINUM (PDAM) TIRTAMARTA

SOLVING FUZZY TRANSPORTATION PROBLEM USING MONALISHA'S APPROXIMATION METHOD FOR WATER DISTRIBUTION IN REGIONAL DRINKING WATER COMPANY OF TIRTAMARTA

Agung Budi Wirawan*, Karyati

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: agungbudiwirawan13@gmail.com

Abstrak

Masalah transportasi *fuzzy* merupakan suatu pengembangan dari masalah transportasi biasa. Tujuan dari masalah transportasi *fuzzy* adalah menentukan jadwal pengiriman yang meminimalkan total biaya transportasi (pengeluaran), dengan tetap memenuhi ketidakpastian dari parameter keputusan. Terdapat beberapa metode penyelesaian awal yang dapat digunakan dalam menyelesaikan masalah transportasi *fuzzy*, seperti Metode Pendekatan Monalisha. Penerapan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* banyak dilakukan pada permasalahan kehidupan sehari-hari. Salah satunya adalah pada pendistribusian air dengan area berskala besar khususnya pada Perusahaan Daerah Air Minum di suatu daerah, karena terdapat banyak faktor yang mempengaruhi proses distribusi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan studi kasus untuk menerapkan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* pada masalah distribusi air, dengan lokasi studi kasus di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta Yogyakarta. Tahapan awal adalah dengan mengkaji model masalah transportasi *fuzzy* dan metode pendekatan Monalisha sebagai metode penyelesaian awal, serta metode *fuzzy stepping stone* untuk menguji keoptimalan penyelesaian awal. Tahapan selanjutnya adalah penerapan masalah transportasi *fuzzy* untuk menyelesaikan masalah distribusi air di PDAM Tirtamarta, yaitu dengan mengidentifikasi masalah aktual, merumuskan masalah menjadi model masalah transportasi *fuzzy*, menentukan penyelesaian awal, menguji keoptimalan penyelesaian awal, melakukan analisis hasil, dan membuat kesimpulan.

Kata kunci: masalah transportasi, bilangan *fuzzy*, metode pendekatan Monalisha

Abstract

The fuzzy transportation problem is an improvement for transportation problem. The purpose of the fuzzy transportation problem is to determine a delivery schedule that minimizes the total transportation costs (expenses), while satisfying the uncertainty of the decision parameters. There are several initial solution methods that can be used in solving fuzzy transportation problems, one of them is the Monalisha's approximation method. The application of fuzzy transportation problems solution is widely used in everyday life problems. One of them is the distribution of water in a large-scale area, especially in a Regional Drinking Water Company in an area, because there are many factors that affect the distribution process. Therefore, a case study is needed to apply the solution of the fuzzy transportation problem to the problem of water distribution, with the chosen location of the case study is at the Regional Drinking Water Company (PDAM) Tirtamarta Yogyakarta. The initial stage is to examine the fuzzy transportation problem model and the Monalisha's approximation method as the initial solution method, as well as the Fuzzy Stepping Stone method to test the optimization of the initial solution. The next stage is the application of fuzzy transportation problems to solve water distribution problems in PDAM Tirtamarta, namely by identifying the actual problems, formulating the problems into a fuzzy transportation problem model, determining the initial solution, testing the optimization of the initial settlement, analyzing the results, and making conclusions.

Keywords: transportation problem, fuzzy numbers, Monalisha's approximation method

Pendahuluan

Masalah transportasi merupakan salah satu masalah khusus dalam program linear. Program linear merupakan teknik aplikasi matematika dalam menentukan pemecahan masalah yang bertujuan memaksimalkan atau meminimumkan sesuatu yang dibatasi batasan-batasan tertentu. Hal

ini dikenal juga sebagai teknik optimalisasi [1]. Pengembangan teknik optimalisasi juga dilakukan dalam masalah transportasi. Pada tahun 1939, L. V. Kantorovitch mempelajari model transportasi dan pada tahun 1941, F. L. Hitchcock merumuskan model matematika dari persoalan transportasi yang sekarang dianggap sebagai model baku [2]. Masalah transportasi merupakan

permasalahan yang berkaitan dengan pendistribusian suatu komoditas atau produk dari sejumlah sumber ke sejumlah tujuan.

Seiring perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang matematika, penerapan masalah transportasi juga ikut mengalami perkembangan dengan ditandai adanya perubahan paradigma. Perubahan paradigma berkaitan dengan kendala ketidakpastian yang mulai diperhitungkan keberadaannya. Beberapa kendala memungkinkan ketidakpastian tersebut, seperti ketidakpastian data akibat dari kebijakan perusahaan maupun kurangnya informasi. Salah satunya adalah pengoptimalan proses distribusi air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta yang mengalami kendala ketidakpastian seperti ketidakpastian permintaan konsumen, ketidakpastian ketersediaan air di sumber air, dan naik turunnya harga (biaya) listrik.

Untuk menangani ketidakpastian informasi dalam membuat keputusan, L. A. Zadeh memperkenalkan konsep ketidakpastian atau *fuzzy*. Konsep *fuzzy* sering digunakan dalam masalah transportasi, yang dikenal sebagai masalah transportasi *fuzzy*. Masalah transportasi *fuzzy* merupakan masalah transportasi yang parameter keputusannya berupa bilangan *fuzzy* [3]. Bilangan *fuzzy* merupakan salah satu penggambaran matematis untuk ungkapan-ungkapan *mendekati*, *hampir*, atau *sekitar* [4-6]. Pada penelitian ini, bilangan *fuzzy* yang akan digunakan sebagai nilai estimasi setiap parameter masalah transportasi *fuzzy* adalah bilangan *fuzzy* trapesium [6].

Metode untuk menentukan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian ini, akan digunakan metode pendekatan Monalisha [7,8] sebagai metode untuk menentukan penyelesaian awal yang layak, dan metode *fuzzy stepping stone* [9] untuk melakukan uji keoptimalan penyelesaian awal. Kedua metode tersebut dipilih karena dapat digunakan untuk menentukan penyelesaian yang optimal dari masalah transportasi *fuzzy*, dengan algoritma atau tahapan yang sederhana. Dalam penggunaan kedua metode tersebut, juga akan digunakan fungsi *ranking* untuk mempermudah dalam melaksanakan tahapan kedua metode tersebut. Pada penelitian ini, akan digunakan fungsi *ranking* dengan metode *magnitude* [8,10].

Berdasarkan kondisi yang telah diuraikan, tujuan penelitian ini adalah menerapkan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* untuk menyelesaikan masalah pada distribusi air PDAM Tirtamarta sehingga biaya distribusi menjadi minimal menggunakan metode pendekatan

Monalisha, metode *fuzzy steppingstone*, dan fungsi *ranking* dengan metode *magnitude* pada bilangan *fuzzy* untuk membantu penyelesaian.

Metode Penelitian

Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta yang beralamat di Jalan W. Mongisidi No. 3 Yogyakarta, untuk mendapatkan informasi mengenai data distribusi air di PDAM Tirtamarta. Data yang digunakan adalah data distribusi air PDAM Tirtamarta pada tahun 2019.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini memiliki tiga tahapan penelitian. Tahapan pertama adalah proses pengkajian bilangan *fuzzy*, model masalah transportasi *fuzzy*, metode pendekatan Monalisha, dan metode *fuzzy stepping stone*. Selain itu, dilakukan identifikasi permasalahan aktual pada distribusi air PDAM Tirtamarta dan data penelitian yang akan digunakan. Tahapan kedua adalah pengambilan data, dan tahapan ketiga adalah pengolahan atau analisis data.

Teknik Pengambilan Data

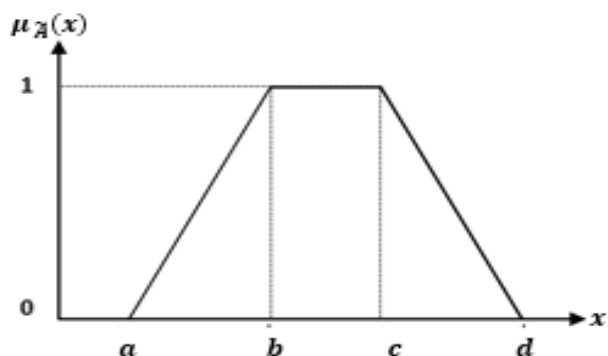
Pada permasalahan distribusi air PDAM Tirtamarta, dilakukan pengambilan data untuk menjadi parameter permasalahan berdasarkan buku arsip bulanan Bagian Produksi PDAM Tirtamarta tahun 2019, yaitu data kapasitas persediaan air reservoir, data jumlah permintaan daerah tujuan (konsumen), dan biaya listrik untuk melakukan setiap distribusi.

Teknik Analisis Data

Setiap data yang diperoleh akan diformulasikan menjadi data berbentuk bilangan *fuzzy* trapesium. Diberikan fungsi keanggotaan $\mu_{\tilde{A}} : \mathbb{R} \rightarrow [0,1]$. Bilangan *fuzzy* $\tilde{A} = (a, b, c, d)$, $a, b, c, d \in \mathbb{R}$ dikatakan bilangan *fuzzy* trapesium jika fungsi keanggotaan memenuhi kondisi seperti yang ditunjukkan pada persamaan (1) berikut [6].

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & \text{untuk } x \text{ yang lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

Fungsi keanggotaan trapesium dapat diilustrasikan dalam bentuk grafik kurva yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik fungsi keanggotaan bilangan fuzzy trapesium

Data yang telah berbentuk bilangan fuzzy trapesium kemudian dirumuskan dalam model masalah transportasi fuzzy. Bentuk umum untuk model masalah transportasi fuzzy dapat ditunjukkan pada persamaan (2) sampai (4) [8]. Fungsi tujuan (meminimumkan) dapat ditunjukkan seperti pada persamaan (2).

$$\tilde{Z} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (\tilde{c}_{ij} \otimes \tilde{x}_{ij}) \tag{2}$$

Sementara itu, fungsi kendala dapat disajikan seperti pada persamaan (3) dan (4).

$$\sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij} = \tilde{a}_i \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^m \tilde{x}_{ij} = \tilde{b}_j \tag{4}$$

Persamaan (3) dan (4) berlaku jika $\tilde{x}_{ij} \geq \tilde{0}, \tilde{a}_i \geq 0, \tilde{b}_j \geq 0$. Lebih lanjut, $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$.

Penjelasan notasi pada model yaitu \tilde{a}_i merupakan banyak persediaan fuzzy pada sumber ke- i . \tilde{b}_j merupakan banyak permintaan fuzzy tujuan ke- j . \tilde{x}_{ij} : merupakan banyak barang fuzzy yang didistribusikan dari sumber ke- i ke tujuan ke- j . \tilde{c}_{ij} merupakan biaya distribusi fuzzy dari sumber ke- i ke tujuan ke- j . Sementara itu, \tilde{Z} merupakan total biaya distribusi fuzzy. Model masalah transportasi fuzzy yang diperoleh akan diubah ke bentuk tabel transportasi fuzzy. Bentuk umum dari tabel transportasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel model masalah transportasi fuzzy

	1	2	...	n	Supply
1	\tilde{c}_{11}	\tilde{c}_{12}	...	\tilde{c}_{1n}	\tilde{a}_1
2	\tilde{c}_{21}	\tilde{c}_{22}	...	\tilde{c}_{2n}	\tilde{a}_2
...
m	\tilde{c}_{m1}	\tilde{c}_{m2}	...	\tilde{c}_{mn}	\tilde{a}_m
Demand	\tilde{b}_1	\tilde{b}_2	...	\tilde{b}_n	

Kemudian, model masalah transportasi fuzzy ditentukan penyelesaian awal yang layak menggunakan metode pendekatan Monalisha, dengan tahapan sebagai berikut [7,8]. (1) Menentukan model masalah transportasi fuzzy dari masalah aktual. (2) Menentukan tabel transportasi dari model masalah transportasi fuzzy. (3) Menentukan tabel transportasi yang baru, dengan mengubah setiap parameter, yaitu biaya, persediaan, dan permintaan, menjadi bilangan real menggunakan metode magnitude.

Dalam tabel transportasi yang baru, jumlah persediaan dan permintaan fuzzy tetap dituliskan, agar saat pengalokasian barang tetap berupa bilangan fuzzy. (4) Menentukan nilai $\Re(\tilde{c}_{ij})$ terkecil pada setiap baris dari tabel transportasi, kemudian kurangi $\Re(\tilde{c}_{ij})$ pada setiap baris dengan nilai tersebut. (5) Menentukan nilai $\Re(\tilde{c}_{ij})$ terkecil pada setiap kolom dari tabel transportasi, kemudian kurangi $\Re(\tilde{c}_{ij})$ pada setiap kolom dengan nilai tersebut. (6) Menentukan nilai $\Re(\tilde{c}_{ij})$ terkecil pertama dan terkecil kedua untuk setiap baris dan setiap kolom.

Kemudian hitung selisih (penalty) dari kedua nilai $\Re(\tilde{c}_{ij})$ tersebut. (7) Menentukan selisih (penalty) terbesar antara semua baris dan kolom. Misalkan perbedaan terbesar pada baris ke- j dan nilai $\Re(\tilde{c}_{ij})$ adalah 0 pada baris ke- i . Alokasikan jumlah maksimum yang sesuai untuk sel \tilde{x}_{ij} , yaitu $\tilde{x}_{ij} = \min(\tilde{a}_i, \tilde{b}_j)$ di sel ke- (i, j) . Dalam pengalokasian dipilih nilai minimal antara persediaan dan permintaan, karena nilai minimal tersebut merupakan jumlah maksimum persediaan yang dapat diterima oleh suatu tujuan atau jumlah maksimum permintaan yang dapat dipenuhi oleh suatu sumber. (8) Memperhatikan batas persediaan (\tilde{a}_i) yang sudah terpenuhi atau batas permintaan (\tilde{b}_j) sudah terpenuhi.

Reduksi baris atau kolom tersebut dan buat tabel transportasi yang baru. Reduksi baris atau kolom merupakan penghapusan baris atau kolom dari tabel transportasi. (9) Mengulangi langkah 4 sampai 8, sedemikian hingga semua batas permintaan terpenuhi atau persediaan dialokasikan. Pada penyelesaian awal layak dilakukan uji keoptimalan untuk mengetahui apakah penyelesaian awal tersebut dapat menjadi penyelesaian yang optimal. Uji keoptimalan menggunakan metode *fuzzy stepping Stone*, dengan tahapan sebagai berikut [9]. (1) Menentukan tabel solusi penyelesaian yang layak, dengan elemen biaya (\tilde{c}_{ij}) dalam tabel penyelesaian tersebut diubah menjadi bilangan *real* menggunakan fungsi *ranking* $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$. (2) Mengevaluasi variabel nonbasis.

Pengujian variabel nonbasis dilakukan dengan langkah berikut. (a) Menentukan variabel nonbasis yang akan diuji dan (b) memulai dari sel tersebut, buatlah lintasan tertutup (*loop*). (c) Memberikan tanda positif (+) dan negatif (-) secara bergantian pada $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$ di *steppingstone*. Pemberian tanda dimulai dengan tanda positif pada variabel nonbasis yang akan diuji. (d) Menghitung $\mathfrak{R}(\tilde{Z} - \mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij}))$ pada lintasan tertutup dengan menambahkan setiap nilai $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$ dengan memuat tanda positif dan negatifnya. (e) Mengulangi langkah a sampai langkah d, sehingga $\mathfrak{R}(\tilde{Z} - \mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij}))$ pada setiap variabel non basis terhitung. (f) Memeriksa hasil perhitungan $\mathfrak{R}(\tilde{Z} - \mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij}))$. Jika semua $\mathfrak{R}(\tilde{Z} - \mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})) \geq 0$, maka solusi penyelesaian sudah optimal.

Jika tidak, maka dilakukan perbaikan solusi dengan mengubah alokasi barang. (g) Memilih variabel nonbasis dengan $\mathfrak{R}(\tilde{Z} - \mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij}))$ terkecil atau negatif terbesar. Tentukan nilai barang terbesar dari variabel basis dengan $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$ bertanda negatif pada lintasan tertutup yang telah dibuat dengan variabel nonbasis tersebut. Tambahkan sel yang $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$ bertanda positif dengan nilai barang tersebut dan kurangkan sel yang $\mathfrak{R}(\tilde{c}_{ij})$ bertanda negatif dengan nilai barang tersebut. (h) Mengulangi langkah 2 hingga mendapatkan solusi penyelesaian yang optimal.

Pada tahapan menentukan penyelesaian optimal, fungsi *ranking* metode *magnitude* juga digunakan untuk membantu dalam tahapan metode pendekatan Monalisha dan metode *fuzzy stepping stone*. Diberikan \tilde{A} sebagai bilangan *fuzzy* trapesium, dengan $\tilde{A} = (a, b, c, d)$. Didefinisikan

metode *magnitude* yang memetakan bilangan *fuzzy* \tilde{A} dengan nilai pada bilangan real seperti yang ditunjukkan pada persamaan (5) berikut [8,10].

$$\mathfrak{R}(\tilde{A}) = \frac{a + 5b + 5c + d}{12} \quad (5)$$

Setelah penyelesaian yang optimal ditemukan, maka akan disimpulkan dan dilakukan interpretasi dari hasil penyelesaian tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Studi Kasus

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta memiliki tugas untuk mendistribusikan air bersih ke berbagai daerah di Daerah Istimewa Yogyakarta. PDAM Tirtamarta memiliki beberapa reservoir sebagai tempat penampungan air sebelum didistribusikan dan beberapa daerah tujuan sebagai daerah yang menjadi tujuan dari pendistribusian air tersebut. Dalam menjalankan pendistribusiannya, PDAM Tirtamarta mengeluarkan sejumlah tarif atau biaya distribusi. Salah satu biaya distribusinya adalah biaya listrik untuk menjalankan sistem pompa, yang kemudian dialirkan melalui pipa transmisi yang terhubung dari reservoir ke daerah tujuan. Tabel 2 hingga Tabel 5 menunjukkan data reservoir, daerah tujuan, dan biaya listrik pada tahun 2019.

Tabel 2. Data kapasitas reservoir (per bulan) milik PDAM Tirtamarta

Reservoir	Persediaan (m ³)
Padasan	75.000 – 140.000
Candi	145.000 – 180.000
Gemawang	340.000 – 380.000
Karanggayam	100.000 – 145.000
Kotagede	30.000 – 50.000
Pengok	50.000 – 60.000
Bedog	20 – 350.000

Tabel 3. Data jalur distribusi PDAM Tirtamarta

Reservoir	Daerah Tujuan
Padasan	Zona 1
Candi	
Gemawang	Zona 2
Pengok	
Bedog	Zona 3
Kotagede	
Karanggayam	Zona 4

Daerah dari setiap zona yaitu zona 1 terdiri dari Wonosalam, Perum Sukoharjo, Kabulrejo,

IDI, Degolan, Perum Merapi View, Dayu, Banteng, Kaliurang Pratama, Asrama 403, Perum Sono, Pogung Baru, Pogung Rejo, Kentungan Barat, Kentungan Timur, dan UPN. Zona 2 terdiri dari Jalan Magelang, Sidomulyo, Kampung Nandan, Kota bagian tengah, serta Balaikota dan sekitarnya. Zona 3 terdiri dari Jalan Hos Cokroaminoto, Kota bagian selatan, serta Kecamatan Kotagede & sekitarnya. Sementara itu, zona 4 terdiri dari Kota bagian timur.

Tabel 4. Data permintaan daerah tujuan (per bulan) PDAM Tirtamarta

Daerah Tujuan	Permintaan (m ³)
Zona 1	170.000 – 240.000
Zona 2	270.000 – 500.000
Zona 3	310.000 – 400.000
Zona 4	100.000 – 145.000

Tabel 5. Biaya listrik (per bulan) PDAM Tirtamarta

Reservoir	Tujuan	Biaya per m ³
Padasan	Zona 1	Rp. 160,00 – Rp. 270,00
Candi	Zona 1	Rp. 175,00 – Rp. 210,00
Gemawang	Zona 2	Rp. 190,00 – Rp. 205,00
Karanggayam	Zona 4	Rp. 165,00 – Rp. 230,00
Kotagede	Zona 3	Rp. 170,00 – Rp. 225,00
Pengok	Zona 2	Rp. 180,00 – Rp. 210,00
Bedog	Zona 3	Rp. 185,00 – Rp. 205,00

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan yang muncul pada distribusi air PDAM Tirtamarta adalah bagaimana menentukan alokasi pendistribusian air yang paling optimal atau efektif, sehingga PDAM mengeluarkan total biaya distribusi yang minimal dengan tetap memperhatikan kapasitas persediaan setiap reservoir dan permintaan dari setiap daerah tujuan.

Asumsi yang Digunakan

Asumsi yang digunakan pada masalah distribusi air pada PDAM Tirtamarta, yaitu distribusi dilakukan secara terus-menerus (*kontinyu*). Jalur pendistribusian hanya menggunakan pipa transmisi. Semua persediaan setiap reservoir dapat dialokasikan. Semua permintaan daerah tujuan dapat dipenuhi. Biaya distribusi yang digunakan hanya biaya listrik.

Pemodelan Permasalahan Distribusi Air PDAM Tirtamarta

Variabel keputusan yang digunakan adalah sebagai berikut.

- \tilde{x}_{11} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Padasan ke Zona 1
- \tilde{x}_{12} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Padasan ke Zona 2
- \tilde{x}_{13} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Padasan ke Zona 3
- \tilde{x}_{14} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Padasan ke Zona 4
- \tilde{x}_{21} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Candi ke Zona 1
- \tilde{x}_{22} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Candi ke Zona 2
- \tilde{x}_{23} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Candi ke Zona 3
- \tilde{x}_{24} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Candi ke Zona 4
- \tilde{x}_{31} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Gemawang ke Zona 1
- \tilde{x}_{32} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Gemawang ke Zona 2
- \tilde{x}_{33} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Gemawang ke Zona 3
- \tilde{x}_{34} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Gemawang ke Zona 4
- \tilde{x}_{41} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Karanggayam ke Zona 1
- \tilde{x}_{42} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Karanggayam ke Zona 2
- \tilde{x}_{43} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Karanggayam ke Zona 3
- \tilde{x}_{44} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Karanggayam ke Zona 4
- \tilde{x}_{51} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Kotagede ke Zona 1
- \tilde{x}_{52} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Kotagede ke Zona 2
- \tilde{x}_{53} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Kotagede ke Zona 3
- \tilde{x}_{54} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Kotagede ke Zona 4
- \tilde{x}_{61} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Pengok ke Zona 1
- \tilde{x}_{62} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Pengok ke Zona 2
- \tilde{x}_{63} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Pengok ke Zona 3
- \tilde{x}_{64} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Pengok ke Zona 4
- \tilde{x}_{71} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Bedog ke Zona 1
- \tilde{x}_{72} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Bedog ke Zona 2
- \tilde{x}_{73} : Bilangan *fuzzy* untuk banyak distribusi air dari Bedog ke Zona 3

\tilde{x}_{74} : Bilangan fuzzy untuk banyak distribusi air dari Bedog ke Zona 4

Tujuan yang ingin dicapai adalah meminimalkan biaya distribusi air dari setiap reservoir ke setiap tujuan. Pada permasalahan ini, model masalah transportasi fuzzy menggunakan koefisien fungsi tujuan dan fungsi kendala berbentuk bilangan fuzzy trapesium. Model masalah transportasi fuzzy untuk masalah distribusi air PDAM Tirtamarta dirumuskan sebagai berikut.

Fungsi tujuan (Meminimalkan) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \tilde{Z} = & (60,160,270,370)\tilde{x}_{11} \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{12} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{13} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{14} \\ & \oplus (75,175,210,310)\tilde{x}_{21} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{22} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{23} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{24} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{31} \\ & \oplus (90,190,205,305)\tilde{x}_{32} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{33} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{34} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{41} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{42} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{43} \\ & \oplus (65,165,230,330)\tilde{x}_{44} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{51} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{52} \\ & \oplus (70,170,225,325)\tilde{x}_{53} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{54} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{61} \\ & \oplus (80,180,210,310)\tilde{x}_{62} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{63} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{64} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{71} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{72} \\ & \oplus (85,185,205,305)\tilde{x}_{73} \\ & \oplus (M, M, M, M)\tilde{x}_{74} \end{aligned}$$

Fungsi kendala dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \tilde{x}_{11} \oplus \tilde{x}_{12} \oplus \tilde{x}_{13} \oplus \tilde{x}_{14} \\ & = (25000,75000,140000,190000) \\ & \tilde{x}_{21} \oplus \tilde{x}_{22} \oplus \tilde{x}_{23} \oplus \tilde{x}_{24} \\ & = (115000,145000,180000,210000) \\ & \tilde{x}_{31} \oplus \tilde{x}_{32} \oplus \tilde{x}_{33} \oplus \tilde{x}_{34} \\ & = (310000,340000,380000,410000) \\ & \tilde{x}_{41} \oplus \tilde{x}_{42} \oplus \tilde{x}_{43} \oplus \tilde{x}_{44} \\ & = (60000,100000,150000,190000) \\ & \tilde{x}_{51} \oplus \tilde{x}_{52} \oplus \tilde{x}_{53} \oplus \tilde{x}_{54} \\ & = (15000,30000,50000,65000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \tilde{x}_{61} \oplus \tilde{x}_{62} \oplus \tilde{x}_{63} \oplus \tilde{x}_{64} \\ & = (40000,50000,60000,70000) \\ & \tilde{x}_{71} \oplus \tilde{x}_{72} \oplus \tilde{x}_{73} \oplus \tilde{x}_{74} \\ & = (230000,290000,350000,410000) \\ & \tilde{x}_{11} \oplus \tilde{x}_{21} \oplus \tilde{x}_{31} \oplus \tilde{x}_{41} \oplus \tilde{x}_{51} \oplus \tilde{x}_{61} \oplus \tilde{x}_{71} \\ & = (120000,170000,240000,290000) \\ & \tilde{x}_{12} \oplus \tilde{x}_{22} \oplus \tilde{x}_{32} \oplus \tilde{x}_{42} \oplus \tilde{x}_{52} \oplus \tilde{x}_{62} \oplus \tilde{x}_{72} \\ & = (70000,270000,500000,700000) \\ & \tilde{x}_{13} \oplus \tilde{x}_{23} \oplus \tilde{x}_{33} \oplus \tilde{x}_{43} \oplus \tilde{x}_{53} \oplus \tilde{x}_{63} \oplus \tilde{x}_{73} \\ & = (250000,310000,400000,460000) \\ & \tilde{x}_{14} \oplus \tilde{x}_{24} \oplus \tilde{x}_{34} \oplus \tilde{x}_{44} \oplus \tilde{x}_{54} \oplus \tilde{x}_{64} \oplus \tilde{x}_{74} \\ & = (60000,100000,145000,185000) \\ & \tilde{x}_{15} \oplus \tilde{x}_{25} \oplus \tilde{x}_{35} \oplus \tilde{x}_{45} \oplus \tilde{x}_{55} \oplus \tilde{x}_{65} \oplus \tilde{x}_{75} \\ & = (0,50000,155000,205000) \end{aligned}$$

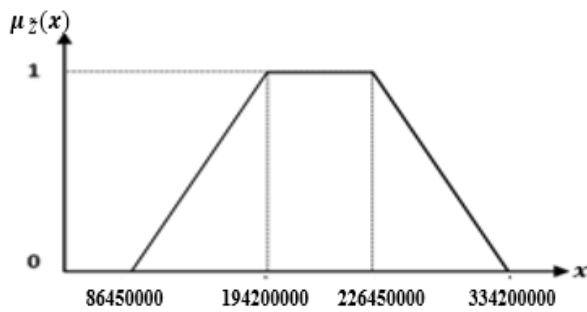
dengan $\tilde{x}_{ij} \geq 0$, untuk $i = 1, \dots, 7$, dan $j = 1, \dots, 5$.

Penyelesaian Model Masalah Transportasi Fuzzy

Model masalah transportasi fuzzy untuk masalah distribusi air PDAM Tirtamarta diselesaikan menggunakan metode pendekatan Monalisha dan metode fuzzy stepping stone sehingga diperoleh solusi penyelesaian untuk variabel keputusan yang optimal sebagai berikut.

1. $\tilde{x}_{11} = (0,20000,65000,85000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{11}) = 42.500$.
2. $\tilde{x}_{21} = (115000,145000,180000,210000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{21}) = 162.500$.
3. $\tilde{x}_{32} = (0,210000,450000,660000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{32}) = 330.000$.
4. $\tilde{x}_{44} = (60000,100000,145000,205000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{44}) = 122.500$.
5. $\tilde{x}_{53} = (0,20000,50000,70000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{53}) = 35.000$.
6. $\tilde{x}_{62} = (40000,50000,60000,70000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{62}) = 55.000$.
7. $\tilde{x}_{73} = (230000,290000,350000,410000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{73}) = 320.000$.
8. $\tilde{x}_{15} = (0,20000,110000,130000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{15}) = 65.000$.
9. $\tilde{x}_{35} = (0,20000,40000,60000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{35}) = 30.000$.
10. $\tilde{x}_{45} = (0,1000,4000,5000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{45}) = 2.500$.
11. $\tilde{x}_{55} = (0,2000,8000,10000)$,
dengan $\Re(\tilde{x}_{55}) = 5000$.

Solusi penyelesaian variabel keputusan tersebut disubstitusikan ke fungsi tujuan, sehingga diperoleh $\tilde{Z} = (86450000,194200000,226450000,334200000)$, dengan $\Re(\tilde{Z}) = 209.825.000$. Grafik fungsi keanggotaannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik fungsi keanggotaan \tilde{Z}

Interpretasi Solusi Penyelesaian Optimal

Interpretasi dari solusi penyelesaian optimal adalah distribusi air dari reservoir Padasan ke Zona 1 sebesar 42.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Candi ke Zona 1 sebesar 162.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Gemawang ke Zona 2 sebesar 330.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Karanggayam ke Zona 4 sebesar 122.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Kotagede ke Zona 3 sebesar 35.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Pengok ke Zona 2 sebesar 55.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Bedog ke Zona 3 sebesar 320.000 m^3 per bulan. Selain itu, representasi tujuan *dummy* adalah terdapat sejumlah air yang tidak dialokasikan dalam setiap bulan, yaitu sisa persediaan reservoir Padasan 65.000 m^3 , sisa persediaan reservoir Gemawang sebesar 30.000 m^3 , sisa persediaan reservoir Karanggayam sebesar 2.500 m^3 , dan sisa persediaan reservoir Kotagede sebesar 5.000 m^3 . Kemudian, interpretasi nilai fungsi tujuan yang diperoleh adalah total biaya distribusi air bersih Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta sebesar Rp. 209.825.000,- per bulan.

Kesimpulan

Masalah transportasi *fuzzy* dapat diterapkan pada masalah distribusi air Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirtamarta. Permasalahan pada PDAM Tirtamarta adalah menentukan solusi pendistribusian air yang optimal, sehingga biaya distribusi minimum. Penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* pada distribusi air PDAM Tirtamarta terdapat beberapa tahapan, yaitu menentukan model transportasi *fuzzy* dari permasalahan distribusi air PDAM Tirtamarta, mengubah model transportasi *fuzzy* menjadi tabel transportasi *fuzzy*, menentukan penyelesaian menggunakan metode pendekatan Monalisha, dan

menguji keoptimalan dari penyelesaian menggunakan metode *fuzzy stepping stone*.

Solusi optimal yang diperoleh untuk permasalahan PDAM Tirtamarta yaitu distribusi air dari reservoir Padasan ke Zona 1 sebesar 42.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Candi ke Zona 1 sebesar 162.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Gemawang ke Zona 2 sebesar 330.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Karanggayam ke Zona 4 sebesar 122.500 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Kotagede ke Zona 3 sebesar 35.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Pengok ke Zona 2 sebesar 55.000 m^3 per bulan, distribusi air dari reservoir Bedog ke Zona 3 sebesar 320.000 m^3 per bulan. Solusi penyelesaian pada variabel keputusan disubstitusikan ke fungsi tujuan sehingga diperoleh $\tilde{Z} = (86450000, 194200000, 226450000, 334200000)$, dengan $\mathfrak{R}(\tilde{Z}) = 209.825.000$. Jadi, diperoleh interpretasi nilai fungsi tujuan adalah total biaya distribusi air bersih PDAM Tirtamarta sebesar Rp. 209.825.000,- per bulan.

Pada penelitian ini, penerapan penyelesaian masalah transportasi *fuzzy* pada studi kasus distribusi air PDAM Tirtamarta dapat dilakukan dengan efektif atau optimal. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan studi kasus untuk bidang yang lain, menggunakan metode penyelesaian yang berbeda, atau teknik fungsi *ranking* yang lebih kompleks, sehingga lebih dapat mengetahui keefektifan dari penerapan masalah transportasi *fuzzy* dalam masalah kehidupan sehari-hari.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Stapleton, D., Hanna, J. B., & Markussen, D. (2003). Marketing strategy optimization: Using Linear Programming to Establish an Optimal Marketing Mixture. *American Business Review*, 21(2), 54-62.
- [2] Mulyono, S. (2004). *Riset operasi (Edisi revisi)*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- [3] Mohanaselvi, S., & Ganesan, K. (2012). Fuzzy optimal solution to fuzzy transportation problem: A new approach.

- International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(1), 367-375.
- [4] Karyati, Wutsqa, D. U., & Insani, N. (2018). Yager's ranking method for sloving the trapezoidal fuzzy number linear programming. *Journal of Physics: Conferences Series*, 983(2018), 1-7.
- [5] Klir, G. J., & Yuan, B. (1997). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. United States of America: Prentice Hall.
- [6] Pandian, P., & Natarajan, G. (2010). A new algorithm for finding a fuzzy optimal solution for fuzzy transportation problems. *Applied Mathematical Sciences*, 4(2), 79-90.
- [7] Pattnaik, M. (2015). Transportation problem by Monalisha's approximation method for optimal solution. *Science Journal of Logistics*, 11(3), 267-273.
- [8] Vimala, S., & Prabha, S. K. (2016). Fuzzy transportation problem through Monalisha's approximation method. *British Journal of Mathematics and Computer Science*, 17(2), 1-11.
- [9] Priya, S. R., & Sudha, A. S. (2019). Solving a fuzzy transportation problem by stepping stone method. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 7(2), 1044-1048.
- [10] Abbasbandy, S., & Hajjari, T. (2009). A New approach for ranking of trapezoidal fuzzy numbers. *Computers and Mathematics with Applications*, 57(3), 413-419.

MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS AND MINERAL CONTENT ANALYSIS OF MAGNETIC MINERALS BASED ON RIVER AND COASTAL SAND USING SEM-EDX

Lalu A. Didik*, Isniwana Damayanti, Jumliati, Putri Dinda Alfadia Lestari

Program Studi Tadris Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Mataram
Jalan Gajah Mada 100, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*email korespondensi: laludidik@uinmataram.ac.id

Abstrak

This study aims to analyze the mineral content and morphological characteristics of magnetic minerals based on coastal and river sand. Analysis of minerals content uses Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) to determine the content of Fe and Energy Dispersive X-Ray (EDX) to determine the elements of magnetic minerals based on coastal and river sand. While the morphological characteristics were analyzed using Scanning Electron Microscope (SEM). Based on the AAS analysis, magnetic mineral based on coastal sand has higher Fe content (9.03 mg/gram) compared to magnetic mineral based on river sand (8.03 mg/gram). This is also confirmed by EDX analysis where the Fe content of magnetic mineral based on coastal sand is $2.07 \pm 0.21\%$. This value is greater than the Fe content of magnetic mineral based on river sand which cannot be measured by EDX. Morphological analysis using SEM shows that magnetic mineral based on coastal sand has a relatively uniform particle size compared to magnetic mineral based on river sand. The particle size of magnetic minerals based on coastal sand also smaller than magnetic minerals based on river sand. Coastal sand also has finer size compared to river sand. This is because coastal sand sediments are formed due to the energy of sea waves so that they have a smoother structure. While river sand sediments come from limestone deposits that have a fine and coarse structure.

Keywords: magnetic minerals, coastal sand, river sand, AAS, SEM-EDX

Introduction

Indonesia is a country that has the fourth longest coastline in the world [1]. Indonesia also has many rivers. Coastal and rivers have very high iron sand potential [2]. In addition, Indonesia consists of several islands, one of which is Lombok Island in West Nusa Tenggara (NTB). Lombok island has coastline with length of 2,333 km and 4 river lines which have a lot of natural iron sand that has potential to be developed [3].

Iron sand has various minerals content depending on the local source. Iron sand can be classified into three types excavated sand, coastal sand, and river sand [4]. Iron sand consists of Ti, Fe, Si, and Ni generally [5]. The area on Lombok Island which is suspected to have iron sand is the beach and river in the east Lombok area and Mataram [6]. East Lombok has a river that directly flow into the coastal areas like Telindung [7] and Pringgabaya [3]. This coastal and river sand have very black sand, so they are thought to have a high natural iron sand content. However, the use of natural iron sand based on coastal and river in this area is still not optimal because it is only used as a cement mixture [6]. Even though the benefits generated by the minerals found in natural sand are very large if they are used properly.

Natural iron sand contains magnetic minerals such as magnetite (Fe_3O_4) [8-13], hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) as main mineral and maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), silica (SiO_2) [5] [14], alumina (Al_2O_3), rutile

(TiO_2) and ilmenite (FeTiO_3) as minor compounds [15-17]. The difference in mineral content is caused by geological setting and mineralization process in each region. These minerals are 88% magnetic and 12% are non-magnetic [6]. These minerals have good electrical and magnetic characteristics so that they can be used in biomedical field such as heavy metal adsorption [7,18], magnetic sensor and GMR [19].

Morphology is the property of a material on its surface [20,21]. Morphological characterization was carried out using Scanning Electron Microscope (SEM) [22], Atomic Force Microscope (AFM), Scanning Transmission Electron Microscope and Topography Measuring System (TMS) [23]. Morphology of the iron sand synthesized using solid state reaction method tends to be irregular with almost spherical grain shape. The resulting grain size can reach order of nanometers when grinding using high energy milling with a grinding time of 90-120 hours [24].

Previous research on iron sand on the island of Lombok has examined the mineral content of coastal iron sand [2,3,6]. However, not many have investigated the morphological analysis of the iron sand [24,25]. Not many have analyzed comparison of mineral content of coastal and rivers iron sand and the comparison of morphological characteristics of magnetic mineral based on coastal and river sand. The physical properties of material are influenced by its morphology such as dielectricity and conductivity [15,26].

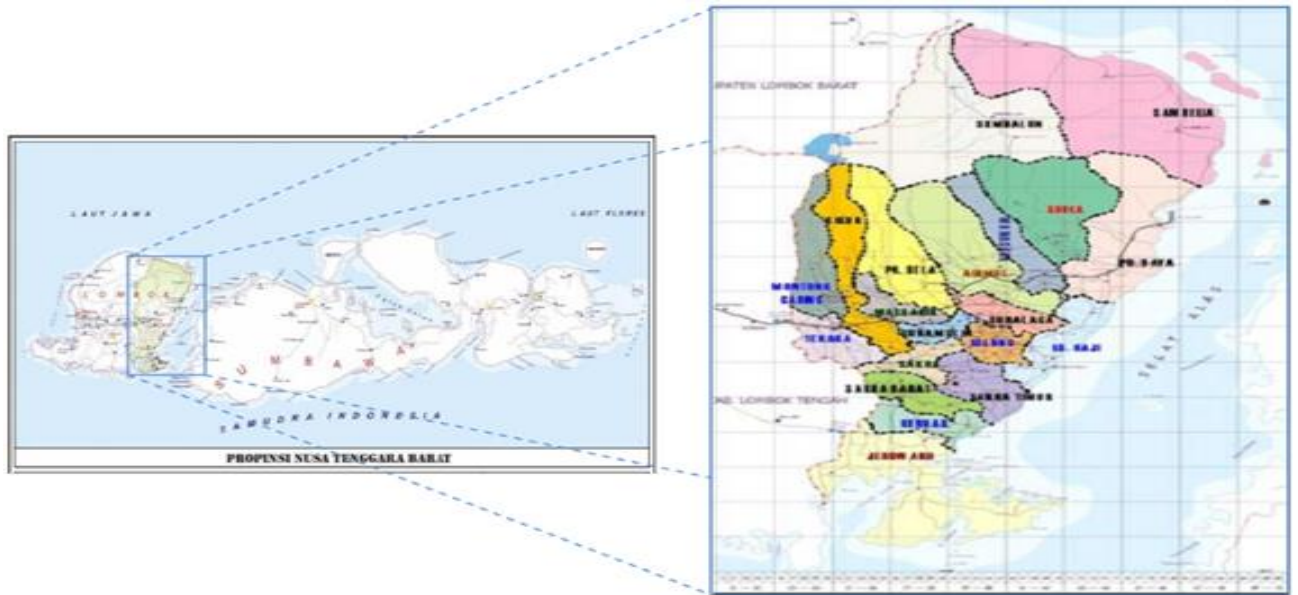


Figure 1. Research location map [27]

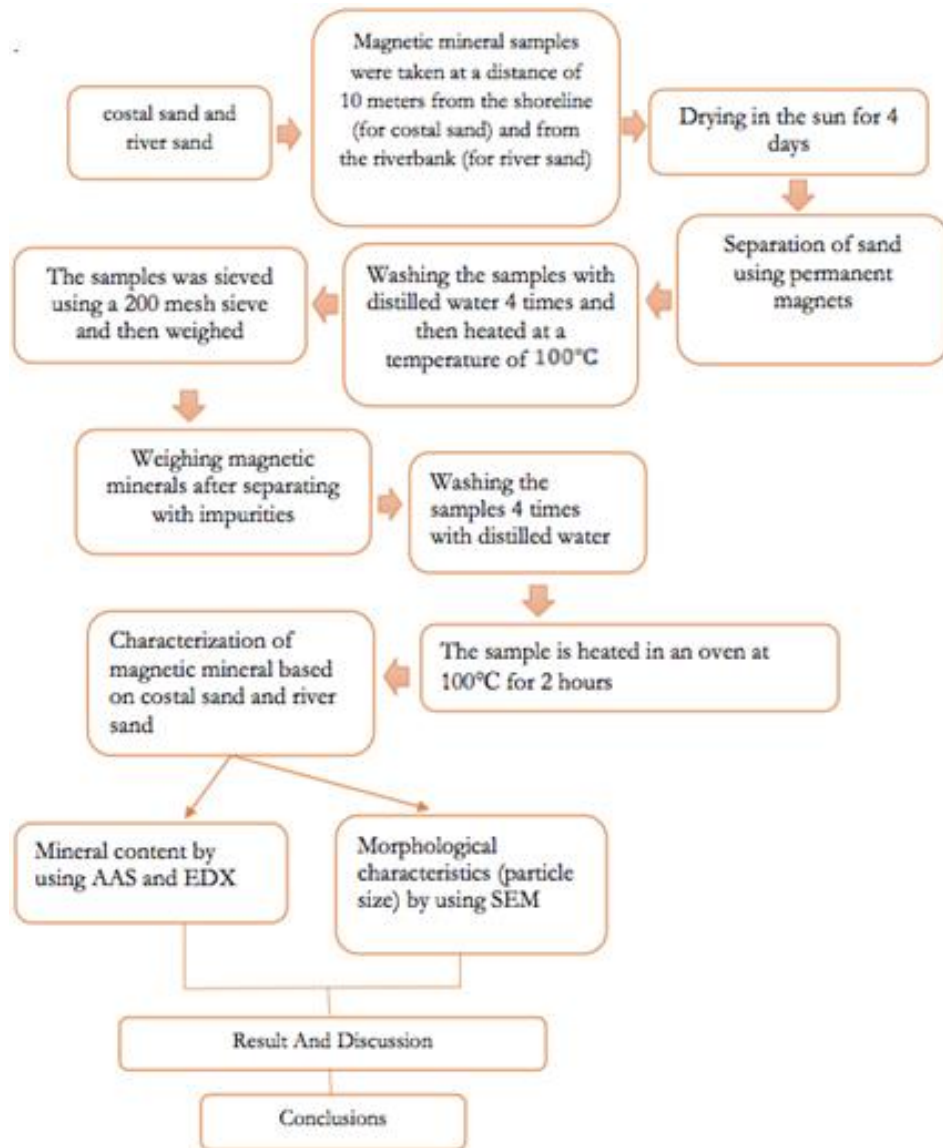


Figure 2. Research flowchart

Experimental Method

This study was conducted to determine the characteristics of mineral content and morphology of magnetic minerals based on coastal sand and river sand obtained in the Pringgabaya area, East Lombok Regency. Research location map is shown by Figure 1. Magnetic mineral samples were taken at 10 meters from the shoreline (for coastal sand) and from the riverbank (for river sand [2,7]). Magnetic mineral samples based on coastal sand and river sand then were analyzed at the Physics Laboratory of UIN Mataram for analysis using SEM-EDX, and BPTP NTB for analysis using AAS.

Figure 2 shows a diagram of the research carried out in this study. The iron sand samples were dried in the sun for 4 hours. The iron sand is then weighed in 100 grams of mass and separated from the impurities using a permanent magnet. After the iron sand is obtained, it is then weighed to get the mass of the iron sand sample which the impurities are already removed so that the percentage of the magnetic mineral content from nature is obtained [16]. The sample was then washed using distilled water and filtered using filter paper. The last process of sample synthesis is drying the sample using an oven for 2 hours at a temperature of 100°C to remove residual distilled water [28].

Morphological characterization of samples was carried out using Scanning Electron Microscope (SEM) Jeol 70 type. This characterization aimed to determine the morphological characteristics of the sample [29,30]. Mineral content was characterized using Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) which is a complement to SEM. In addition to using EDX, mineral content analysis was also carried out using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) [30].

Result and Discussion

Magnetic minerals based on coastal and rivers natural sand in the Pringgabaya sub-district, East Lombok district contain magnetic minerals. This magnetic mineral is separated using permanent magnets. It aims to separate between magnetic minerals and their impurities [6,14]. The results of the separation of natural sand with impurities are shown in Figure 3.



(a)



(b)

Figure 3. Natural iron sand after separation using permanent magnets, (a) coastal and (b) river sand

Based on Figure 3, the coastal sand has darker color than the river sand. Coastal sand grains also appear finer when compared to river sand. The darker black color on coastal sand indicates a higher concentration of magnetic minerals compared to river sand. This is depicted by the percentage of magnetic minerals in coastal sand and river sand as shown in Table 1.

Table 1. Percentage of magnetic mineral content in coastal and river sand

No	Sand Type	Mass (gram)		Percentage (%)
		Natural Sand	Magnetic Sand	
1	Coastal Sand	100.015	88.301	88.169
2	River Sand	100.114	62.711	62.639

Based on Table 1, the magnetic mineral content of coastal sand is higher than river sand. This proves that the black color possessed by the sand comes from the magnetic mineral content contained in coastal sand. These results can be used as an initial reference for the use of magnetic minerals based on natural sand as industrial resources. The percentage of magnetic mineral content of East Lombok coastal sand is still higher than Pantai Gading coastal sand in Mataram City which is 85.427% but lower than Ampenan coastal sand which is 96.233% [6]. Magnetic minerals that have been obtained from natural sand are then analyzed for Fe metal content using AAS. The results of the Fe metal content analysis are presented in Table 2.

Table 2. Fe content of magnetic mineral based on coastal sand and river sand analyzed using AAS

No	Sand Type	Fe Content (mg/gram)
1	Coastal Sand	9,03
2	River Sand	8,03

Based on Table 2, magnetic minerals based on coastal sand have a greater Fe content than river sand. However, the Fe content of East Lombok coastal sand is still smaller than the Fe content taken from Mataram city, which is 12.816 mg/gram in Loang Baloq area and 16,277 mg/gram in Ampenan area [6]. After analyzing the Fe content using AAS, the samples were then analyzed using EDX. The results of the mineral content analysis using EDX are shown in Table 3.

Table 3. Characteristics of magnetic mineral content in coastal and river sand analyzed EDX

No	Element	Percentage of element (%)	
		Magnetic mineral based on coastal sand	Magnetic mineral based on river sand
1	C	25,95±0,46	8,40±0,28
2	O	39,47±0,68	48,34±0,61
3	Na	2,09±0,12	2,83±0,12
4	Mg	0,34±0,04	0,44±0,04
5	Al	5,87±0,16	7,44±0,16
6	Si	20,55±0,29	27,56±0,31
7	K	2,19±0,12	3,49±0,14
8	Ca	1,12±0,09	1,25±0,09
9	Ti	0,34±0,06	0,25±0,05
10	Fe	2,07±0,21	-

Based on Table 3, the highest mineral content in coastal sand and river sand is silica. The silica content of coastal sand is (20.55±0.29)% while the

silica content of river sand is (27.56±0.31)%. It shows that river sand contains more silica than coastal sand. This can explain that the color of coastal sand is more black than river sand. The black color of the sand is due to the magnetic minerals in the sand such as Fe₂O₃ [3][14]. This is also proven by AAS and EDX analysis. Based on the AAS analysis, coastal sand has higher Fe content which is 9.03 mg/gram compared to river sand which has Fe content of 8.03 mg/gram. This is also confirmed by EDX analysis where the Fe content in coastal sand is 2.07±0.21%. This value is greater than the Fe content in river sand which cannot be measured by EDX.

The difference results of magnetic mineral content between AAS and EDX measurement can be explained as follows. The principle of measuring the content of elements using AAS is measuring the intensity of electromagnetic wave transmitted by liquid sample which is correlated with the intensity of spectrum absorption by the elements contained in the sample and according to Lambert-Beer law correlated with concentration (using a standard solution absorption comparison). This measurement is very specific for each metal element studied (specific to the reference lamp) and this measurement is specific for very dilute concentrations. The AAS measurement is greatly disturbed by the presence of interferences that come from the solution itself and elements that have similar absorptions [31].

The characterization of mineral content in EDX uses characteristic X-rays emitted by secondary electrons. The process is the same as SEM but has a different output. Analysis of the characteristic X-ray radiation emitted by the sample by secondary electrons will produce information about the mineral content in the sample [22][32]. The characteristic X-ray radiation spectrum produced in characterization process using EDX is shown in Figure 4.

The EDX analysis principle is when an electron interacting with the material, then the electron is scattered by other electrons surrounding the atomic nucleus of the material. The scattered electrons are called primary electrons and electrons in orbit will be reflected out of the system, resulting in a vacancy that will be filled by electrons from the outer shell. Because the outer electron has higher energy, when it moves to a lower energy orbit, it releases energy in the form of photons, known as characteristic X-rays. The characteristic X-ray energy spectrum emitted has a specific energy that depends on the atomic number of the material. By knowing the

energy of the characteristic X-rays emitted, it can be known the atomic number of the material that emits the characteristic X-rays and also the relative content of each material. The intensity of the characteristic X-rays reflected as result of EDX analysis shown in Figure 4.

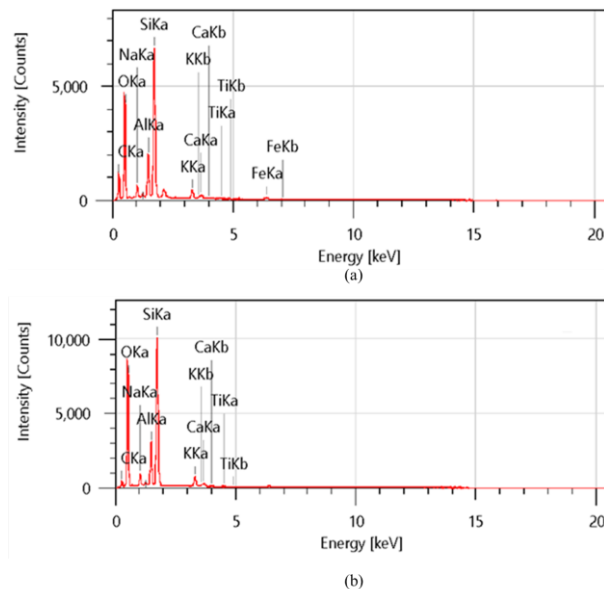


Figure 4. Spectrum of minerals content analysis using EDX on (a) coastal and (b) river sand

The surface morphology of the magnetic material based on coastal sand and river sand was analyzed using Scanning Electron Microscope (SEM). The results of the morphological characterization of coastal sand and river sand are shown in Figure 5. Figure 5(a) shows the morphology of magnetic mineral based on coastal sand and Figure 5(b) shows morphology of magnetic mineral based on river sand. Magnetic mineral based on coastal sand has a relatively uniform particle size compared to magnetic material based on river sand. The particles size of magnetic minerals based on coastal sand is smaller than magnetic material based river sand. Coastal sand has a much finer size compared to river sand.

This is because coastal sand sediments are formed due to the energy of sea waves so that they have a smoother structure. While river sand sediment comes from limestone deposits which have a fine and coarse structure. [33]. River sand sediments also come from fragments of material which generally consist of rock descriptions physically and chemically. These particles range in size from large (boulder) to very fine (colloidal), and various shape from round, oval to square [34]. Sedimentary material will be deposited by the mechanical process of currents

originating from rivers and or by ocean currents. Sedimentation in an aquatic environment occurs because there is a high supply of sediment loads in that environment [35].

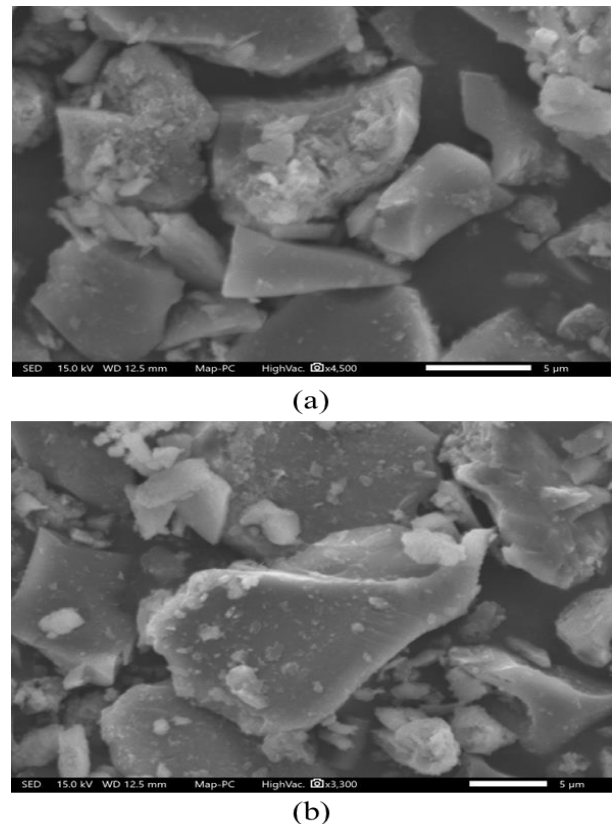


Figure 5. Magnetic mineral morphology (a) coastal and (b) river sand analyzed using SEM

Conclusion

The magnetic mineral content of coastal sand is higher than river sand. This proves that the black color possessed by the sand comes from the magnetic mineral contained. Based on AAS analysis, coastal sand has higher Fe content (9.03 mg/gram) than river sand (8.03 mg/gram). This is also confirmed by EDX analysis where the Fe content in coastal sand is $2.07 \pm 0.21\%$. This value is greater than the Fe content of river sand which cannot be measured by EDX. Morphological analysis using SEM shows that coastal sand has a relatively uniform particle size compared to river sand. The particle size of magnetic minerals based on coastal sand is also smaller than that of river sand-based magnetic minerals. Coastal sand has a much finer size compared to river sand. This is caused by coastal sand sediments that are formed due to the energy of sea waves so that they have a smoother structure. While river sand sediments come from limestone deposits that have a fine and coarse structure.

Acknowledgement

Thank you to the Ministry of Religion of the Republic of Indonesia for funding research through the Faculty of Tarbiyah and Teacher Training of Mataram State Islamic University DIPA Funding for the year 2021.

References

- [1] Lus yana, A., Toifur, M., & Rohman, F. (2014). Uji sifat magnetik pasir pantai melalui penentuan permeabilitas relatif menggunakan Logger Pro. *Jurnal Fisika*, 4(2), 78–82.
- [2] Didik, L. A., Aini, H., & Zohdi, A. Analisis perbandingan kandungan Fe dan karakteristik sifat listrik pasir besi sungai dan pantai. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 17(2), 138-145.
- [3] Asri, L., Didik, L. A., & Bahtiar, B. (2021). Sintesis dan analisis kandungan mineral dan karakteristik sifat listrik nanopartikel pasir besi Pantai Telindung Kabupaten Lombok Timur. *JST (Jurnal Sains dan Teknologi)*, 10(1), 85-91.
- [4] Ningsih, F., Fitrianiingsih, F., & Didik, L. A. (2019). Analisis pengaruh lama penggerusan terhadap resistivitas dan konstanta dielektrik pada pasir besi yang disintesis dari Kabupaten Bima. *Indonesian Physical Review*, 2(3), 92-98.
- [5] Nurrohman, D. T., & Pribadi, J. S. (2018). Kajian struktur kristal, lattice strain, dan komposisi kimia nanopartikel pasir besi yang disintesis dengan metode ball milling. *Konstan-Jurnal Fisika dan Pendidikan Fisika*, 3(2), 94-101.
- [6] Susilawati, S., Doyan, A., Taufik, M., Wahyudi, W., Gunawan, E. R., Kosim, K., & Khair, H. (2018). Identifikasi kandungan Fe pada pasir besi alam di Kota Mataram. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 4(1), 105-110..
- [7] Didik, L. A., & Wahyudi, M. (2020). Analisa kandungan Fe dan karakteristik sifat listrik pasir besi Pantai Telindung yang disintesis dengan beberapa metode. *Indonesian Physical Review*, 3(2), 64-71.
- [8] Sukirman, E., Sarwanto, Y., Insani, A., Rina, M. T., & Purwanto, A. (2018). Magnetic structure of magnetite phase of iron sand retrieved from Banten, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1091(1), 1-7.
- [9] Ningsih, S. (2018). Potensi nanopartikel magnetit pasir besi Lampanah Aceh Besar melalui studi kajian teknik pengolahan, sintesis dan karakteristik struktur. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 2(1), 1-8.
- [10] Lamburu, A. A., Syafri, I., & Yuningsih, E. T. (2017). Karakteristik mineralogi endapan pasir besi di daerah Galela Utara Kabupaten Halmahera Utara Provinsi Maluku Utara. *Bulletin of Scientific Contribution: Geology*, 15(2), 151-160..
- [11] Rianna, M., Sembiring, T., Situmorang, M., Kurniawan, C., Setiadi, E. A., Tetuko, A. P., & Sebayang, P. (2018). Characterization of natural iron sand from Kata Beach, West Sumatra with high energy milling (Hem). *Jurnal Natural*, 18(2), 97-100.
- [12] Fahlepy, M. R., & Tiwow, V. A. (2018, March). Characterization of magnetite (Fe₃O₄) minerals from natural iron sand of Bonto Kanang Village Takalar for ink powder (toner) application. *Journal of Physics: Conference Series*, 997(1), 1-6.
- [13] Yamauchi, K., Fukushima, T., & Picozzi, S. (2009). Ferroelectricity in multiferroic magnetite Fe₃O₄ driven by noncentrosymmetric Fe²⁺/Fe³⁺ charge-ordering: First-principles study. *Physical Review B*, 79(21), 212-218.
- [14] Bilalodin, B., Sunardi, S., & Effendy, M. (2013). Analisis kandungan senyawa kimia dan uji sifat magnetik pasir Besi Pantai Ambal. *Jurnal Fisika Indonesia UGM*, 17(50), 29-31.
- [15] Martinez-Haro, M., Green, A. J., & Mateo, R. (2011). Effects of lead exposure on oxidative stress biomarkers and plasma biochemistry in waterbirds in the field. *Environmental Research*, 111(4), 530-538.
- [16] Vopel, K., Pook, C., Wilson, P., & Robertson, J. (2017). Offshore iron sand extraction in New Zealand: Potential trace metal exposure of benthic and pelagic biota. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1-2), 324-328.
- [17] Mishra, S., Dey, K., Chowdhury, U., Bhattacharya, D., Ghosh, C. K., & Giri, S. (2017). Multiferroicity around Verwey transition in Fe₃O₄ thin films. *AIP Advances*, 7(12), 125015.

- [18] PurnamaWati, F. (2019). Preparation of magnetic chitosan using local iron sand for mercury removal. *Heliyon*, 5(5), 173-179.
- [19] Murti, F., & Ramli, D. Y. (2017). Analisis sifat listrik lapisan tipis Fe_3O_4 yang dipreparasi dari Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman Sumatra Barat dengan metode sol-gel spin coating. *Pillar of Physics*, 10(1), 31-38.
- [20] Didik, L. A., Rahmawati, E., Robiandi, F., Rahayu, S., & Santjojo, D. (2014). Penentuan ketebalan lapisan polistiren dan zinc phthalocyanine (ZnPc) dengan modifikasi persamaan sauerbrey dan scanning electron microscope (SEM). *Natural B*, 2(4), 331-335.
- [21] Kadarisman, K., & Nurhasanah, I. Analisis permukaan nanopartikel ferit seng berdasarkan adsorpsi isotherm gas nitrogen. *Berkala Fisika*, 23(3), 78-82.
- [22] Djoko, D. J. D. H., Didik, L. A., Rahmawati, E., Pagaga, M., Masruroh, M., & Sakti, S. P. (2014). Solvent effect on morphology of polystyrene coating and their role to improvement for biomolecule Immobilization in application of QCM based biosensor. In *Applied Mechanics and Materials (Vol. 530, pp. 54-57)*. Trans Tech Publications Ltd.
- [23] Angkasah, L., Adolf, H., Wibowo, G. D. H., & Asikin, Z. (2017). Bureaucratic reform in the perspective of State Administration Law. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 8(5), 35-35.
- [24] Novia, B., & Astuti, A. (2019). Pengaruh temperatur sintering terhadap struktur dan sifat magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ sebagai penyerap gelombang mikro. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 368-372.
- [25] Swastika, P. E., Hardheyanti, F., Prasetyowati, R., Ariswan, A., & Warsono, W. (2021). Pengaruh Konsentrasi HCl terhadap mikrostruktur dan sifat kemagnetan nanopartikel Fe_3O_4 yang disintesis dari pasir besi Pantai Glagah Kulonprogo. *Jurnal Sains Dasar*, 10(1), 24-29.
- [26] Zheng, W. C., Zheng, D. X., Wang, Y. C., Li, D., Jin, C., & Bai, H. L. (2019). Flexible $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{BiFeO}_3$ multiferroic heterostructures with uniaxial strain control of exchange bias. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 481(1), 227-233.
- [27] Sulystyaningsih, N. D., Nikmatullah, A., & Setyowati, D. N. A. (2018). Analysis of using bondre system to cultivate three kinds of seaweed through different seed weights in the early summer at Ekas Bay, Jerowaru, East Lombok. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(11), 78-86.
- [28] Nugraha, P. A., Sari, S. P., Hidayati, W. N., Dewi, C. R., & Kusuma, D. Y. (2016). The origin and composition of iron sand deposit in the southern coast of Yogyakarta. *AIP Conference Proceedings*, 1746(1), 1-6.
- [29] Ngo, T. N. M., Adem, U., & Palstra, T. T. M. (2015). The origin of thermally stimulated depolarization currents in multiferroic CuCrO_2 . *Applied Physics Letters*, 106(15), 152-159.
- [30] Umam, J., & Rosyidah, A. (2013). Sintesis dan karakterisasi aurivillius $\text{CaBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ dan $\text{LaBi}_2\text{TiNbO}_9$ dengan metode solid state. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(1), 7-10.
- [31] Karyasa, I. W. (2013). Studi x-ray fluorecence dan x-ray diffraction terhadap bidang belah batu pipih asal Tejakula. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 2(2), 204-212.
- [32] Gu, S. H., Nicolas, V., Lalis, A., Sathirapongsasuti, N., & Yanagihara, R. (2013). Complete genome sequence and molecular phylogeny of a newfound hantavirus harbored by the Doucet's musk shrew (*Crociodura douceti*) in Guinea. *Infection, Genetics and Evolution*, 20(1), 118-123.
- [33] Kamiludin, U., & Darlan, Y. (2016). Karakteristik pasir di pantai dan lepas pantai Binuangeun, Lebak-Banten. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(2), 79-90.
- [34] Yudha, G. A., Suryono, C. A., & Santoso, A. (2020). Hubungan antara jenis sedimen pasir dan kandungan bahan organik di Pantai Kartini, Jepara, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 9(4), 423-430.
- [35] Triapriyasan, A., Muslim, M., & Suseno, H. (2016). Analisis jenis ukuran butir sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Journal of Oceanography*, 5(3), 309-316.

CATATAN SPESIMEN PERTAMA, MORFOLOGI, DAN BENTUK TUBUH CYPRINIDAE (*Osteochilus spilurus*) DARI ANAK SUNGAI KATINGAN, KALIMANTAN TENGAH

*FIRST SPECIMEN RECORD, MORPHOLOGY, AND BODY SHAPE OF CYPRINIDAE (*Osteochilus spilurus*) TRIBUTARIES OF KATINGAN RIVER, CENTRAL KALIMANTAN*

Ardiansyah Kurniawan^{1,*}, Teguh Willy Nugroho², Ira Triswiyana³, Anik Martinah Hariati⁴, Andi Kurniawan⁴, Dewa Gede Raka Wiadnya⁴

¹Jurusan Akuakultur, Universitas Bangka Belitung, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

²Balai Taman Nasional Sebangau, Kalimantan Tengah, Indonesia

³Penyuluh Perikanan Kabupaten Bangka Barat, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Indonesia

⁴Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

*email korespondensi: ardian_turen@yahoo.co.id

Abstrak

Osteochilus spilurus merupakan ikan asli Indonesia yang banyak ditemukan pada perairan cenderung asam. Titik temuan terbanyak spesies ini terdapat di Pulau Kalimantan, namun belum diidentifikasi di Sungai Katingan. Pelaksanaan sampling dilakukan di salah satu anak Sungai Katingan di Desa Tumbang Linting, Kecamatan Katingan Hilir, Kabupaten Katingan. Pengamatan dilakukan pada karakter morfologi meliputi meristik secara manual, morfometrik dengan aplikasi TpsDig dan analisa bentuk tubuh pada 14 landmark dengan program SAGE. *O. spilurus* teridentifikasi di perairan anak Sungai Katingan dengan nama lokal Banta Malisan dan memiliki ciri morfologi bentuk moncong mengerucut dan bundaran hitam di bagian pangkal ekor. Formula siripnya adalah D.iii.12, V.9, A.6, dan P.8. Linealateralis dengan 29 sisik dan 8 sisik pertama berada sebelum sirip dorsal. Ikan memiliki panjang total antara 72.81 – 55.11 mm, panjang standar 57.1 – 43.27 mm, dan tinggi badan 15.52 – 11.91 mm. Temuan *O. spilurus* ini menjadi catatan pertama di Sungai Katingan dan telah disimpan spesimen biologinya di Museum Zoologi Bogor dengan nomor registrasi MZB 26069. Informasi morfologi dan bentuk tubuhnya diharapkan menjadi dasar dan pembandingan penelitian spesies ini dimasa mendatang.

Kata kunci: TpsDig, Katingan, Banta Malisan, meristik, morfometrik

Abstract

Osteochilus spilurus is a native fish in Indonesia which is mostly found in acidic waters. The most common finding point for this species is on the island of Borneo, but it has not been identified in the Katingan River. The sampling was carried out in one of the tributaries of the Katingan River in Tumbang Linting Village, Katingan Hilir District, Katingan Regency. Observations were made on morphological characters including manually meristic, morphometrically using the TpsDig application, and body shape analysis on 14 landmarks using the SAGE program. *O. spilurus* was identified in the waters of the Katingan tributary with the local name Banta Malisan and has morphological characteristics of a conical snout and a black blotch at the base of the tail. The fin formula shows D.iii.12, V.9, A.6, and P.8. Linealateralis with 29 scales and the first 8 scales are before the dorsal fin. Fish have a total length between 72.81 – 55.11 mm, standart length on 57.1 – 43.27 mm, and height on 15.52 – 11.91 mm. The discovery of *O. spilurus* is the first recorded in the Katingan River and its biological specimen has been stored at the Bogor Zoological Museum with registration number MZB 26069. Information on morphology and body shape is expected to be the basis and comparison for future research of this species.

Keywords: TpsDig, Katingan, Banta Malisan, meristic, morphometric

Pendahuluan

Osteochilus spilurus merupakan salah satu ikan air tawar asli Indonesia. Ikan dengan ukuran tubuh tidak lebih dari 10 cm ini tersebar di Sumatra, Kalimantan, Bangka, Belitung dan Semenanjung Malaya [1,2]. Wilayah daratan yang terhubung dengan paparan Sunda, kecuali Jawa, memiliki kehadiran spesies ini dalam lingkungan air tawar alaminya.

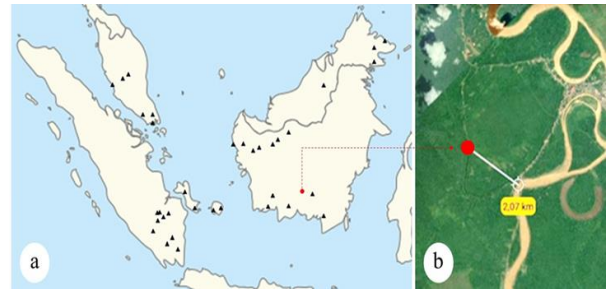
IUCN menempatkan spesies ini dalam kategori *least concern* (LC) dan jauh dari kepunahan [3]. *O. spilurus* tidak memiliki perbedaan signifikan pada nutrisi dan kandungan asam aminonya [4]. Namun ikan ini disukai oleh masyarakat Belitung Timur untuk dikonsumsi, sehingga terjadi perdagangannya dalam komunitas lokal [5]. Belum teridentifikasi pemanfaatan spesies ini secara ekonomi di wilayah lainnya selain Belitung Timur [6].

Ikan air tawar ini memiliki karakteristik tubuh berwarna keperakan dengan bundaran hitam yang berada di pangkal ekornya. Tinggi punggung berangsur-angsur meningkat hingga awal sirip dorsal. Sirip ekor berbentuk *forked* dan terdapat sepasang sungut di atas dan di bawah mulut [7, 8]. Ikan ini mendiami daerah rawa dangkal yang mengalir lambat di sebelah aliran *black water* [9]. Sebagian besar catatan spesies ini di Pulau Kalimantan terdapat di Kalimantan Barat [10,11]. Spesies ini juga tercatat keberadaannya di Kalimantan Tengah, yaitu di perairan gambut Arut-Kumai di Kotawaringin Barat, dan Taman Nasional Sebangau pada sisi Sungai Sebangau [12,13]. Taman Nasional Sebangau diapit oleh dua sungai besar di Kalimantan Tengah, yaitu Sungai Sebangau dan Sungai Katingan.

Sungai katingan merupakan sungai besar di Kalimantan dengan panjang sekitar 650 km. Banyak anak sungai yang berada dalam wilayah Kabupaten Katingan [14]. Sungai Katingan juga memiliki wilayah dengan tipe lahan gambut [15] sehingga memiliki kemiripan lingkungan dengan lokasi temuan *O. spilurus* lainnya. Kesamaan kondisi dan kedekatan wilayah ini memungkinkan keberadaan *Osteochilus spilurus* di Sungai Katingan juga dapat diidentifikasi. Eksplorasi dan identifikasi morfologi *O. spilurus* di Sungai Katingan dapat melengkapi data sebaran dan informasi spesies ini di Pulau Kalimantan.

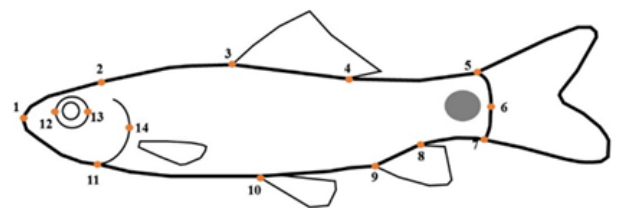
Metode Penelitian

Pengambilan sampel *O. spilurus* dilakukan di anak Sungai Katingan yang berada di Desa Tumbang Linting, Kecamatan Katingan Hilir, Kabupaten Katingan (1°57'08"S, 113°22'07"E) pada tanggal 10 Oktober 2020. Pengambilan sampel ikan mengikuti cara yang digunakan oleh masyarakat setempat. Sampel yang terkoleksi didokumentasikan pada nama pengambil koleksi, tanggal koleksi, lokasi, catatan pada habitat, pemberian kode, nama pengidentifikasi dan foto [16]. Sampel ikan diawetkan dalam larutan formalin konsentrasi 4-5% selama 7 hari sebagai persiapan untuk pencatatan penyimpanan spesimen di Museum Zoologi Bogor (MZB). Formalin dihilangkan dengan merendam sampel pada air mengalir selama 24 jam dan disimpan dalam larutan alkohol 70%.



Gambar 1. Lokasi sampling *Osteochilus spilurus* (titik merah), a) posisi lokasi sampling terhadap temuan sebelumnya (segitiga hitam), b) jarak lokasi sampling dengan Sungai Katingan [1]

Pengamatan karakter morfologi meliputi meristik, morfometrik dan analisa bentuk tubuh (*body shape analysis*). Karakter meristik diamati secara manual pada jumlah jari-jari pada sirip punggung, dubur, perut, dan dada, jumlah sisik sebelum sirip dorsal (*predorsal scale*), dan gurat sisi (*linea lateralis*). Pengamatan karakter meristik dibandingkan deskripsi Weber dan Beaufort [17]. Pengukuran karakter morfometri menggunakan aplikasi TpsDig pada 14 karakter yaitu panjang total, panjang standar, panjang kepala, tinggi kepala, diameter mata, panjang moncong, panjang dasar sirip dorsal, panjang dasar sirip anal, panjang sirip ekor, panjang sebelum sirip dorsal, panjang sebelum sirip perut, panjang sebelum sirip anal, tinggi badan di awal sirip dorsal, tinggi badan di awal anal, dan tinggi pangkal ekor. Analisa bentuk tubuh dilakukan menggunakan 14 landmark (Gambar 2) menggunakan aplikasi TpsDig dan Symmetry dan Asymmetry Geometric Data (SAGE) versi 1.04 [18].



Gambar 2. Titik landmark untuk analisa bentuk tubuh *Osteochilus spilurus*

Hasil dan Pembahasan

Sembilan belas sampel ikan dengan morfologi seperti deskripsi *O. spilurus* diperoleh dari penangkap ikan lokal yang merupakan warga Dayak Kasongan. Penduduk setempat mengenalnya sebagai ikan Banta Malisan. Penamaan ini berbeda dengan temuan pada Sungai Sebangau di Palangkaraya yang menyebut spesies yang sama sebagai ikan Seluang Licin [5].

Penangkapan ikan menggunakan alat tradisional berupa jaring angkat atau anco (Gambar 3).

Sampel ikan dari Katingan telah dicatatkan di Museum Zoologi Bogor dengan nomor registrasi MZB 26069. Catatan ini menjadi spesimen biologi *Osteochilus spilurus* yang pertama yang berasal dari Sungai Katingan. Lokasi pencatatan spesimen terdekat adalah spesimen dari Sungai Sebangau di Palangkaraya yang berjarak 78,13 km [1]. Temuan ini juga menjadi catatan tambahan untuk Pulau Kalimantan.



Gambar 3. Penangkapan *Osteochilus spilurus* menggunakan jaring angkat di anak Sungai Katingan

Morfologi sampel ikan menunjukkan kesesuaian dengan sebagian besar karakter *O. spilurus* yang deskripsikan oleh Gunther [19], Weber dan Beaufort [17], dan Karnasuta [7]. Moncong ikan mengerucut dan meningkat tingginya hingga awal sirip dorsal Terdapat titik hitam di bagian pangkal ekor. Sirip anal berada di belakang sirip dorsal dan sirip perut di belakang sirip pectoral (Gambar 4).



Gambar 4. Morfologi *Osteochilus spilurus* dari anak Sungai Katingan

Meristik ikan menunjukkan formula sirip punggung D.iii.12, sirip perut V.9, sirip dubur A.6, dan sirip dada P.8. Satu garis linealateralis diawali dari atas operkulum dan berakhir ditengah pangkal ekor. Jumlah sisik sepanjang linelateralis adalah 29 sisik, dengan awal siri dorsal berada

setelah sisik ke-8. Pengukuran morfometrik *O. spilurus* menggunakan aplikasi TpsDig menunjukkan panjang total ikan antara 72.81 – 55.11 mm, panjang standar 57.1 – 43.27 mm, dan tinggi badan 15.52 – 11.91 mm. Data selengkapnya terdapat pada Tabel 1. Panjang standar *O. spilurus* dari Katingan lebih besar dibandingkan dengan spesies yang sama dari Belitung Timur yang berada pada 41.98 ± 2.31 mm [20]. Panjang standar *O. spilurus* di Belitung Timur antara 3.6 – 4.9 cm [21]. Namun nilai panjang standar tersebut lebih rendah dengan ikan dari Pulau Bangka [20]

Tabel 1. Morfometrik *Osteochilus spilurus* dari anak Sungai Katingan

	Karakter morfometrik	Rerata \pm SD
1	Panjang Total	60.81 \pm 4.00
2	Panjang standar	48.39 \pm 2.99
3	Panjang kepala	11.21 \pm 1.06
4	Tinggi kepala	9.02 \pm 0.60
5	Diameter mata	3.09 \pm 0.35
6	Panjang moncong	2.95 \pm 0.42
7	Panjang Pre-dorsal	21.36 \pm 0.29
8	Panjang Pre-ventral	24.33 \pm 1.93
9	Panjang Pre-anal	36.35 \pm 2.37
10	Tinggi badan pre-dorsal	13.48 \pm 0.93
11	Tinggi badan pre-anal	9.56 \pm 0.65
12	Tinggi caudal pundacle	6.49 \pm 0.41
13	Dorsal base length	12.79 \pm 1.86
14	Anal base length	4.37 \pm 0.53

Procrustes ANOVA sampel *O. spilurus* dari anak sungai Katingan pada individual symmetry menunjukkan nilai $P < 0.0001$ sehingga antar individu memiliki bentuk tubuh yang berbeda nyata. Bentuk tubuh dominan dari sampel mencapai 47,84%, sementara bentuk tubuh lainnya berbeda dalam sembilan bentuk dengan persentase antara 20,55 – 0,85% (Tabel 2). Kelima bentuk tubuh dominan disajikan pada Gambar 6.

Tabel 2. Nilai Principal Komponen bentuk tubuh *Osteochilus spilurus* dari Katingan

PCA	Individual (simetri) %
PC1	47.839
PC2	20.546
PC3	10.174
PC4	5.895
PC5	3.306
	87.76

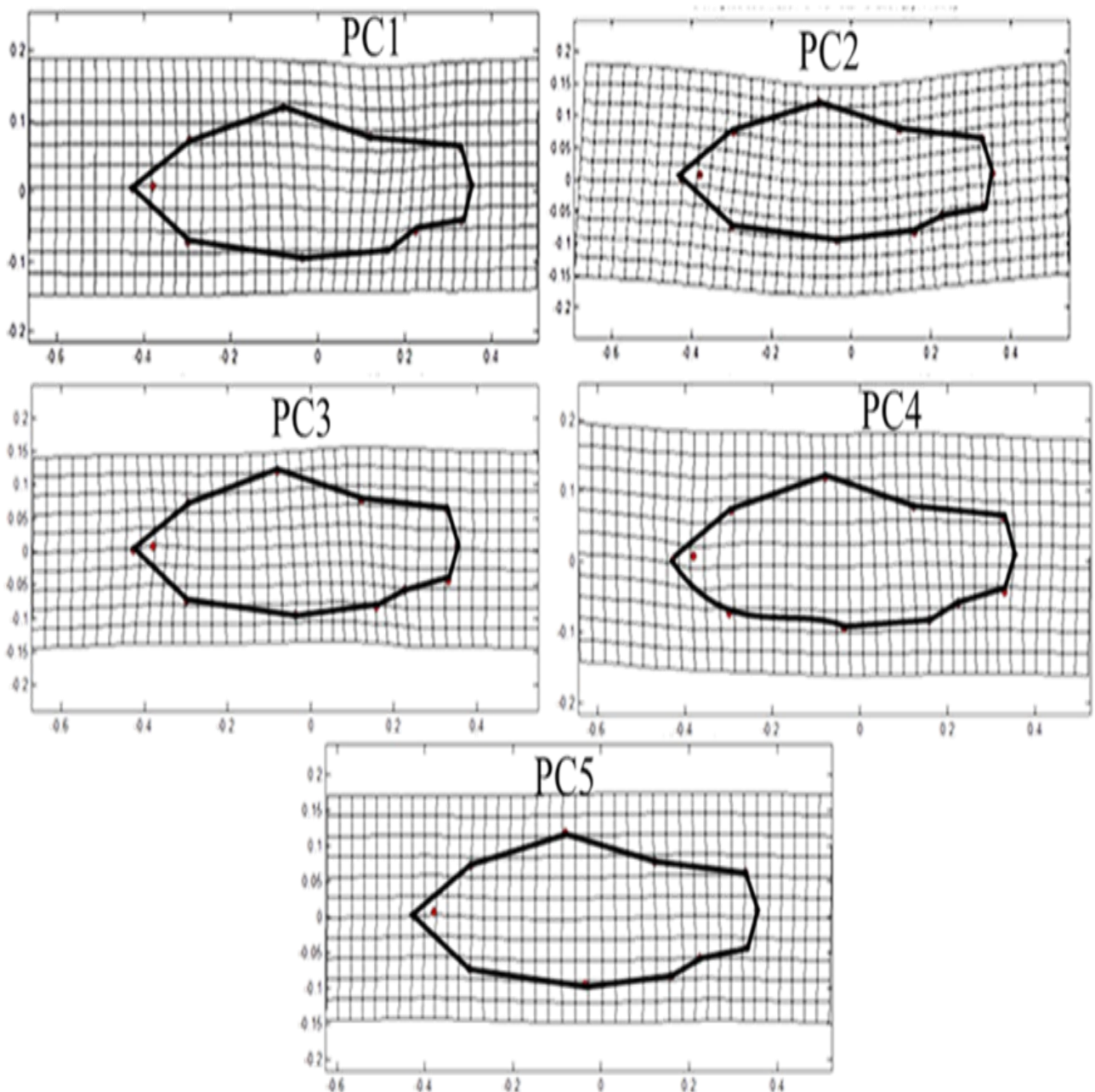
Bentuk tubuh dominan PC1 yang besar dan total nilai PC1-5 yang mencapai 87,76% diduga menyebabkan perbedaan bentuk tubuh antar

individu yang signifikan. *Puntius binotatus* di Agusan del Norte, Philippines memiliki variasi yang tidak signifikan saat PC1 berada pada nilai 35,58 dan total PC1-5 melingkupi 75,01% individu [22].

Bentuk tubuh merupakan respon individu terhadap lingkungan [23]. Namun pengambilan sampel yang dilakukan pada satu lokasi meminimalkan respon ini yang menjadi penyebab utama karena berada pada lingkungan yang sama. Umur, jenis kelamin, dan fase reproduksi yang tidak diamati dalam penelitian ini diprediksi menjadi penyebab variasi bentuk tubuh ikan. Perbedaan kelamin jantan-betina, serta stadium pertumbuhan ikan berpengaruh terhadap bentuk

tubuh ikan. Ikan jantan memberikan respon berbeda terhadap lingkungan dibandingkan ikan betina. Demikian juga ikan juvenil dan dewasa memiliki kemampuan adaptasi berbeda terhadap kondisi perairan [24].

Informasi morfologi dan bentuk tubuh serta keberadaannya yang telah terregistrasi di museum diharapkan dapat menjadi data pembandingan penelitian spesies ini di masa mendatang. Keberadaannya yang dinilai *least concern* (LC) dalam IUCN tetap memerlukan perhatian melalui riset lanjutan agar populasinya di alam berkesinambungan dan pemanfaatannya bagi manusia juga optimal.



Gambar 6. Formasi landmark *Osteochilus spilurus* dari Katingan pada PC1 - PC5

Kesimpulan

Osteochilus spilurus teridentifikasi di perairan anak Sungai Katingan dengan ciri morfologi bentuk moncong mengerucut dan titik hitam di bagian pangkal ekor. Spesimen yang disimpan di Museum Zoologi Bogor menjadi catatan pertama spesies ini dari Sungai Katingan. Formula sirip menunjukkan D.iii.12, V.9, A.6, dan P.8. Linealateralis dengan 29 sisik dan 8 sisik pertama berada sebelum sirip dorsal. Ikan memiliki panjang total antara 72.81 – 55.11 mm, panjang standar 57.1 – 43.27 mm, dan tinggi badan 15.52 – 11.91 mm.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] GBIF. (2021). *Osteochilus spilurus* (Bleeker, 1851). Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/39omei> [17 Juli 2021]
- [2] Kurniawan, A., Hariati, A. M., Kurniawan, A., & Wiadnya, D. G. R. (2021). First genetic record and the phylogenetic relationship of *Osteochilus spilurus* (Cyprinidae: Labeoninae) originating from Bangka and Belitung Islands, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(2), 198-205.
- [3] Lumbantobing, D., & Huckstorf, V. (2020). *Osteochilus spilurus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2020: e.T181063A91066472. [17 July 2021]
- [4] Kurniawan, A., Kurniawan, A., & Fakhrurrozi, Y. (2019). Pengembangan potensi ikan Cempedik (*Osteochilus spilurus*) di Belitung Timur: Kajian Konsumsi, Penanganan dan Nutrisi. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 6(1), 32-36.
- [5] Kurniawan, A., & Triswiyana, I. (2019). Perception of the economics utilization and sustainability of Cempedik Fish (*Osteochilus spilurus*) in East Belitung Regency. *ECSOFiM (Economic and Social of Fisheries and Marine Journal)*, 7(1), 109-119.
- [6] Kurniawan, A., Pramono, D.Y., Indrayati, A., Hermanto, H., & Triswiyana, I. (2020). Differences in local perceptions of *Osteochilus spilurus* (Cyprinidae: Labeoninae) from several islands in Indonesia. *Asian Journal of Ethnobiology*, 3(2), 19-27.
- [7] Karnasuta, J. (1993). Systematic revision of Southeastern Asiatic cyprinid fish genus *Osteochilus* with description of two new species and a new subspecies. *Journal of Fisheries and Environment*, 19(1), 1-105.
- [8] Fakhrurrozi, Y., Kurniawan, A., & Kurniawan, A. (2016). Pengembangan potensi Ikan Cempedik di Belitung Timur: Suatu pendekatan biologis dan etnobiologi. *Scripta Biologica*, 3(4), 25-30.
- [9] Hui, T. H. (2009). *Rasbora Patrickyapi*, a new species of cyprinid fish from Central Kalimantan, Borneo. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 57(2), 505-509.
- [10] Roberts, T. R. (1989). The freshwater fishes of Western Borneo (Kalimantan Barat, Indonesia). *Memoirs of the California Academy of Sciences*, 14(1), 1-10.
- [11] Tan, H. H. (2009). Redescription of *Betta anabatoides* Bleeker and a new species of *Betta* from West Kalimantan, Borneo (Teleostei: Osphronemidae). *Zootaxa*, 2165(1), 59-68.
- [12] Thornton, S. A., Page, S. E., Upton, C., & Harrison, M. E. (2018). Peatland fish of Sebangau, Borneo: Diversity, monitoring and conservation. *Mires and Peat*, 22(1), 1-25.
- [13] Santoso, E., & Wahyudewantoro, G. (2019). Biodiversitas spesies ikan perairan gambut Arut-Kumai, Kabupaten Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 19(2), 315-335.
- [14] Sulistiyarto, B. (2019). Assessment keberlanjutan perikanan tangkap menggunakan analisis multi indikator di Sungai Katingan, Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika*, 7(2), 44-50.
- [15] Ramdhan, M., & Siregar, Z. A. (2018). Pengelolaan wilayah gambut melalui pemberdayaan masyarakat desa pesisir di kawasan hidrologis gambut Sungai Katingan dan Sungai Mentaya Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Segara*, 14(3), 145-157.
- [16] Trivedi S., Rehman H., Saggu S., Panneerselvam C., Abbas Z. K., Ahmad I., Ansari A. A., & Ghosh S. K. (2016). *DNA Barcoding in marine perspectives: DNA*

- barcoding in the marine habitat an overview.* Springer International Publishing Switzerland
- [17] Weber, M. W. C., & de Beaufort, L. F. (1916). *The fishes of the Indo-Australian Archipelago. Volume 3.* EJ Brill Limited.
- [18] Astuti, S. S., Hariati, A. M., Kusuma, W. E., & Wiadnya D. G. R. (2020). Morphometric asymmetry of *Barbodes binotatus* (Cyprinidae) collected from three different rivers in Java. *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science*, 441(1), 1-9.
- [19] Gunther, A. (1868). *Catalogue of the Fishes in the British Museum. Volume 7.* The Trustees. London
- [20] Kurniawan, A., Hariati A. M., Kurniawan, A., Haryono H., & Wiadnya D. G. R. (2020). Morphological comparative of *Osteochilus spilurus* (Cyprinidae) from three Sundaland Island in Indonesia using geometric morphometric. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 24(7), 835-845.
- [21] Mustikasari, D., Nuryanto A., & Prabowo R. E. (2018). The morphological characteristics of Cempedik fish from Belitung Island. In *The SEA+ Conference on Biodiversity and Biotechnology 2018*.
- [22] Presilda, C. J. (2016). Describing the body shape variation of spotted barb, *Puntius binotatus* (Valenciennes 1842) using fluctuating asymmetry from Tubay, Agusan del Norte, Philippines. *Computational Ecology and Software*, 6(4), 120-127.
- [23] Klingenberg, C. P., Barluenga, M., & Meyer, A. (2003). Body shape variation in cichlid fishes of the *Amphilophus citrinellus* species complex. *Biological Journal of the Linnean Society*, 80(3), 397-408.
- [24] Meuthen, D., Baldauf, S. A., Bakker, T. C., & Thünken, T. (2018). Neglected patterns of variation in phenotypic plasticity: age-and sex-specific antipredator plasticity in a cichlid fish. *The American Naturalist*, 191(4), 475-490.

SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL MAGNETIT (Fe_3O_4) BERBASIS PASIR BESI PANTAI GLAGAH KULON PROGO DENGAN METODE KOPRESIPITASI PADA BERBAGAI VARIASI KONSENTRASI NH_4OH

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MAGNETITE (Fe_3O_4) NANOPARTICLES BASED ON IRON SANDS AT GLAGAH BEACH KULON PROGO WITH COPRECIPITATION METHODS AT VARIOUS NH_4OH CONCENTRATIONS

Rita Prasetyowati*, Dede Widiawati, Pinaka Elda Swastika, Ariswan, Warsono

Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: rita_p@uny.ac.id

Abstrak

Sintesis dan karakterisasi nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) yang berbasis pasir besi Pantai Glagah, Kulon Progo telah berhasil dilakukan. Sintesis magnetit (Fe_3O_4) dilakukan dengan metode kopresipitasi pada berbagai variasi konsentrasi larutan pengendap NH_4OH (10%, 15%, 20%, dan 25%). Karakterisasi XRD, SEM & EDS, dan VSM dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi konsentrasi larutan pengendap NH_4OH terhadap struktur mikro dan sifat kemagnetan bahan magnetit (Fe_3O_4). Berdasarkan hasil XRD, variasi konsentrasi larutan pengendap NH_4OH tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan struktur kristal sampel Fe_3O_4 yang terbentuk, tetapi mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk. Hasil SEM & EDS menunjukkan bahwa struktur morfologi permukaan sampel 2 (Fe_3O_4 dengan konsentrasi larutan pengendap NH_4OH 15%) cukup homogen serta memiliki komposisi kimia bahan yang terdiri dari Fe sebanyak 49,33%, O sebanyak 27,90% dan sisanya merupakan unsur pengotor. Hasil VSM menunjukkan bahwa sampel 2 (NH_4OH 15%) memiliki magnetisasi saturasi (M_s) = 25,7 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) = 0,06 emu/g, dan medan koersivitas (H_c) = 0,023 T. Sedangkan sampel 4 (NH_4OH 25%) memiliki nilai magnetisasi saturasi (M_s) = 23,6 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) = 2,02 emu/g, dan medan koersivitas (H_c) = 0,019 T. Kedua sampel tersebut tergolong *soft magnetic material*.

Kata kunci: kemagnetan, kopresipitasi, magnetit, NH_4OH

Abstract

*Synthesis and characterization of magnetite (Fe_3O_4) nanoparticles based on iron sand at Glagah Beach, Kulon Progo had been successfully synthesized. Synthesis of magnetite (Fe_3O_4) was done by coprecipitation method at various concentrations of NH_4OH precipitating solution (10%, 15%, 20%, 25%). XRD, SEM-EDS, and VSM were used to determine the effect of NH_4OH variations on the microstructure and magnetic properties of magnetite (Fe_3O_4). Based on the XRD results, NH_4OH variations did not affect the value of the lattice parameters and the crystal structure of the Fe_3O_4 sample but did affect the size of the crystals formed. The SEM-EDS results showed that the surface morphology of sample 2 (Fe_3O_4 with 15% NH_4OH) was quite homogeneous and had a chemical composition of 49.33% Fe, 27.90% O and the rest were impurities. The VSM results show that sample 2 (15% NH_4OH) has saturation magnetization (M_s) of 25.7 emu/g, remanent magnetization (M_r) of 0.06 emu/g, and coercivity field (H_c) of 0.023 T. Whereas sample 4 (25% NH_4OH) has saturation magnetization (M_s) of 23.6 emu/g, remanent magnetization (M_r) of 2.02 emu/g, and coercivity field (H_c) of 0.019 T. Both samples are classified as *soft magnetic material*.*

Keywords: magnetism, coprecipitation, magnetite, NH_4OH

Pendahuluan

Pasir besi merupakan sumber daya alam yang berlimpah sehingga mudah ditemukan di Indonesia. Pasir besi adalah endapan pasir yang mengandung partikel besi (magnetit), yang terdapat di sepanjang pantai, terbentuk karena proses penghancuran oleh cuaca, air permukaan dan gelombang terhadap batuan asal yang mengandung mineral besi seperti magnetit, ilmenit, oksida besi, kemudian terakumulasi serta tercuci oleh gelombang air laut [1].

Pantai selatan Pulau Jawa memiliki potensi pasir besi yang melimpah, salah satunya di Pantai Glagah, Kulon Progo. Endapan pasir besi dapat mengandung mineral-mineral magnetik seperti magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha-Fe_2O_3$), dan maghemit ($\gamma-Fe_2O_3$) [2]. Mineral-mineral tersebut mempunyai potensi dikembangkan sebagai bahan industri. Contohnya magnetit untuk bahan dasar tinta kering pada mesin *photocopy*. Maghemit adalah bahan utama pita kaset. Ketiga mineral magnetik tersebut dapat digunakan sebagai pewarna serta bahan dasar magnet permanen [3].

Salah satu bahan kajian yang menarik beberapa tahun terakhir adalah nanopartikel, yaitu material berukuran lebih kecil dari 100 nm [4]. Nanopartikel memiliki sifat fisik, kimia, mekanik, magnetik dan optik yang unik yang tidak dimiliki oleh material lain. Nanopartikel dapat dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi, seperti biosensor, perangkat fotonik dan medik. Kandungan magnetit pada pasir pantai dapat diolah menjadi nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) maupun bahan dasar magnet permanen [5].

Nanopartikel magnetik memiliki sifat fisis yang bervariasi dan dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang. Salah satu partikel magnetik yang dapat dibuat dalam ukuran nanometer adalah besi oksida seperti Fe_3O_4 (magnetit). Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu mineral golongan besi oksida yang memiliki sifat magnet paling kuat di alam dengan struktur kristal berbentuk kubus. Perubahan ukuran partikel magnetit (Fe_3O_4) akan mempengaruhi sifat-sifat yang dimilikinya [6].

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil disintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) dengan memvariasi durasi pelarutan pasir besi dalam HCl. Pada penelitian tersebut diperoleh durasi pelarutan yang paling efektif yaitu 60 menit, dengan tingkat kemurnian Fe_3O_4 yang terbentuk sebesar 84,29% [7]. Pada penelitian ini dilakukan sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dengan memvariasi konsentrasi larutan pengendap NH_4OH . Kemudian dilihat pengaruhnya terhadap struktur mikro dan sifat kemagnetan bahan nanopartikel Fe_3O_4 .

Metode Penelitian

Sintesis Nanopartikel Fe_3O_4

Bahan utama penelitian ini adalah pasir besi dari Pantai Glagah Kulon Progo. Hal ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang menggunakan pasir besi yang berasal dari Pantai Glagah, Kulon Progo untuk disintesis menjadi magnetit dan dikarakterisasi [8]. Pasir besi Pantai Glagah, Kulon Progo terlebih dahulu diekstraksi menggunakan magnet permanen untuk memisahkan pasir besi dari pengotornya. Selanjutnya, dilakukan sintesis nanopartikel Fe_3O_4 dengan metode kopresipitasi. Pasir besi yang telah diekstraksi tersebut ditimbang sebanyak 50 gram untuk dilarutkan dengan larutan HCl 37% yang telah dipanaskan pada suhu 50 °C.

Pada proses pelarutan ekstrak pasir besi dengan larutan HCl 37% disertai pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Hasil larutan diendapkan menggunakan larutan NH_4OH dengan 4 variasi konsentrasi, yaitu NH_4OH 10%, 15%, 20%, dan 25%. Proses pengendapan dilakukan selama 1 jam. Kemudian hasil endapan dicuci menggunakan aquades sebanyak 3 kali pencucian. Setelah hasil endapan dicuci, kemudian dipanaskan menggunakan oven pada suhu 200 °C selama 2 jam dan sampel siap dikarakterisasi.

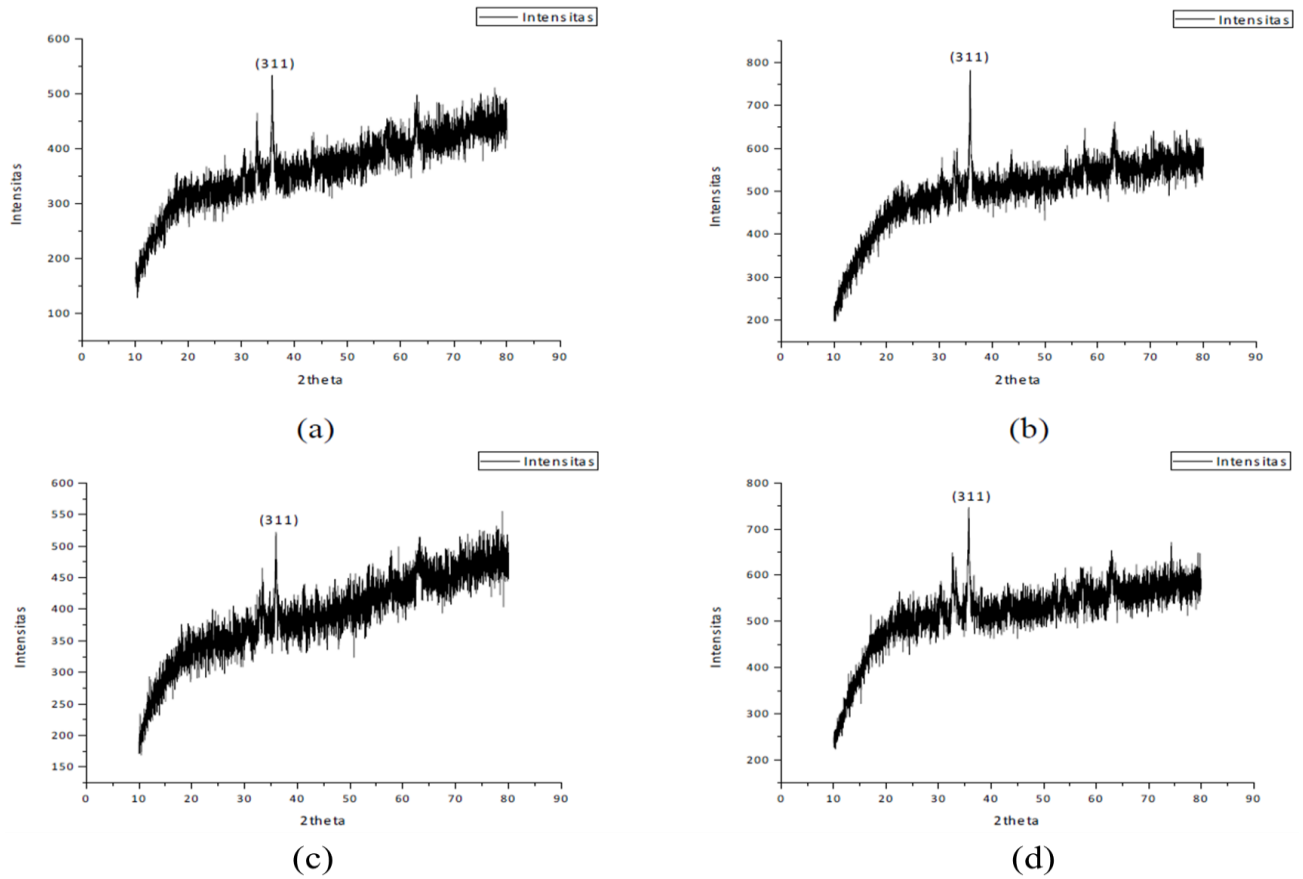
Karakterisasi Nanopartikel Fe_3O_4

Hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui parameter kisi, struktur kristal, dan ukuran kristal. Karakterisasi SEM & EDS dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan komposisi kimia. Sementara itu, sifat kemagnetan bahan diuji menggunakan VSM.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD untuk sampel 1 (NH_4OH 10%), sampel 2 (NH_4OH 15%), sampel 3 (NH_4OH 20%), dan sampel 4 (NH_4OH 25%) ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 tersebut dapat dilihat bahwa pada semua sampel telah terbentuk fasa magnetit (Fe_3O_4). Pada sampel 1 terbentuk satu puncak utama di $2\theta = 35,78^\circ$ yang berada pada bidang (311), dengan struktur kristal kubik, parameter kisi $a = b = c = 8,3332 \text{ \AA}$, dan ukuran kristal yaitu $D = 143,54 \text{ nm}$. Pada sampel 2 terbentuk satu puncak utama di $2\theta = 35,80^\circ$ yang berada pada bidang (311), dengan struktur kristal kubik, parameter kisi $a = b = c = 8,3440 \text{ \AA}$, dan ukuran kristal yaitu $D = 108,80 \text{ nm}$. Pada sampel 3 terbentuk satu puncak utama di $2\theta = 35,96^\circ$ yang berada pada bidang (311), dengan struktur kristal kubik, parameter kisi $a = b = c = 8,3122 \text{ \AA}$, dan ukuran kristal yaitu $D = 101,55 \text{ nm}$. Sementara itu, pada sampel 4 terbentuk satu puncak utama di $2\theta = 35,72^\circ$ yang berada pada bidang (311), dengan struktur kristal kubik, parameter kisi $a = b = c = 8,3440 \text{ \AA}$, dan ukuran kristal yaitu $D = 121,18 \text{ nm}$.

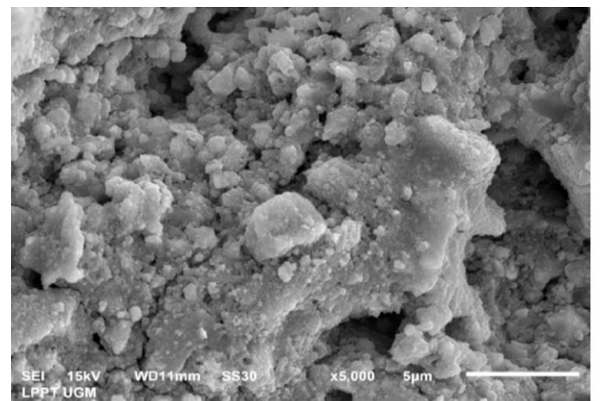


Gambar 1. Diffractogram nanopartikel Fe₃O₄ dari (a) sampel 1, (b) sampel 2, (c) sampel 3, (d) sampel 4

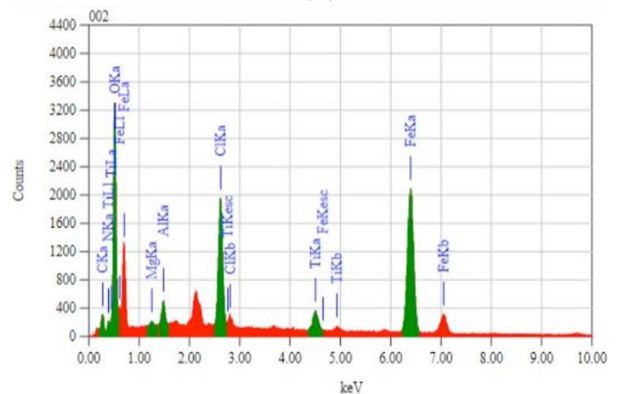
Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa sampel 2 dan sampel 4 memiliki kandungan nanopartikel Fe₃O₄ yang paling tinggi. Hal itu dapat dilihat dari puncak intensitas magnetit yang lebih tinggi daripada kedua sampel yang lainnya. Disimpulkan bahwa berdasarkan sampel 2 dan 4 menunjukkan semakin tinggi konsentrasi larutan pengendap NH₄OH, maka semakin besar ukuran kristal. Ukuran yang semakin besar akan menurunkan intensitas sifat super paramagnetik bahan tersebut [9]. Hal tersebut juga bersesuaian dengan hasil VSM yang disajikan pada Gambar 3.

Hasil Karakterisasi SEM & EDS

Gambar 2 menunjukkan hasil karakterisasi SEM & EDS sampel 2. Dari keempat sampel yang diuji, sampel 2 memiliki puncak khas magnetit dengan intensitas tertinggi. Pada karakterisasi SEM & EDS, sampel yang diuji adalah sampel 2. Berdasarkan hasil foto SEM, dapat dilihat struktur morfologi permukaannya sudah homogen. Hal ini ditandai dengan terbentuknya *grain* (butiran) yang hampir sama. Berdasarkan hasil EDS dapat diketahui komposisi kimia bahan sampel 2 terdiri dari unsur Fe sebanyak 49,33%, unsur O sebanyak 27,90%, dan unsur-unsur lain sebanyak 22,76%.



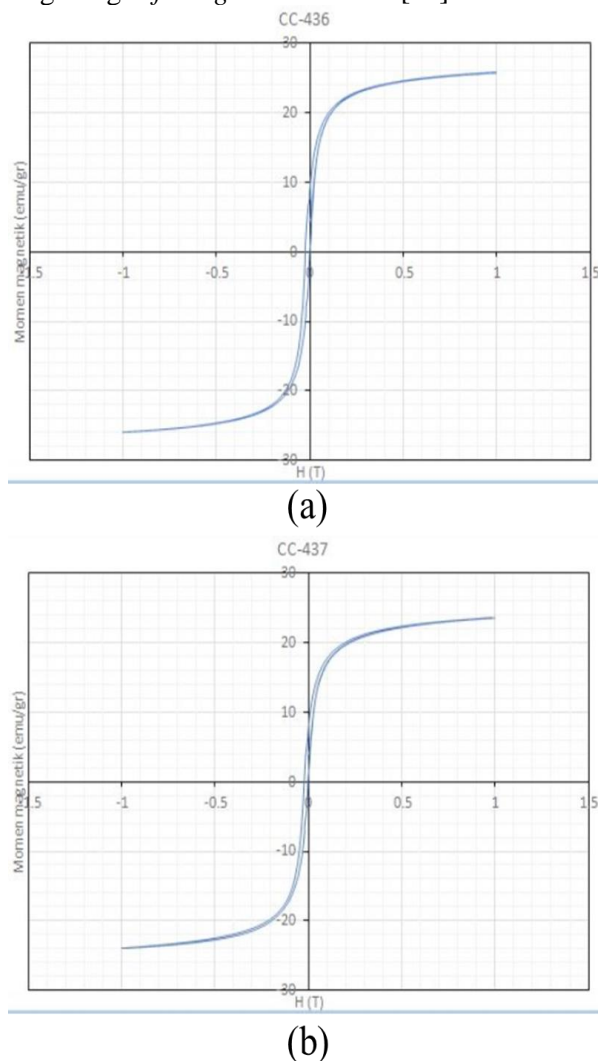
(a)



(b)

Gambar 2. (a) Foto SEM, (b) Hasil EDS sampel 2

Pada karakterisasi VSM, sampel yang diuji adalah 2 sampel terbaik berdasarkan hasil karakterisasi XRD, yaitu sampel 2 dan sampel 4. Gambar 3 merupakan kurva histerisis hasil karakterisasi VSM sampel 2 dan sampel 4. Berdasarkan kurva histerisis tersebut, kedua sampel telah mengalami saturasi pada saat medan luar H bernilai 1T, dengan nilai magnetisasi saturasi (M_s) untuk sampel 2 adalah 25,7 emu/g, dan sampel 4 adalah 23,6 emu/g. Ketika medan magnet luar H bernilai 0, nilai magnetisasi remanen (M_r) untuk sampel 2 adalah 0,06 emu/g, dan sampel 4 adalah 2,02 emu/g. Sedangkan nilai medan koersivitas (H_c) untuk sampel 2 adalah 0,023 T, dan sampel 4 adalah 0,019 T. Berdasarkan nilai M_s , M_r , dan H_c diperoleh kesimpulan bahwa sampel 2 memiliki intensitas sifat superparamagnetik yang lebih besar daripada sampel 4. Nilai medan koersivitas (H_c) kedua sampel lebih kecil dari 0,03 T, sehingga mengindikasikan bahwa bahan yang dihasilkan tergolong *soft magnetic material* [10].



Gambar 3. Kurva histerisis (a) Sampel 2, (b) Sampel 4

Kesimpulan

Sintesis dan karakterisasi nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) dari pasir besi Pantai Glagah, Kulon Progo telah berhasil dilakukan. Berdasarkan hasil XRD, variasi konsentrasi larutan pengendap NH_4OH tidak mempengaruhi nilai parameter kisi dan struktur kristal sampel Fe_3O_4 yang terbentuk, tetapi mempengaruhi ukuran kristal yang terbentuk. Hasil SEM & EDS menunjukkan struktur morfologi permukaan sampel 2 (Fe_3O_4 dengan konsentrasi larutan pengendap NH_4OH 15%) cukup homogen serta memiliki komposisi kimia bahan yang terdiri dari Fe sebanyak 49,33%, O sebanyak 27,90% dan sisanya merupakan unsur pengotor. Hasil VSM menunjukkan bahwa sampel 2 (NH_4OH 15%) memiliki magnetisasi saturasi (M_s) = 25,7 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) = 0,06 emu/g, dan medan koersivitas (H_c) = 0,023 T. Sedangkan sampel 4 (NH_4OH 25%) memiliki nilai magnetisasi saturasi (M_s) = 23,6 emu/g, magnetisasi remanen (M_r) = 2,02 emu/g, dan medan koersivitas (H_c) = 0,019 T. Kedua sampel tersebut tergolong *soft magnetic material*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada FMIPA UNY yang telah mendanai penelitian ini dalam skim Penelitian Research Group (RG).

Daftar Pustaka

- [1] Hilman, P. M. (2014). *Pasir besi di Indonesia: Geologi, eksplorasi dan pemanfaatannya*. Badan Geologi, Kementerian ESDM. Bandung.
- [2] Erwin, E., & Putra, S. U. (2018). Sifat magnetik dan ukuran partikel magnetik serta komposisi material pasir besi Pantai Kata Pariaman Sumatera Barat disintesa dengan iron sand separator dan ball milling. *Journal Online of Physics*, 3(2), 11-14.
- [3] Yulianto, A., Bijaksana S., & Loeksmanto W. (2008). Comparative study on magnetic characterization of iron sand from several locations in Central Java. *Indonesian Journal of Physics*, 14(2), 63-66.
- [4] Aji, M. P., Yulianto, A., & Bijaksana, S. (2019). Sintesis nanopartikel magnetit, maghemit dan hematit dari bahan lokal.

- Jurnal Sains Materi Indonesia*, 8(1), 106-108.
- [5] Widiyanto, E., Kardiman, & Najmudin, F. (2018). Karakterisasi pasir besi alam Pantai Samudra Baru dan pemanfaatannya sebagai filler pada sistem penyaring elektromagnetik. *Jurnal Riset Sains dan Teknologi*, 2(1), 15-20.
- [6] Taib, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis nanopartikel magnetit (Fe_3O_4) Dengan Template Silika (SiO_2) dan karakterisasi sifat kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(1), 23-30.
- [7] Prasetyowati, R., Ariswan, Warsono, & Dewi, N. (2019). Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles (Fe_3O_4) based on iron sand from Glagah Kulon Progo Yogyakarta via coprecipitation method with variations in the dissolution duration. *The Science and Science Education International Seminar Proceedings 2019 Promoting Science for Technology & Education Advancement*. Universitas Negeri Yogyakarta, pp. 1-7.
- [8] Nurjanah, S., & Prasetyowati, R. (2018). Sintesis dan karakterisasi nanopartikel magnetit Fe_3O_4 pasir besi Glagah Kulon Progo dengan metode kopresipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*. Jurdik Fisika FMIPA UNY, pp. 83-87.
- [9] Ahn, Y., Choi, E. J., & Kim, E. H. (2003). Superparamagnetic relaxation in cobalt ferrite nanoparticles synthesized from hydroxide carbonate precursors. *Reviews on Advanced Materials Science*, 5(1), 477-480.
- [10] Mathew, D. S., & Juang, R. S. (2007). An overview of the structure and magnetism of spinel ferrite nanoparticles and their synthesis in microemulsions. *Chemical Engineering Journal*, 129(1), 51-65.

**PREDIKSI JUMLAH KASUS COVID-19 MENGGUNAKAN METODE
AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA)
(STUDI KASUS KABUPATEN SIDOARJO)**

**FORECASTING COVID-19 CASES USING AUTOREGRESSIVE INTEGRATED
MOVING AVERAGE (ARIMA) METHOD (CASE FOR SIDOARJO REGENCY)**

Lailatul Ainiyah*, Muflihah Bansori

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Jalan Ahmad Yani No. 117, Wonocolo, Surabaya, Indonesia

*email korespondensi: lailatul.ainiyah1011@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi seberapa banyak penambahan jumlah kasus COVID-19 di Kabupaten Sidoarjo Provinsi Jawa Timur dalam beberapa hari ke depan menggunakan metode ARIMA. Data yang digunakan berupa data total kasus pasien positif dan sembuh COVID-19 di Kabupaten Sidoarjo dari bulan Januari 2021 sampai Juli 2021. Hasil dari penelitian ini adalah untuk data total kasus pasien positif COVID-19 model terbaiknya ARIMA (2,2,1) dengan nilai MSE sebesar 1540,51. Sedangkan untuk data total kasus pasien sembuh COVID-19 model terbaiknya ARIMA (3,1,2) dengan nilai MSE sebesar 526,81.

Kata kunci: COVID-19, prediksi, ARIMA

Abstract

The aim of this study was to predict the increase of COVID-19 cases in Sidoarjo Regency for the next few days using ARIMA method. The data used is the total number of positive patients and recovered patients of COVID-19 in Sidoarjo Regency from January 2021 to July 2021. The results of this study are that the best model for total positive patient of COVID-19 is ARIMA (2,2,1) with MSE value of 1540.51. Whereas the best model for the total recovered patients of COVID-19 is ARIMA (3,1,2) with MSE value of 526.81.

Keywords: COVID-19, forecasting, ARIMA

Pendahuluan

Di penghujung tahun 2019, dunia dihadapkan pada mewabahnya virus COVID-19 (*Corona Virus Disease-2019*). Virus ini pertama kalinya ditemukan di Kota Wuhan, Provinsi Hubei, China. Sejak adanya kasus pertama tersebut, virus COVID-19 dengan cepat menyebar setiap harinya dari Provinsi Hubei ke provinsi lainnya di China hingga penjurus dunia. Sampai bulan November 2020 tercatat lebih dari 219 negara dan wilayah di seluruh dunia melaporkan adanya kasus COVID-19, termasuk Indonesia [1]. Berdasarkan kondisi tersebut, *World Health Organization* (WHO) pada tanggal 11 Maret 2020 menetapkan virus COVID-19 sebagai pandemi [2]. Dunia mencatat, setidaknya pada bulan Juli 2021 lebih dari 192 juta jiwa telah terinfeksi virus COVID-19.

Kasus pertama COVID-19 di Indonesia pertama kali diumumkan pada tanggal 2 Maret 2020, dengan dua orang terkonfirmasi positif COVID-19 yang dinyatakan sebagai kasus 1 dan 2 [3]. Setelah dinyatakan adanya kasus tersebut, penambahan kasus COVID-19 tidak mampu

diperkirakan setiap harinya. Per 31 Juli 2021 Indonesia mengkonfirmasi kasus positif sebanyak 3.409.658 jiwa, dengan jumlah pasien sembuh sebanyak 2.770.092 jiwa dan jumlah pasien meninggal sebanyak 94.119 jiwa. Provinsi Jawa Timur merupakan salah satu provinsi dengan jumlah kasus positif COVID-19 terbanyak di Indonesia. Kabupaten Sidoarjo, yang merupakan salah satu wilayah di Jawa Timur, mengkonfirmasi kasus positif sebanyak 20.808 jiwa, pasien sembuh sebanyak 15.710 jiwa, dan pasien meninggal sebanyak 766 jiwa.

Berdasarkan kondisi tersebut, untuk mengetahui seberapa banyak penambahan jumlah kasus COVID-19 di Kabupaten Sidoarjo untuk beberapa hari ke depan, diperlukan sebuah prediksi. Dimana hasil prediksi tersebut dapat digunakan oleh pemerintah sebagai pertimbangan untuk mengambil suatu kebijakan dalam menangani virus COVID-19. Prediksi adalah suatu proses atau kegiatan yang dipergunakan untuk meramalkan suatu *variabel* atau kondisi di masa depan [4]. Prediksi dapat membantu dalam menganalisa pola atau tingkah laku dari data masa

lampau sehingga mampu memberikan cara pengerjaan, pemikiran dan pemecahan masalah yang sistematis serta memberikan keyakinan yang kuat terhadap hasil prediksi yang dibuat [5]. Dalam melakukan prediksi data yang digunakan adalah data *history* (masa lalu) menggunakan metode *time series* (deret waktu) [6].

Hasil dari suatu prediksi tidak diharuskan untuk memberikan jawaban yang pasti terjadi, namun berusaha untuk memberikan jawaban terdekat dengan kejadian di masa depan [4]. Dalam mencari jawaban terdekat dengan kejadian yang akan datang biasanya dilakukan dengan cara meminimalisir kesalahan prediksi. Kesalahan prediksi dapat dihitung dengan metode *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), dan *Mean Square Error* (MSE) [7]. Dalam melakukan prediksi terdapat beberapa metode yang bisa digunakan diantaranya metode *K-Nearest Neighbors* [8], *Exponential Smoothing* [9], *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) [10], *backpropagation* dan regresi linear [11]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA).

Dalam metode ARIMA, untuk mendapatkan model terbaik dilakukan beberapa tahapan di antaranya adalah identifikasi, penaksiran, dan pengujian. Metode ARIMA telah digunakan dalam memprediksi berbagai macam kasus, salah satunya untuk meramalkan jumlah kasus COVID-19 di Kota Semarang [12]. Dalam meramalkan jumlah pasien positif, model terbaik yang diperoleh adalah model ARIMA (2,1,8) dengan nilai *p-value* normalitas sebesar 0,1628 dan nilai *p-value White Noise* sebesar 0,8636. Sedangkan untuk peramalan jumlah pasien sembuh dihasilkan model terbaik yaitu ARIMA (2,1,10) dengan nilai *p-value* normalitas sebesar 0,07882 dan nilai *p-value White Noise* sebesar 0,1899 [12]. Selain itu, metode ARIMA juga digunakan dalam memprediksi penyebaran virus COVID-19 di Jakarta [13]. Dalam penelitian tersebut diperoleh nilai MAPE sebesar 20,97%. Hal ini menunjukkan hasil *error* yang lebih tinggi dibanding dengan standar umum industri.

Namun, hasil ini tetap bisa diterima dikarenakan kondisi virus COVID-19 yang banyak fluktuasi dan ketidakpastian [13]. Terdapat juga penelitian yang meramalkan tingkat kematian akibat COVID-19 di Indonesia menggunakan ARIMA [14]. Model ARIMA terbaik yang dihasilkan adalah model ARIMA (2,0,1) dengan nilai MAE sebesar 0,0007. Berdasarkan penjelasan tersebut, penting dilakukan penelitian

mengenai prediksi jumlah kasus COVID-19 untuk kasus Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model dalam memprediksi kasus COVID-19 di Kabupaten Sidoarjo menggunakan model ARIMA.

Metode Penelitian

Metode peramalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Metode ARIMA mempunyai nama lain yaitu metode Box-Jenkins. Metode ini dikembangkan tahun 1970 oleh Gwilym Jenkins dan George Box [15]. Prediksi dengan metode ARIMA akan menghasilkan suatu prediksi berdasarkan sintesis dari pola data secara historis [16]. Hal ini dikarenakan data yang digunakan dalam metode ARIMA adalah data *history* dengan menggunakan metode *time series*. Metode ARIMA digunakan untuk prediksi jangka pendek. Hal ini dikarenakan jika digunakan untuk prediksi jangka Panjang, ketepatan prediksinya kurang baik. Hasil prediksi yang diperoleh jika menggunakan periode jangka panjang cenderung konstan, jika menggunakan jangka pendek prediksi yang diperoleh mempunyai nilai ketepatan yang lebih akurat [17].

Asumsi yang digunakan dalam model ini adalah data *time series* yang dihasilkan bersifat stasioner. Hal ini maksudnya *mean* dan varian dari data bersifat konstan. Namun kenyataannya data *time series* banyak yang bersifat non-stasioner. Jika data yang dihasilkan *mean* tidak stasioner, maka dilakukan *differencing* dan data yang dihasilkan varian tidak stasioner dilakukan *transformasi*. Bentuk umum model *Autoregressive Integrated Moving Average* yaitu dapat ditunjukkan pada persamaan (1) [18].

$$Z_t = b_0 + b_1 Z_{t-1} + \dots + b_p Z_{t-p} + e_t - c_1 e_{t-1} - \dots - c_q e_{t-q} \quad (1)$$

Berdasarkan persamaan (1) diketahui bahwa Z_t merupakan data deret waktu sebagai variabel dependen waktu ke- t . Z_{t-p} merupakan data deret waktu saat kurun waktu ke- $(t-p)$. b_1, b_p, c_1, c_q merupakan parameter model serta e_{t-q} merupakan nilai *error* pada saat waktu ke- $(t-q)$.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan data sekunder. Data yang digunakan adalah jumlah total kasus pasien positif dan pasien sembuh COVID-19 harian di Kabupaten Sidoarjo. Data yang diambil terhitung dari 1 Januari 2021 hingga 31 Juli 2021. Data

diperoleh melalui situs resmi Pemerintah Provinsi Jawa Timur yang dapat diakses secara umum di situs <http://infocovid19.jatimprov.go.id/>. Tahapan awal dalam penelitian ini adalah mengumpulkan data kasus COVID-19. Kemudian data tersebut diperiksa bentuk pola data dan kestasionerannya.

Dalam hal ini pengecekan kestasioneran yang dimaksud adalah stasioner terhadap ragam dan stasioner terhadap *mean*. Setelah data yang digunakan telah stasioner terhadap ragam dan *mean*, selanjutnya adalah menentukan pemodelan ARIMA. Terhadap hasil pemodelan dilakukan pengecekan dengan metode *trial and error* dengan melihat nilai MSE terkecil. Model ARIMA yang memiliki nilai MSE terkecil adalah model ARIMA terbaik. Langkah terakhir melakukan prediksi dengan model terbaik yang telah diperoleh.

Hasil dan Pembahasan

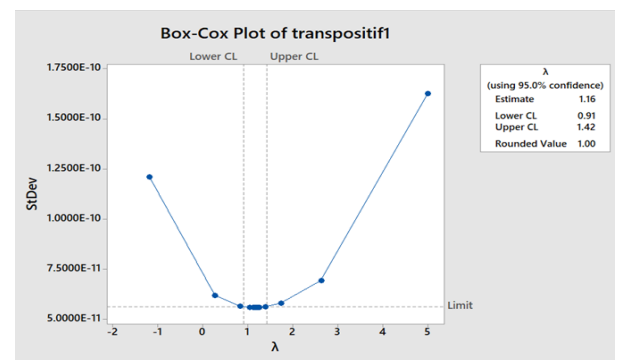
Tahapan pertama yang harus dilakukan sebelum membentuk model ARIMA adalah membuat plot data. Model ARIMA dapat dibentuk jika plot data mengandung unsur musiman. Plot data total kasus pasien positif dan pasien sembuh COVID-19 di Kabupaten Sidoarjo ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui bahwa data total kasus pasien positif dan pasien sembuh COVID-19 bukan merupakan data musiman. Karena bukan merupakan data musiman, maka metode ARIMA dapat digunakan dalam prediksi data ini.

Langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah mengecek kestasioneran data. Hal ini dilakukan untuk memperkecil kesalahan model. Data dikatakan stasioner jika memenuhi kestasioneran terhadap ragam dan *mean*. Untuk mengecek kestasioneran data terhadap ragam digunakan uji *Box-Cox Transformation*. Data dikatakan memenuhi uji stasioner terhadap ragam jika *Rounded Value* bernilai 1.

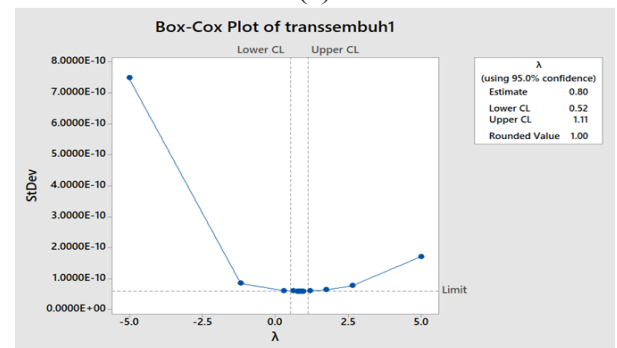
Tabel 1. Hasil uji *Box-Cox transformation*

Kasus Pasien	Estimate	LCL	UCL	Rounded Value
Positif	-2,30	-2,78	-1,80	-2,00
Sembuh	-1,60	-2,21	-1,05	-2,00

Tabel 1 merupakan hasil uji stasioner data terhadap ragam pada total kasus pasien positif dan pasien sembuh COVID-19 yang menunjukkan bahwa nilai *Rounded Value* pada pasien positif dan pasien sembuh sebesar $-2,00$. Hal ini berarti data tidak stasioner terhadap ragam. Oleh karena itu, data harus ditransformasi terlebih dahulu. Hasil transformasi menggunakan *Box-Cox Transformation* ditunjukkan pada Gambar 2.

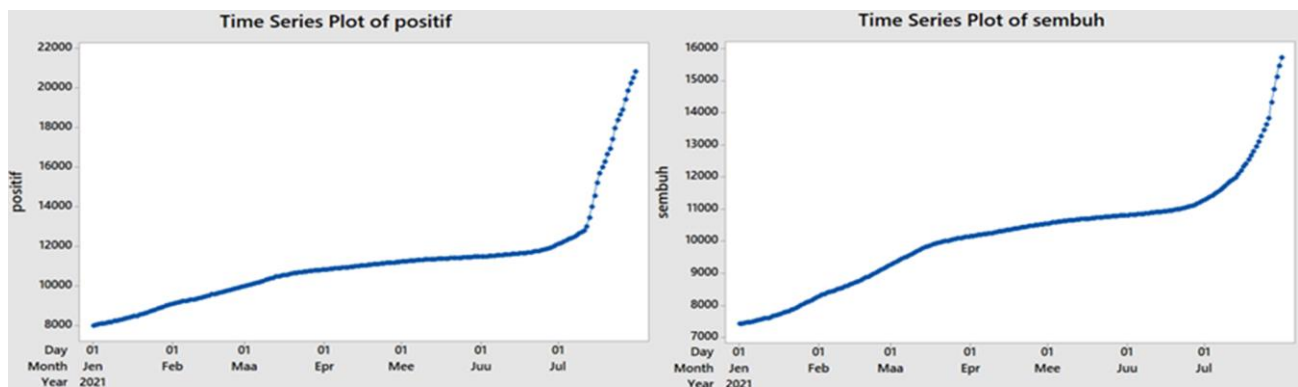


(a)



(b)

Gambar 2. Plot hasil transformasi data kasus a) positif dan b) sembuh



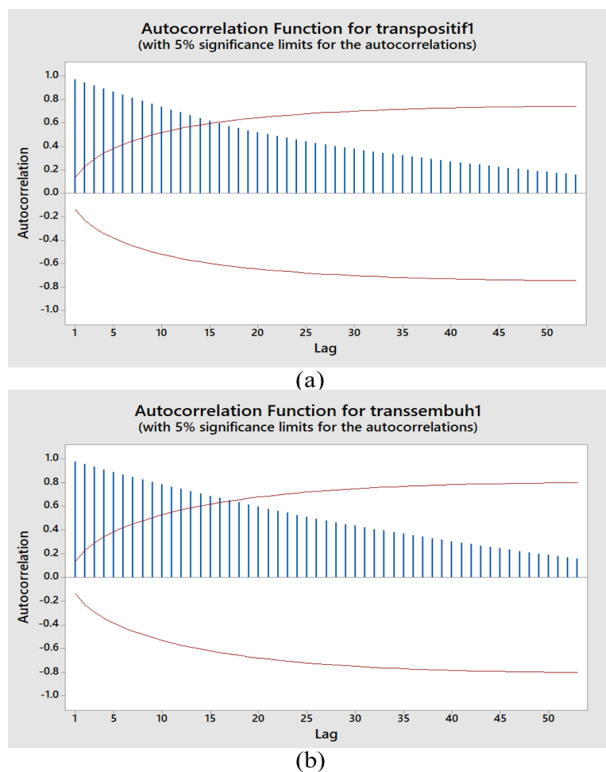
(a)

(b)

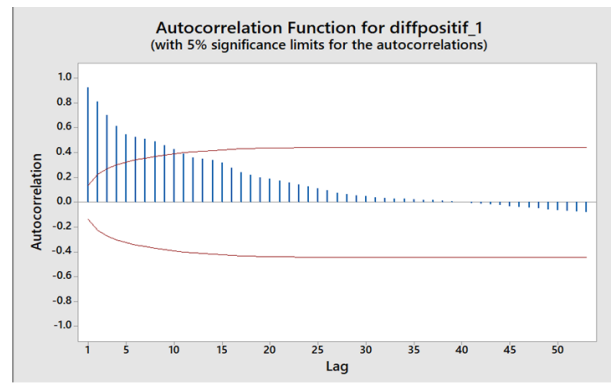
Gambar 1. Plot data untuk (a) kasus pasien positif dan (b) pasien sembuh COVID-19

Gambar 2 menunjukkan nilai *Rounded Value* pada data hasil transformasi kasus pasien positif dan sembuh COVID-19 menjadi 1. Disimpulkan data yang ditransformasikan stasioner terhadap ragam. Selanjutnya, mengecek kestasioneran data terhadap *mean* menggunakan autokorelasi terhadap data hasil transformasi kasus pasien positif dan sembuh COVID-19. Pada Gambar 3 terlihat setelah dilakukan autokorelasi terdapat lebih dari tiga *lag* pertama yang keluar dari garis konviden interval. Hal ini berarti data tidak stasioner terhadap *mean*. Agar data stasioner, maka dilakukan *differencing* terhadap data hasil transformasi. Hal ini dilakukan agar tidak ada lagi *lag* yang keluar dari garis konviden interval. Setelah itu, dilakukan autokorelasi kembali.

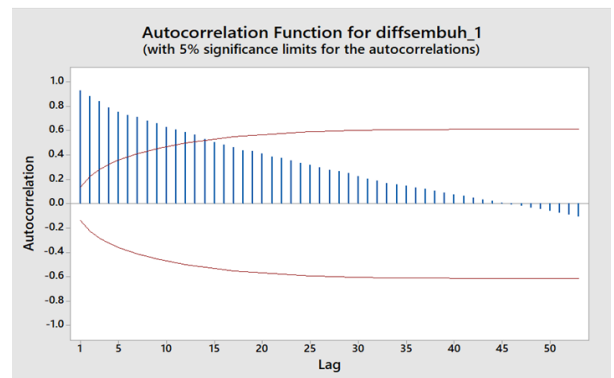
Pada Gambar 4 diketahui masih ada lebih dari tiga *lag* pertama yang keluar dari konviden interval. Hal ini menandakan data hasil *differencing* pada pasien sembuh belum stasioner terhadap *mean*, sehingga perlu dilakukan *differencing* kembali. Gambar 5 menunjukkan *lag* yang keluar dari garis konviden interval tidak lebih dari tiga *lag*. Berdasarkan hal ini diketahui data hasil *differencing* yang digunakan telah stasioner terhadap *mean*. Karena kedua data telah stasioner terhadap *mean*, selanjutnya melakukan pengecekan data hasil *differencing* terhadap *Partial Autocorellation*.



Gambar 3. Autokorelasi terhadap data hasil transformasi kasus a) positif dan b) sembuh

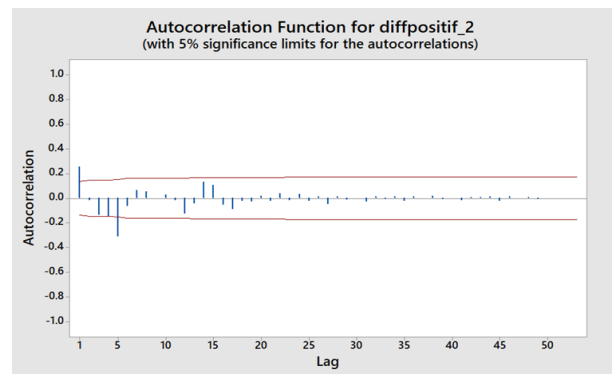


(a)

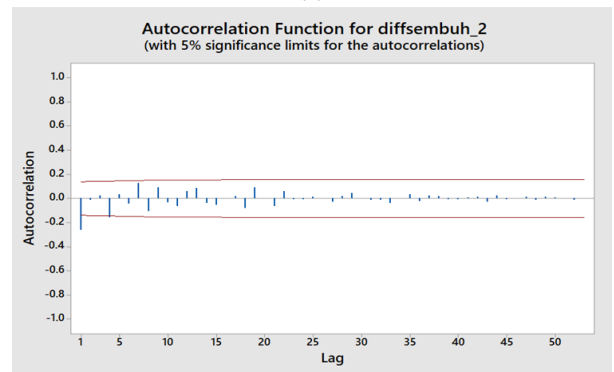


(b)

Gambar 4. Autokorelasi pada data hasil *differencing* kasus a) positif dan b) sembuh

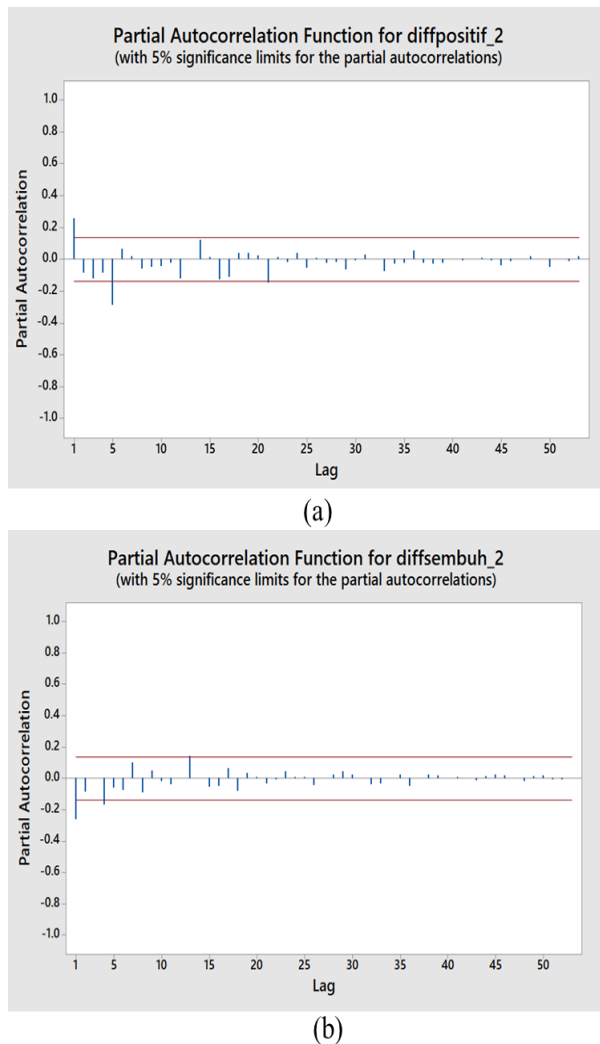


(a)



(b)

Gambar 5. Autokorelasi pada data hasil *differencing* kedua kasus a) positif dan b) sembuh



Gambar 6. *Partial Autocorellation* pada data hasil differencing kedua kasus a) positif dan b) sembuh

Gambar 6 menunjukkan bahwa sudah tidak ada lebih dari tiga lag yang keluar dari garis konviden interval. Oleh karena itu sudah dapat ditentukan model-model terbaik dari ARIMA yang dapat digunakan. Tabel 2 menunjukkan beberapa parameter model ARIMA dengan nilai MSE-nya. Untuk mendapatkan model ARIMA terbaik, langkah yang harus dilakukan adalah mencari nilai MSE terkecil dari beberapa parameter yang dimiliki. Pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa nilai MSE terkecil untuk pasien positif dimiliki oleh parameter ARIMA (2,2,1) dengan nilai MSE sebesar 1540,51. Sedangkan untuk pasien sembuh nilai MSE terkecil dimiliki oleh parameter ARIMA (3,1,2) dengan nilai MSE nya sebesar 526,81. Model-model tersebut dapat digunakan untuk memprediksi total kasus pasien positif dan pasien sembuh COVID-19 pada tanggal 1 Agustus 2021 sampai 8 Agustus 2021, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

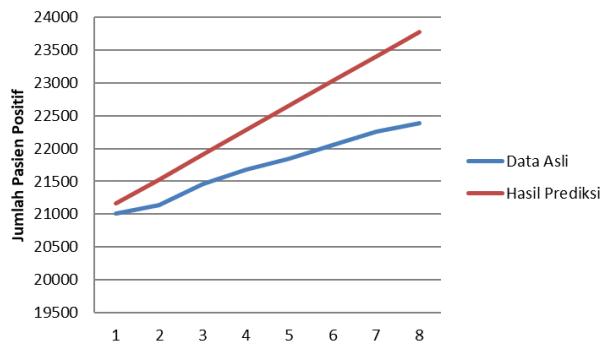
Tabel 2. Parameter model ARIMA dan nilai MSE

Pasien Positif		Pasien Sembuh	
Parameter Model	Nilai MSE	Parameter Model	Nilai MSE
(0,1,0)	-	(0,1,0)	-
(1,1,0)	1690,28	(1,1,0)	571,40
(2,1,0)	1634,48	(2,1,0)	566,52
(3,1,0)	1579,32	(3,1,0)	569,25
(0,1,1)	5044,40	(0,1,1)	-
(1,1,1)	1611,63	(1,1,1)	566,55
(2,1,1)	-	(2,1,1)	569,27
(3,1,1)	-	(3,1,1)	551,11
(0,1,2)	2690,40	(0,1,2)	1108,03
(1,1,2)	1612,23	(1,1,2)	569,28
(2,1,2)	-	(2,1,2)	-
(3,1,2)	-	(3,1,2)	526,81
(0,2,0)	-	(0,2,0)	-
(1,2,0)	1691,41	(1,2,0)	569,98
(2,2,0)	1606,51	(2,2,0)	571,83
(3,2,0)	1577,45	(3,2,0)	574,40
(0,2,1)	1668,63	(0,2,1)	568,83
(1,2,1)	1669,27	(1,2,1)	559,90
(2,2,1)	1540,51	(2,2,1)	569,91
(3,2,1)	1585,36	(3,2,1)	-
(0,2,2)	1643,61	(0,2,2)	568,84
(1,2,2)	1561,95	(1,2,2)	562,50
(2,2,2)	1547,90	(2,2,2)	-
(3,2,2)	1570,89	(3,2,2)	-

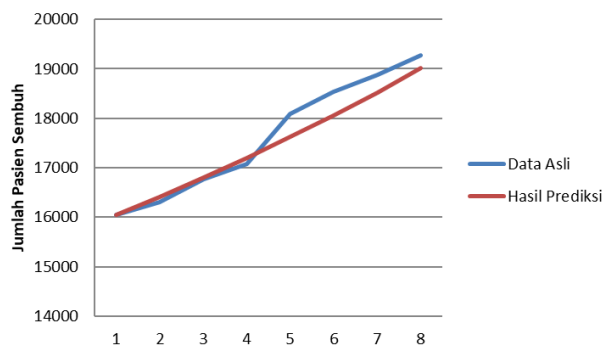
Tabel 3. Data asli dan hasil prediksi pada pasien positif dan pasien sembuh COVID-19

Pasien	Tanggal	Data Asli	Hasil Prediksi
Positif	01/08/2021	21005	21159
	02/08/2021	21145	21529
	03/08/2021	21459	21905
	04/08/2021	21676	22280
	05/08/2021	21842	22653
	06/08/2021	22051	23025
	07/08/2021	22260	23399
	08/08/2021	22383	23774
Sembuh	01/08/2021	16055	16056
	02/08/2021	16300	16406
	03/08/2021	16765	16798
	04/08/2021	17085	17193
	05/08/2021	18086	17620
	06/08/2021	18537	18059
	07/08/2021	18877	18527
	08/08/2021	19266	19010

Setelah diketahui hasil prediksi dari total kasus pasien positif dan sembuh COVID-19, pada data hasil prediksi dilakukan perbandingan dengan data asli menggunakan plot data. Pada Gambar 7 dan 8 terlihat grafik mengalami peningkatan. Hal ini menandakan total kasus pasien positif dan sembuh terus bertambah setiap harinya.



Gambar 7. Grafik data asli dan hasil prediksi pasien positif



Gambar 8. Grafik data asli dan hasil prediksi pasien sembuh

Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwa data yang digunakan telah stasioner terhadap ragam setelah dilakukan transformasi. Namun pada proses pengecekan kestasioneran terhadap *mean* menggunakan autokorelasi didapati lebih dari tiga *lag* yang keluar dari garis konviden interval sehingga perlu dilakukan *differencing*. Setelah dilakukan *differencing* sebanyak dua kali diperoleh hasil tidak ada lebih dari tiga *lag* yang keluar dari garis konviden interval. Hal ini menunjukkan data telah stasioner terhadap *mean*. Pada langkah selanjutnya yakni pengecekan data *differencing* terhadap *Partial Autokorelasi* juga didapati tidak ada lebih dari tiga *lag* yang keluar dari garis konviden interval.

Setelah melakukan tahapan di atas diperoleh beberapa model-model ARIMA. Dari beberapa model ARIMA tersebut dilakukan *trial and error* dengan cara melihat nilai MSE terkecil. Berdasarkan nilai MSE terkecil didapati bahwa data total kasus pasien positif COVID-19 mempunyai model terbaik yaitu ARIMA (2,2,1) dengan nilai MSE-nya sebesar 1540,51. Sedangkan untuk data total kasus pasien sembuh COVID-19 mempunyai model terbaik ARIMA (3,1,2) dengan nilai MSE-nya sebesar 526,81.

Berdasarkan model ARIMA tersebut diperoleh hasil prediksi yang mendekati data aktual.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Universitas Islam Negeri Sunan Ampel dan semua pihak yang telah membantu penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Wibawa, P. A. C. C. G., & Putri, N. K. C. A. (2021). Kebijakan pemerintah dalam menangani COVID 19. *Ganesha Civic Education Journal*, 3(1), 10-18.
- [2] Virtyani, M. Z., Muljaningsih, S., & Asmara, K. (2021). Studi peristiwa penetapan COVID-19 sebagai pandemi oleh World Health Organization terhadap saham sektor healthcare di bursa efek Indonesia. *Jurnal Sekuritas*. 4(3), 240-252.
- [3] Arianto, F. S. D., & Noviyanti, P. (2020). Prediksi kasus COVID-19 di Indonesia menggunakan metode backpropagation dan fuzzy Tsukamoto. *Jurnal Teknologi Informasi*, 4(1), 120-127.
- [4] Putro, B., Furqon, M. T., & Wijoyo, S. H. (2018). Prediksi jumlah kebutuhan pemakaian air menggunakan metode exponential smoothing (Studi Kasus: PDAM Kota Malang). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya*, 2(11), 4679-4686.
- [5] Sucipto, L., & Syaharuddin, S. (2018). Konstruksi forecasting system multi-model untuk pemodelan matematika pada peramalan indeks pembangunan manusia Provinsi Nusa Tenggara Barat. *Register: Jurnal Ilmiah Teknologi Sistem Informasi*, 4(2), 114-124.
- [6] Nurlifa, A., & Kusumadewi, S. (2017). Sistem peramalan jumlah penjualan menggunakan metode moving average pada Rumah Jilbab Zaky. *Jurnal INOVTEK: Seri Informatika*, 2(1), 18-25.
- [7] Anjani, U. I., Suhery, C., & Ristian, U. (2020). Prediksi permintaan produk kopi bubuk menggunakan metode double exponential smoothing berbasis website (Studi kasus: PT. Fastrata Buana. *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 8(1), 93-101.

- [8] Lestandy, M. (2020). Prediksi kasus aktif COVID-19 menggunakan metode K-nearest neighbors. *Prosiding SENTRA (Seminar Teknologi dan Rekayasa) No. 6*, 45-48.
- [9] Gibran, C. M., Setiyawati, S., & Liantoni, F. (2021). Prediksi penambahan kasus COVID-19 di Indonesia melalui pendekatan time series menggunakan metode exponential smoothing. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 6(1), 112-117.
- [10] Hardiyanti, S. A., & Shofiyah, Q. (2020). Prediksi kasus COVID-19 di Indonesia menggunakan metode adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS). *Prosiding Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) No. 6*, 974-981.
- [11] Wahyudin, W., & Purwanto, H. (2021). Prediksi kasus COVID-19 di Indonesia menggunakan metode backpropagation dan regresi linear. *Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, 5(2), 331-339.
- [12] Supriatun, Solihati, I., Arum, P. R., & Utami, T. T. W. (2020). Peramalan jumlah kasus COVID-19 di Semarang menggunakan metode autoregressive integrated moving. *Prosiding Seminar Edusainstech FMIPA UNIMUS 2020*.
- [13] Wiguna, H., Nugraha, Y., Rizka R, F., Andika, A., Kanggrawan, J. I., & Suherman, A. L. (2020). Kebijakan berbasis data: Analisis dan prediksi penyebaran COVID-19 di Jakarta dengan metode autoregressive integrated moving average (ARIMA). *Jurnal Sistem Cerdas*, 3(2), 74-83.
- [14] Zili, A.H.A., Kharis, S.A.A. & Lestari, D. (2021). Peramalan tingkat kematian Indonesia akibat COVID-19 menggunakan model ARIMA. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 2(1), 1-8.
- [15] Lilipaly, G. S., Hatidja, D., & Kekenusa, J. S. (2014). Prediksi harga saham PT. BRI, Tbk. menggunakan metode ARIMA. *Jurnal Ilmiah Sains*, 14(2), 60-67.
- [16] Rusyida, W. Y., & Pratama, V. Y. (2020). Prediksi harga saham Garuda Indonesia di tengah pandemi COVID-19 menggunakan metode ARIMA. *Square: Journal of Mathematics and Mathematics Education*, 2(1), 73-81.
- [17] Sisimi & Darsyah, M. Y. (2018). Perbandingan prediksi harga saham PT. BRI, Tbk. dengan metode ARIMA dan moving average. *Prosiding Seminar Nasional Mahasiswa Unimus, Vol. 1*, 351-360.
- [18] Pamungkas, M. B. & Wibowo, A. (2018). Aplikasi metode ARIMA Box-Jenkins untuk meramalkan kasus DBD di Provinsi Jawa Timur. *The Indonesian Journal of Public Health*, 13(1), 181-194.

ZONASI DAN FORMASI VEGETASI HUTAN MANGROVE: STUDI KASUS DI PANTAI BAROS, YOGYAKARTA

ZONATION AND FORMATION OF MANGROVE FOREST VEGETATION: CASES STUDY IN BAROS BEACH, YOGYAKARTA

Tasya Rahmadhani*, Yunita Fera Rahmawati, Raihanatu Qalbi, Nada Fithriyyah H. P.,
Selma Nafilatul Husna

Jurusan Pendidikan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta,
Yogyakarta 55281, Indonesia

*email korespondensi: tasya3826fmipa.2018@student.uny.ac.id

Abstrak

Hutan mangrove Pantai Baros merupakan salah satu cagar alam di Indonesia. Ekosistem mangrove merupakan suatu tipe ekosistem hutan yang tumbuh di daerah pasang surut, terutama di pantai yang terlindung, laguna, dan muara sungai yang tergenang pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya mampu bertoleransi terhadap garam. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui zonasi dan formasi vegetasi hutan mangrove di Pantai Baros, Bantul, Yogyakarta. Metode yang digunakan adalah metode *purposive sampling* dengan pengambilan sampel pada 2 transek. Data jenis mangrove dan jumlah mangrove di analisis secara deskriptif dalam bentuk tabel dan gambar. Hasil penelitian menunjukkan formasi mangrove di ekosistem mangrove Pantai Baros paling depan ditumbuhi banyak mangrove yaitu *Avicennia lanata* dan beberapa *Avicennia marina*, sedangkan daerah yang semakin ke dalam ditumbuhi *Rhizophora apiculata*. Persentase jenis mangrove terbanyak yang tumbuh pada Kawasan Mangrove Pantai Baros, Bantul, Yogyakarta adalah *Avicennia lanata*.

Kata kunci: Pantai Baros, formasi, mangrove, zonasi

Abstract

The mangrove forest of baros beach is one of the sanctuaries in Indonesia. The mangrove ecosystem is a type of forest ecosystem that grows in the ebb and flow, especially on protected beaches, lagoons, and river estuaries that are flooded during the ebb and flow when the plant community tolerates salt contamination. This study aims to know the zoning and formation of mangrove forests on Baros Beach, Bantul, Yogyakarta. The method used is a *purposive sampling* method with taking samples on two transects. The types and number of the mangrove were analyzed by descriptive analysis in the form of tables and figures. The results showed that mangrove formations in the mangrove ecosystem of Baros Beach at the front were overgrown with mangroves, namely *Avicennia lanata* and several *Avicennia marina*. And the inside zone is overgrown by a *Rhizophora apiculata*. The largest percentage of mangroves in the Baros Beach, Bantul, Special Region of Yogyakarta is *Avicennia lanata*.

Keywords: Baros beach, formation, mangrove, zonation

Pendahuluan

Ekosistem mangrove merupakan suatu tipe ekosistem hutan yang tumbuh di daerah pasang surut, terutama di pantai yang terlindung, laguna, dan muara sungai yang tergenang pada saat pasang dan bebas dari genangan pada saat surut yang komunitas tumbuhannya mampu bertoleransi terhadap garam [1]. Hutan mangrove tumbuh pada daerah yang jenis tanahnya berlumpur, berlempung atau berpasir. Daerahnya tergenang air laut secara berkala. Frekuensi genangan menentukan komposisi vegetasi hutan mangrove, menerima pasokan air tawar yang cukup dari darat melalui aliran air sungai, serta terlindung dari gelombang besar dan arus pasang surut yang kuat

[2]. Zona hidup mangrove sendiri dapat dibagi menjadi 4 yaitu zona terbuka, zona tengah, zona payau, dan zona daratan [3].

Zonasi hutan mangrove ditentukan oleh keadaan tanah, salinitas, penggenangan, pasang surut, laju pengendapan dan pengikisan serta ketinggian nisbi darat dan air. Zonasi menggambarkan tahapan suksesi yang sejalan dengan perubahan tempat tumbuh. Perubahan tempat atau pengikisan. Daya adaptasi spesies mangrove terhadap keadaan tempat tumbuh dapat menentukan komposisi spesies. Semakin jauh dari laut, maka spesies menggantikan spesies lain dan terjadi sampai ke daerah perbatasan dengan rawa, air tawar, dan hutan pedalaman [4].

Formasi hutan mangrove terdapat di pesisir pantai dengan air laut tenang, ombak tidak terlalu kencang. Formasi tersebut biasanya ditemui di daerah dekat laut atau muara sungai, delta, teluk, dan dipengaruhi oleh pasang surut [5]. Hutan mangrove merupakan ekosistem akuatik yang kaya dengan jenis plankton dan komunitas benthik, sehingga menjadi daerah pengasuhan bagi anakan ikan dan daerah mencari makan. Dari arah laut ke daratan, makin berkurang kadar salinitasnya, daratannya makin jauh dari genangan air pasang, dan makin beragam jenis mangrove. Jenis-jenis tumbuhan yang banyak ditemukan dalam kawasan hutan mangrove adalah jenis-jenis *Rhizophora* sp., *Avicennia* sp., *Sonneratia* sp., *Bruguiera*, *Ceriops*, *Xylocarpus* sp. Jenis *Nypha* lebih menyukai air yang cukup tawar (rawa) [6].

Pantai Baros merupakan satu cagar alam di Indonesia yang terletak di Dusun Baros, Desa Tirtohargo, Kecamatan Kretek, Bantul, Yogyakarta. Berdasarkan letak geografisnya, Pantai Baros terletak di koordinat 08°00' 28.6" S 110° 16' 59.4" E [7]. Tumbuhan mangrove memberikan manfaat bagi lingkungan salah satunya yaitu menahan abrasi dan hantaman gelombang air laut, sehingga ekosistem daratan di dekatnya menjadi terlindung. Salah satu kawasan mangrove yang dijadikan sebagai objek penelitian yaitu kawasan mangrove di Pantai Baros.

Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

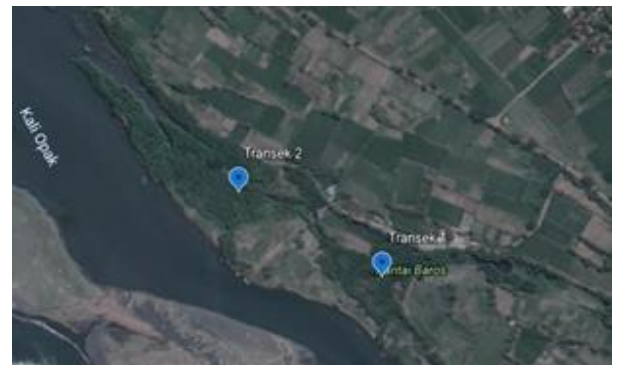
Penelitian dilaksanakan di Kawasan Mangrove Pantai Baros (08° 00' 28.6"S 110° 16' 59.4"E) pada bulan Februari-Maret 2021.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian yaitu 1 buah kamera HP Vivo Y19, 4 buah patok bambu dengan panjang 1,5 m, pembatas plot (tali rafia) (10m x 10m, 5m x 5m, 1m x 1m), 1 buah pensil, 1 buah pulpen, 1 buah penghapus S 1 buah penggaris, 1 buah clipboard kayu, 1 buah kertas label no. 112 ukuran 8 X 20 mm, 1 wadah kertas pH, 1 buah hygrometer analog, 1 buah termometer air raksa 110°C, 1 buah lux meter digital, dan 1 buah anemometer. Adapun bahan yang digunakan yaitu berbagai jenis tumbuhan mangrove yang ada di Pantai Baros, Bantul, Yogyakarta.

Prosedur Kerja

Menentukan transek lokasi pengamatan yang memanjang dari tepi laut ke arah darat dengan panjang transek 100-150 m, dan membuat plot dalam satu transek lokasi pengamatan tersebut. Menentukan jarak tiap plot antara 0-10 m, 20-30 m, dan 40-50 m dari garis pantai dan seterusnya. Membuat plot ukuran (10x10) m² (untuk pohon berdiameter > 10 cm) dan plot ukuran (5x5) m² dalam plot (1x1) m² (untuk belta/anak pohon diameter 2-10 cm). Mengidentifikasi jenis, diameter, tinggi, dan jumlah pohon mangrove. Mengukur faktor-faktor abiotik seperti kadar salinitas, pH tanah, kelembaban udara, suhu, intensitas cahaya, dan kecepatan angin. Membuat dan mengidentifikasi pola formasi mangrove Pantai Baros.



Gambar 1. Lokasi transek pengamatan kawasan mangrove Pantai Baros

Teknik Analisa Data

Analisis data dilakukan dengan *purposive sampling* dengan teknis analisis deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

Kawasan Mangrove Pantai Baros merupakan kawasan konservasi di wilayah Pesisir Baros dan bertujuan untuk mengurangi dampak-dampak yang ditimbulkan dari alih fungsi lahan oleh aktivitas manusia. Alih fungsi lahan yang dimaksud adalah adanya aktivitas pertanian dan penambangan pasir. Akibatnya ada pengikisan oleh banjir rob, gelombang laut, maupun aliran sungai sehingga terjadi pengurangan lahan dan habitat hewan. Penanaman mangrove diharapkan menjadi solusi pengikisan lahan karena karakteristiknya sebagai vegetasi pantai tropis dan mampu tumbuh baik di wilayah pesisir dengan kadar garam tinggi maupun di wilayah muara sungai yang didominasi air tawar dan payau.

Zonasi terjadi karena setiap spesies membutuhkan kondisi yang khusus untuk tumbuh. Salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi keberadaan jenis mangrove adalah salinitas [8]. Menurut Saparinto [9], mangrove bergantung pada air laut (pasang surut), air tawar, dan endapan lumpur sebagai sumber hara. Pengaruh tipe tanah atau substrat juga sangat jelas terlihat pada jenis *Rhizophora*, misalnya pada tanah lumpur yang dalam dan lembek akan tumbuh dan didominasi oleh *Rhizophora mucronata* yang kadang-kadang tumbuh berdampingan dengan *Avicennia marina*. Jenis *Rhizophora apiculata* hidup pada daerah transisi. Selain itu ada pengaruh kadar garam atau salinitas. Beberapa jenis mangrove mampu bertahan hidup pada salinitas tinggi, misalnya jenis *Avicennia* sp. yang mampu hidup pada salinitas yang sangat besar. *Avicennia marina* mampu tumbuh pada salinitas sangat rendah sampai 90%. Jenis *Bruguiera* sp. biasanya tumbuh pada salinitas maksimum sekitar 25%.

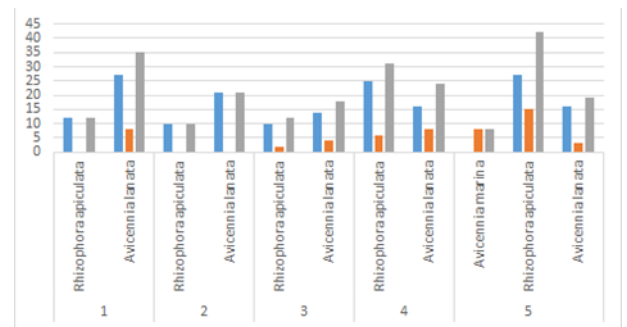
Tabel 1. Hasil pengukuran faktor abiotik di kawasan mangrove Pantai Baros, Bantul, Yogyakarta

Abiotik	Zonasi				Rerata
	I	II	III	IV	
pH	6,3	6,8	7	7	6,8
Intensitas cahaya (Lux x100)	1852,8	1326,8	1027,3	880	1271,8
Kecepatan angin (m/s)	34,8	34,8	34,7	34,8	34,8
Suhu (°C)	30,4	29,8	29,8	30,3	30,1
Kelembaban udara (5)	58,1	59,1	59,8	59,1	59,1

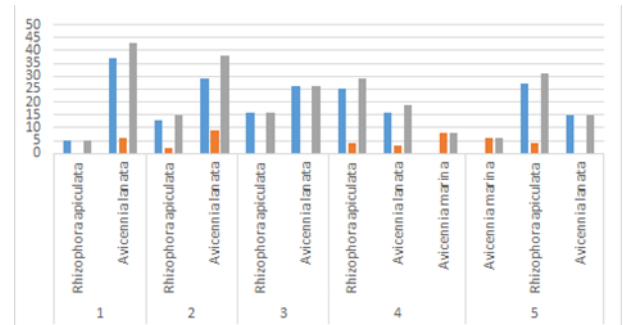
Keterangan: I: zona terbuka, II: zona tengah, III: zona perahu IV: zona darat

Hasil pengukuran abiotik pada transek 1 dan transek 2 dari data plot 1-5 diakumulasikan dan digabungkan menjadi 4 data berdasar pembagian zona formasi mangrove (Tabel 1). Rata-rata pH di Kawasan Hutan Mangrove Pantai Baros adalah 6,8. pH tersebut menunjukkan nilai yang normal untuk permukaan perairan Indonesia yang umumnya berkisar antara 6,0-8,5 [10]. Sedangkan standar pH untuk tanaman mangrove berkisar 7-8. Untuk intensitas cahaya, pada umumnya tanaman mangrove membutuhkan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Kisaran intensitas cahaya optimal untuk pertumbuhan mangrove adalah 3000 - 3800 lux. Pada pengamatan, diperoleh rata-rata intensitas cahaya sebesar 1271.8 cd. Pengukuran dilakukan saat cuaca sedang cerah berawan, namun tergolong tidak terik karena adanya naungan dari tanaman mangrove.

Rata-rata suhu pada kawasan hutan mangrove ini sebesar 30,1^oC. Pada suhu tersebut masih tergolong normal untuk kawasan mangrove. Untuk kecepatan angin, cenderung berubah-ubah namun tidak signifikan. Diperoleh hasil rata-rata sebesar 34,8 m/s. Dari rerata tersebut menunjukkan bahwa kecepatan angin sedang. Hal ini juga berkaitan dengan kerapatan tanaman mangrove. Untuk kelembaban udara diperoleh rata-rata data sebesar 59,1%. Tingkat kelembaban hutan mangrove lebih kering daripada hutan tropis pada umumnya karena adanya angin laut. Suhu dan kelembaban udara sangat berpengaruh terhadap keanekaragaman spesies di suatu habitat [11].



Gambar 2. Keberadaan dan jumlah mangrove di transek 1

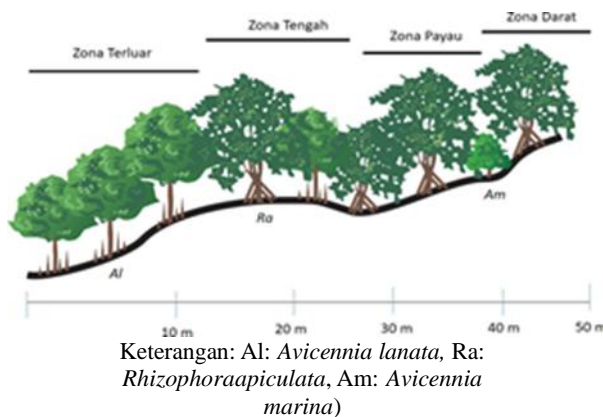


(Keterangan: biru: mangrove dewasa, merah: mangrove anakan, abu-abu: jumlah total mangrove)

Gambar 3. Keberadaan dan jumlah mangrove di transek 2

Penelitian dilakukan di dua lokasi yang memiliki 5 plot pengamatan. Hasil dari kedua lokasi atau transek ini ditemukan jenis mangrove yang sama yaitu *Avicennia lanata*, *Avicennia marina*, dan *Rhizophora apiculata* (grafik 1 dan 2). Pengamatan dan penghitungan jumlah mangrove di kedua transek juga menunjukkan bahwa susunan mangrove di kawasan mangrove Pantai Baros memiliki kecenderungan formasi yang mirip (grafik 1 dan 2). Hal ini karena kawasan ini adalah kawasan konservasi yang mana seluruh keberadaan mangrovenya berawal dari penanaman oleh manusia.

Zona hidup mangrove dapat dibagi menjadi 4 yaitu zona terbuka atau zona terluar, zona tengah, zona payau, dan zona daratan [3]. Zona terbuka atau zona terluar adalah wilayah terluar mangrove yang sangat dipengaruhi oleh air laut. Ciri khas dari zona ini adalah adanya genangan air yang paling besar dari zona lain. Pada Kawasan Mangrove Pantai Baros, di zona terbuka atau zona terluar ini berada di plot 1 dan 2 di kedua transek dengan panjang zona sekitar 12 meter dan didominasi oleh *Avicennia lanata*. Pada zona terbuka Kawasan Mangrove Pantai Baros, air yang menggenangi bukanlah air laut murni melainkan air Kali Opak yang tercampur oleh air laut Pantai Depok dan Pantai Samas. Banyaknya penemuan *Avicennia lanata* di zona pertama ini karena kemampuan adaptasi pada kondisi salinitas tingginya yang baik.



Gambar 4. Bentuk zonasi dan formasi hutan mangrove Pantai Baros

Zona berikutnya adalah zona tengah di mana merupakan zona peralihan yang menghubungkan perairan dan daratan. Umumnya, zona ini terletak lebih tinggi dari zona terbuka dan wilayahnya tidak terlalu tergenang seperti zona terbuka. Pada Kawasan Mangrove Pantai Baros, zona ini termasuk pada sisa plot 2 dan plot 3 pada kedua transek dengan panjang zona sekitar 16 meter. Kondisi zona tengah di lokasi ini adalah tidak terdapat genangan air dan lokasinya lebih tinggi dari zona sebelumnya. Pada zona ini, mangrove yang mendominasi adalah *Avicennia lanata* dan juga ditemukan cukup banyak *Rhizophora apiculata* di lokasi akhir dari zona tengah.

Selanjutnya adalah zona payau dimana zona ini memiliki ciri terletak di dekat sungai dengan konsentrasi garam yang lebih rendah dari zona terbuka. Zona ini ditemukan di plot 3 dan 4 di kedua transek dimana terdapat galian sungai di antara plotnya dengan panjang zona sekitar 9 meter. Galian sungai ini lokasi nya sangat dekat

dengan zona daratan dan biasanya air mengalir saat air laut pasang atau saat puncak musim penghujan sehingga saat pengamatan tidak ditemukan aliran air. Pada zona ini didominasi oleh *Rhizophora apiculata* dan juga ditemukan juga *Avicennia lanata* serta *Avicennia marina*. Dominasi yang sama juga ditunjukkan pada zona daratan atau zona terakhir, dimana *Rhizophora apiculata* menjadi spesies yang paling banyak ditemukan.

Letak pantai yang berada di dekat muara kali Opak menyebabkan banyaknya lumpur atau sedimentasi dari Kali Opak yang dibawa oleh air sungai ke laut, sehingga lingkungan dengan substrat yang berlumpur sangat mendukung *Avicennia marina* untuk tumbuh. Menurut Rusila [12], mangrove jenis *Avicennia marina* mempunyai akar yang dapat mengikat sedimen dan mempercepat proses pembentukan tanah timbul. Selain itu, *Avicennia marina* cenderung hidup di daerah yang berlumpur dan kaya bahan organik [10].

Kawasan mangrove dibedakan menjadi beberapa zonasi, yang disebut dengan jenis-jenis vegetasi yang mendominasi. Vegetasi mangrove secara khas memperlihatkan adanya pola zonasi. Zonasi pada ekosistem mangrove dapat dilihat sebagai suatu proses suksesi dan merupakan hasil reaksi ekosistem terhadap kekuatan yang datang dari luar. Kondisi ini terjadi karena adanya peran dan kemampuan jenis tumbuhan mangrove dalam beradaptasi dengan lingkungan yang berada di kawasan pesisir. Zonasi tumbuhan yang membentuk komponen mangrove, menghasilkan pola bervariasi yang menunjukkan kondisi lingkungan yang berbeda di setiap lokasi penelitian [13].

Kesimpulan

Formasi mangrove di ekosistem mangrove pantai Baros paling depan ditumbuhi banyak mangrove dari kelompok *Avicennia* sp. yaitu *Avicennia lanata* dan beberapa *Avicennia marina*. Kemudian menjorok ke dalam ditumbuhi *Rhizophora apiculata*. Persentase jenis mangrove terbanyak yang tumbuh pada kawasan mangrove pantai Baros, Bantul, Yogyakarta adalah *Avicennia lanata*.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Drs. Sudarsono, M.Si. atas bimbingan, kritik, dan saran yang membangun dalam proses penelitian hingga penyusunan jurnal ini selesai.

Daftar Pustaka

- [1] Kusmana, C., & Onrizal, S. (2003). *Jenis-jenis pohon mangrove di teluk Bintuni, Papua*. Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor dan PT. Bintuni Utama Murni Wood Industries, Bogor.
- [2] Arief, A. (2003). *Hutan mangrove: Fungsi dan manfaatnya*. Penerbit Kanius.
- [3] Al Idrus, A., Ilhamdi, M. L., Hadiprayitno, G., & Mertha, G. (2018). Sosialisasi peran dan fungsi mangrove pada masyarakat di kawasan Gili Sulat Lombok Timur. *Jurnal Pengabdian Magister Pendidikan IPA*, 1(1), 71-78.
- [4] Rahim, S. & Baderan, D. W. K. (2017). *Hutan mangrove dan pemanfaatannya*. Yogyakarta: Deepublish.
- [5] Latuconsina, H. (2019). *Ekologi perairan tropis: prinsip dasar pengelolaan sumber daya hayati perairan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [6] Utina, R., Nusantari, E. M., & Katili, A. S. (2018). *Ekosistem dan sumber daya alam: Pesisir Penerapan pendidikan karakter konservasi*. Yogyakarta: Deepublish.
- [7] Purwaningrum, H. (2020). Pengembangan ekowisata hutan mangrove Pantai Baros, Desa Tirtohargo, Kecamatan Kretek, Kabupaten Bantul. *Journal of Tourism and Economic*, 3(1), 31-40.
- [8] Kustanti, A. (2011). *Manajemen hutan mangrove*. Bogor: IPB Press.
- [9] Saparinto, C. (2007). *Pendayagunaan ekosistem mangrove*. Semarang: Dahara Prize.
- [10] Indriani, Y. (2008). Produksi dan laju dekomposisi serasah daun mangrove api-api (*Avicennia marina* Forssk. Vierh) di Desa Lontar, Kecamatan Kemiri, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. *Skripsi*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Bogor.
- [11] Printrakoon, C., Wells, F. E., & Chitramvong, Y. (2008). Distribution of molluscs in mangroves at six sites in the upper Gulf of Thailand. *The Raffles Bulletin of Zoology*, 18(18), 247-257.
- [12] Noor, Y. R., Khazali, M., & Suryadiputra, I. N. N. (2006). *Panduan pengenalan mangrove di Indonesia*. Ditjen PHKA.
- [13] Kehutanan, D. (1994). *Rencana pembangunan kehutanan PELITA VI*. Jakarta, Indonesia.