



E-ISSN 2774-7832
Vol 45, No 1 (2022): April 2022

Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences

Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences

Vol 45, No 1 (2022): April 2022

Table of Contents

Keanekaragaman Serangga Parasitoid (Hymenoptera) di Perkebunan Jambu Biji Desa Kalipakis Sukorejo Kendal

Nana Kariada Tri Martuti(1), Rini Anjarwati(2),

1-8

Pemrograman Non Linear dengan Pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier dalam Penetapan Biaya Produksi Optimal Lanting di “Lanting Bumbu An-Nisa”

Tamara Arindita(1), Mashuri Mashuri(2), Rahayu Budhiati Veronika(3),

9-19

Pemodelan dan Peramalan Runtun Waktu Nonlinier dengan Metode Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR)

Ratih Permatasari(1), Scolastika Mariani(2), Sugiman Sugiman(3),

20-29

Peningkatan Kualitas Stego-image Menggunakan Advanced Least Significant Bit

Cahya Adhi Bintang Husada(1), Alamsyah Alamsyah(2),

30-37

Komparasi Aktivitas Fotokatalitik Ni/TiO₂ dan Zn/TiO₂ untuk Dekomposisi Air Menjadi H₂

Sigit Priatmoko(1), Satrio B.U Prambasto(2),

38-44

**Keanekaragaman Serangga Parasitoid (Hymenoptera) di Perkebunan Jambu Biji
Desa Kalipakis Sukorejo Kendal**

Nana Kariada Tri Martuti*, Rini Anjarwati

Jurusan Biologi, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt.1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229
E-mail: nanakariada@mail.unnes.ac.id

Diterima 6 November 2021

Disetujui 2 Februari 2022

Dipublikasikan 28 April 2022

Abstrak

Kabupaten Kendal menjadi pusat produksi jambu biji tertinggi di Jawa Tengah dengan varietas jambu biji getas merah, salah satu wilayah dengan produksi jambu biji yang tinggi adalah Desa Kalipakis, Kecamatan Sukorejo. Produksi jambu biji mengalami fluktuasi yang disebabkan oleh beberapa faktor, salah satu penyebabnya adalah adanya serangan hama yang mayoritas berasal dari serangga. Serangga parasitoid (Hymenoptera) dapat digunakan sebagai agen pengendali hayati karena pada umumnya berparasit terhadap serangga herbivor (hama). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keanekaragaman, pemerataan, dan dominansi serangga parasitoid (Hymenoptera) di pertanaman jambu biji Desa Kalipakis, Sukorejo, Kendal. Pengambilan sampel menggunakan metode nisbi yaitu dengan perangkap kuning (*yellow trap*) yang dilakukan di dua stasiun. Total perangkap yang dipasang pada tiap stasiun sebanyak 25 perangkap yang terbagi dalam 5 zona, pemasangan perangkap dari jam 08.00-16.00 WIB, dilakukan tiga kali pengambilan dengan interval 14 hari. Hasil penelitian didapatkan 9 spesies, 93 individu, dan 5 famili dengan serangga parasitoid yang paling melimpah adalah *Auplopus* sp (Braconidae). Indeks keanekaragaman serangga parasitoid (Hymenoptera) berada pada kategori sedang dengan persebaran individu serangga yang merata dan tidak ada dominansi spesies. Adanya data jenis serangga parasitoid (Hymenoptera) ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam mengendalikan hama secara alami.

Kata kunci: jambu biji, Kalipakis, serangga parasitoid

Abstract

*Kendal Regency is the center of the highest guava production in Central Java with red guava varieties. One of the higher guava production is Kalipakis, Village, Sukorejo. Guava production in Kalipakis Village, has fluctuated due to several factors. One of the causes is the presence of pests, commonly from the insects. Parasitoid insects (Hymenoptera) can be used as biological controlling agents because they are generally parasitic in herbivorous insects (pests). This study aims to determine the diversity, evenness, and dominance of parasitoid insects (Hymenoptera) in guava plantation in Kalipakis Village, Sukorejo, Kendal. Data sampling using the relative method. The insect collection was carried out in two stations using yellow trap from 8 am to 4 pm. There were 25 yellow traps placed at each station which is divided into 5 zones. The insect collection was taken three times at two weeks intervals. The results obtained 9 species, 93 individuals, and 5 families with the most abundant is *Auplopus* sp (Braconidae). The parasitoid insect diversity index is in medium category with evenly distributed and no dominance of species. This data is intended to be a reference for controlling pest.*

Keywords: guava, insect parasitoid, Kalipakis

How to cite:

Martuti N. K. T., Anjarwati R. (2022). Keanekaragaman serangga parasitoid (Hymenoptera) di perkebunan jambu biji Desa Kalipakis Sukorejo Kendal. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 45(1), 1-8

PENDAHULUAN

Jambu biji (*Psidium guajava* L.) merupakan tanaman hortikultura yang banyak dibudidayakan oleh masyarakat Indonesia, terutama wilayah Kecamatan Sukorejo, Kabupaten Kendal yang menjadi sentra produksi jambu biji di Jawa Tengah dengan total produksi 181.974 kuintal (BPS Jawa Tengah, 2020). Varietas jambu biji yang dikembangkan di Kecamatan Sukorejo, Kendal adalah varietas getas merah. Berdasarkan data statistik Kecamatan Sukorejo tahun 2016-2019, produksi jambu biji mengalami fluktuasi. Pada tahun 2015 produksi jambu biji mencapai 128.968 ton, lalu menurun pada tahun 2016 dan 2017 menjadi 17.281,50 ton dan 7.655,90 ton, kemudian mengalami kenaikan di tahun 2018 menjadi 9.998,60 ton (BPS Kendal, 2016, 2017, 2018, 2019). Faktor yang menyebabkan fluktuasi tersebut diantaranya adalah masa panen, kualitas buah, adanya serangga hama, dan pengelolaan tanaman. Hama penting tanaman jambu biji umumnya berasal dari serangga, yaitu lalat buah *Bactrocera* sp dan kutu putih (Prakash, 2012). Serangga hama lain yang ditemukan pada tanaman jambu biji adalah *Valanga* sp, *Helopeltis* sp, *Anoplocnemis phasiana*, *Carpophilus* sp, dan *Conogethes punctiferalis* (Gundappa *et al.*, 2018).

Serangga hama menyebabkan berkurangnya kualitas dan kuantitas jambu biji. Lalat buah hanya menyerang bagian buah saja. Buah jambu biji yang diserang oleh hama lalat buah akan terlihat noda hitam pada permukaan buah dan di dalamnya terdapat larva lalat buah, hama kutu putih menyerang hampir di semua bagian tanaman jambu biji mulai dari bunga, daun, batang, dan buah. Bunga dan buah jambu biji yang diserang kutu putih akan menjadi kering dan menghitam. Upaya petani jambu biji untuk mengurangi serangga hama umumnya menggunakan insektisida dikarenakan praktis dan cepat, namun penggunaan insektisida akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, kesehatan, dan spesies non target. Dengan demikian, perlu adanya pengendalian hama secara hayati salah satunya menggunakan serangga parasitoid.

Serangga parasitoid umumnya berasal dari Ordo Hymenoptera, mereka hidup menumpang dengan cara meletakkan telur ke dalam tubuh serangga inang hingga telur berkembang dan akan memakan tubuh inang tersebut. Parasitoid memberikan manfaat terhadap pertahanan tanaman dengan bertindak sebagai musuh alami. Adanya serangga parasitoid dapat menekan populasi serangga hama dan mengurangi kemungkinan kerusakan tanaman produksi serta meminimalisir penggunaan insektisida. Serangga parasitoid pada tanaman jambu biji belum banyak diketahui, serangga parasitoid yang ditemukan pada tanaman jambu biji umumnya adalah dari famili Braconidae, yaitu serangga *Fopius arisanus*, *Diachasmimorpha* sp, dan *Opius* sp (Adnyana *et al.*, 2019). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberagaman serangga parasitoid yang ada di tanaman jambu biji Desa Kalipakis, Sukorejo, Kendal dan sebagai kajian awal dalam pemanfaatan serangga parasitoid sebagai agen pengendali hayati.

METODE

Pengambilan data serangga parasitoid (Hymenoptera) dilakukan di perkebunan jambu biji Desa Kalipakis, Sukorejo, Kendal, Jawa Tengah pada bulan Oktober-November 2021. Proses identifikasi serangga dilakukan di Laboratorium Ekologi, Biologi FMIPA UNNES menggunakan mikroskop stereo dan buku identifikasi serangga Borror.

Penentuan Lokasi Pengambilan Data

Lokasi pengambilan data ditentukan secara *purposive sampling* berdasarkan letak dan kondisi lahan perkebunan jambu biji. Ditentukan 2 stasiun penelitian, yaitu stasiun 1 merupakan kebun jambu yang jauh dari pemukiman warga dan bersifat polikultur, sedangkan stasiun 2 merupakan kebun jambu yang berada di pemukiman warga dan bersifat monokultur. Setiap stasiun dibagi menjadi 5 zona yang terdiri dari 4 zona di bagian tepi lahan dan 1 zona di bagian tengah lahan. Hal ini bertujuan agar pengambilan sampel merata pada lahan penelitian.

Pengambilan Data Serangga

Pengambilan data menggunakan metode nisbi yaitu dengan perangkap kuning (*yellow trap*). Pada tiap stasiun terdapat total 25 perangkap yang dipasang pada masing-masing zona. Setiap zona terdapat 5 perangkap kuning yang dipasang dengan jarak 10 m dari pukul 08.00-16.00 WIB, total perangkap yang digunakan adalah 100 perangkap untuk dua stasiun penelitian. Pengambilan data serangga dilakukan tiga kali pengambilan dengan interval 14 hari. Kondisi lingkungan kebun jambu biji juga dilakukan pengambilan data yaitu dengan mengukur parameter lingkungan berupa suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari. Pengambilan data parameter lingkungan

dilakukan dua kali yaitu pagi hari ketika pemasangan perangkat dan sore hari ketika pengambilan perangkat. Serangga yang telah terperangkap kemudian dibawa, dikelompokkan dan diidentifikasi di Laboratorium Ekologi Jurusan Biologi, FMIPA UNNES untuk dilakukan analisis data.

Analisis Data

Analisis data menggunakan Microsoft Excel. Data jenis dan individu serangga parasitoid digunakan untuk melakukan perhitungan indeks keanekaragaman jenis (H'), indeks kemerataan jenis (E), indeks dominansi (C), dan indeks kesamaan jenis (Magurran, 2004).

a. Indeks Keanekaragaman (H')

Indeks keanekaragaman dihitung untuk mengetahui kategori keragaman serangga pada kebun jambu biji dan membandingkan tinggi rendahnya keragaman jenis serangga dari masing-masing stasiun. Indeks keanekaragaman (H') menggunakan indeks keanekaragaman Shannon-Wiener berikut:

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \text{ atau } H' = -\sum \frac{(n_i)}{N} \times \ln \frac{(n_i)}{N}$$

Keterangan:

H' : Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

P_i : Proporsi ke i di dalam total sampel

N_i : Jumlah individu dari seluruh jenis

N : Jumlah total individu dari seluruh jenis

dengan kategori:

a. nilai $H' \leq 1$: keanekaragaman rendah;

b. nilai $1 \leq H' \leq 3$: keanekaragaman sedang; dan

c. nilai $H' \geq 3$: keanekaragaman tinggi

b. Indeks Kemerataan (Evenness)

Indeks kemerataan dihitung untuk mengetahui tingkat kemerataan serangga pada lahan kebun jambu biji. Rumus indeks kemerataan yang digunakan yaitu:

$$\frac{H'}{H \text{ max atau } \ln S}$$

Keterangan:

E : Indeks kemerataan (nilai antara 0-1)

H' : Indeks keanekaragaman Shannon-Wiener

S : Jumlah jenis serangga yang ditemukan

dengan kategori:

a. $E \leq 0,4$ menjelaskan bahwa tingkat kemerataan rendah

b. $0,4 \leq E \leq 0,6$ menjelaskan bahwa tingkat kemerataan sedang

c. $E \geq 0,6$ menjelaskan jika tingkat kemerataan tinggi

c. Indeks Dominansi (Simpson)

Perhitungan indeks dominansi digunakan untuk mengetahui kebun jambu biji cenderung didominasi atau tidak oleh jenis serangga tertentu, perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$$

Keterangan:

C : Dominansi

n_i : jumlah individu dari jenis ke- i

N : jumlah total individu dari seluruh jenis

dengan kategori apabila hasil perhitungan mendekati angka 1, maka terdapat jenis serangga yang mendominasi area tersebut, namun apabila hasil mendekati angka 0 maka tidak ada jenis serangga yang mendominasi.

d. Indeks Kesamaan Jenis Sorensen (Similaritas)

Perhitungan indeks similaritas digunakan untuk mengetahui perbedaan komposisi spesies yang menempati di kedua lahan atau stasiun penelitian, diukur dengan menggunakan pendekatan keanekaragaman beta. Rumus indeks similaritas Sorensen yang digunakan yaitu:

$$IS = \frac{2C}{A + B} \times 100\%$$

Keterangan:

IS: Indeks similaritas/kesamaan jenis Sorensen (nilai 0-1)

C: jumlah jenis serangga yang sama

A: jumlah jenis serangga ditemukan di stasiun 1

B: jumlah serangga ditemukan di stasiun 2.

Indeks similaritas mendekati 1 atau bernilai 1 menunjukkan bahwa terdapat kemiripan atau kesamaan jenis serangga pada kedua stasiun, namun jika nilai mendekati 0 maka menunjukkan jika kedua lahan tidak terdapat kesamaan jenis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil identifikasi serangga parasitoid (Hymenoptera) di kebun jambu biji Desa Kalipakis ditemukan 9 spesies parasitoid dengan total 93 individu yang terkelompok dalam 5 famili (Tabel 1). Masing-masing famili tersebut yaitu Braconidae, Halictidae, Ichneumonidae, Pompilidae, dan Tiphidae. Berdasarkan jumlah individu yang ditemukan, paling banyak adalah jenis *Auplopus* sp (Pompilidae) dengan 24 individu. Serangga tersebut banyak ditemukan karena memiliki perilaku bersarang. Serangga yang dikenal dengan *spider wasp* tersebut merupakan serangga yang menyerang laba-laba pemburu dengan cara meletakkan telurnya di perut laba-laba dan menutup sarangnya dengan tanah atau serasah, ketika telur sudah menetas larvanya akan memakan organ laba-laba tersebut (Pham, 2016). Serangga *Auplopus* sp lebih banyak ditemukan di stasiun 2. Hal ini disebabkan kondisi permukaan lahan pada stasiun 2 yang terbuka, jarang ditumbuhi oleh tanaman gulma. Area terbuka yang banyak serasah ini menjadi habitat yang tepat bagi laba-laba pemburu di tanah.

Tabel 1. Jenis serangga (Hymenoptera) yang ditemukan di kebun jambu biji Desa Kalipakis

Famili	Nama Spesies	Lokasi		Total
		Stasiun 1	Stasiun 2	
Braconidae	<i>Apanteles</i> sp	8	2	10
	<i>Aphidius</i> sp	2	16	18
	<i>Microplitis</i> sp	12	0	12
Halictidae	<i>Sphcodes</i> sp	2	0	2
	<i>Ichneumon</i> sp	0	1	1
Ichneumonidae	<i>Metopius</i> sp	1	0	1
	<i>Xanthopimpla</i> sp	0	7	7
Pompilidae	<i>Auplopus</i> sp	8	16	24
Tiphidae	<i>Tiphia</i> sp	11	7	18
Total Individu		44	49	93
Total Spesies		7	6	9

Serangga parasitoid lain yang banyak ditemukan adalah *Tiphia* sp (Tiphidae) dan *Aphidius* sp (Braconidae). Jenis serangga yang ditemukan di kebun jambu biji Desa Kalipakis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jenis serangga parasitoid (Hymenoptera) di kebun jambu biji Kalipakis (a) *Apanteles* sp, (b) *Spechodes* sp, (c) *Ichneumon* sp, (d) *Xanthopimpla* sp, (e) *Auplopus* sp, (f) *Tiphia* sp (g) *Aphidius* sp (h) *Microplitis* sp, (i) *Metopius* sp.

Tiphia sp merupakan serangga parasit pada larva kumbang (*Aphodius*, *Rhizotrogus*, dan *Anisolia*) (Archer, 2020). Kelimpahan serangga *Tiphia* sp diduga dipengaruhi oleh adanya buah jambu biji yang busuk yang menjadi makanan larva Scarabaeidae (belatung putih), hal ini dikarenakan serangga Tiphidae merupakan ektoparasitoid yang salah satunya berasosiasi dengan larva Scarabaeidae (Rogers & Potter, 2008). Serangga parasitoid *Aphidius* sp (Braconidae) merupakan parasit kutu daun yang dapat mengendalikan hama kutu daun dengan menyerang pada tahap instar pertama dan kedua sebelum kutu daun berkembangbiak (Prado *et al.*, 2015). Ketika pengambilan data, populasi serangga kutu putih melimpah, hal ini diduga berdampak pada kelimpahan *Aphidius* sp yang meningkat karena bertindak sebagai parasitoid hama kutu putih.

Serangga parasitoid *Microplitis* sp umumnya berparasit pada serangga Lepidoptera, mereka hidup menumpang pada tahap larva (ulat) dan memanipulasi perilakunya (Ranjith *et al.*, 2015), begitu juga dengan serangga *Apanteles* sp yang berparasit pada Lepidoptera (famili Lymantriidae dan Psychidae) (Hilamawati & Wijayanti, 2017; Putra *et al.*, 2016). Permukaan tanah pada lahan kebun jambu biji ditumbuhi oleh vegetasi rumput dan Asteraceae yang menjadi inang bagi ulat Lepidoptera, sehingga serangga *Microplitis* sp dan *Apanteles* sp cukup banyak ditemukan.

Xanthopimpla sp merupakan parasitoid soliter dan menyesuaikan dengan ukuran inangnya. Umumnya, *Xanthopimpla* sp berparasit pada Lepidoptera (Hesperidae, Papilionidae) (Rohmatullah *et al.*, 2009). Parasitoid *Ichneumon* sp menyerang berbagai serangga Lepidoptera (Rhopalocera), bersifat monofag atau polifag (Tschopp *et al.*, 2013). *Spechodes* sp termasuk parasitoid soliter yang parasit pada ulat api (Lepidoptera: Psychrididae) (Sepriani, 2019). *Metopius* sp berparasit pada larva Lepidoptera (Geometridae, Noctuidae, dan Actiidae) (Sobczak *et al.*, 2009). Mayoritas serangga parasitoid yang ditemukan berparasit pada serangga Lepidoptera. Hal ini diduga karena pada lahan jambu biji masih banyak tanaman gulma yang belum dibersihkan, sehingga menjadi tempat hidup dan tempat makan larva Lepidoptera (ulat).

Indeks keanekaragaman (H') pada kedua stasiun tidak terlalu berbeda, masing-masing stasiun memiliki tingkat keanekaragaman yang sedang, yaitu 1,7 dan 1,5 (Tabel 3). Walaupun demikian, indeks keanekaragaman pada stasiun 1 lebih tinggi daripada indeks keanekaragaman di stasiun 2. Hal ini diduga disebabkan ketersediaan makanan pada stasiun 1 lebih melimpah dan beragam dibandingkan dengan stasiun 2. Hasil perhitungan indeks similaritas adalah 0,6 (mengarah ke nilai 1) yang dapat dikatakan bahwa antara kedua stasiun memiliki komposisi jenis serangga parasitoid yang mirip.

Tabel 2. Indeks keanekaragaman, pemerataan, dan dominansi serangga parasitoid (Hymenoptera)

Nama Jenis	Stasiun 1			Stasiun 2		
	H'	E	C	H'	E	C
<i>Apanteles</i> sp	0,3100		0,0331	0,1306		0,0017
<i>Aphidius colemani</i>	0,1405		0,0021	0,3655		0,1066
<i>Microplitis</i> sp	0,3543		0,0744	0,0000		0,0000
<i>Sphexodes</i> sp	0,1405		0,0021	0,0000		0,0000
<i>Ichneumon</i> sp	0,0000	0,1593	0,0000	0,0794	0,8354	0,0004
<i>Metopius</i> sp	0,0860		0,0005	0,0000		0,0000
<i>Xanthopimpla</i> sp	0,0000		0,0000	0,2780		0,0204
<i>Auplopus mellipes</i>	0,3100		0,0331	0,3655		0,1066
<i>Tiphia femorata</i>	0,3466		0,0625	0,2780		0,0204
	1,6878		0,2076	1,4969		0,2561

Kebun pada stasiun 1 menerapkan sistem polikultur yang mana selain ditanami jambu biji juga ditanami jambu air, kopi, beberapa pohon durian dan vanili, selain itu terdapat tanaman gulma seperti rumput (Poaceae), Asteraceae, dan Acanthaceae. Sebaliknya, kebun pada stasiun 2 menerapkan sistem monokultur yang hanya ditanami jambu biji saja. Keberagaman tanaman pada suatu area menyebabkan ketersediaan makanan bagi serangga atau organisme lain di dalamnya melimpah. Semakin melimpah dan beragam jenis tanaman penyusun suatu lahan, maka semakin banyak sumber nutrisi untuk keberlangsungan hidup serangga parasitoid. Pernyataan ini sejalan dengan penelitian (Putra, 2019) yang menyatakan bahwa tingginya keanekaragaman serangga parasitoid disebabkan oleh banyaknya tanaman inang yang menjadi daya tarik bagi serangga Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera, dan Diptera. Pola tanam polikultur juga dapat mengurangi adanya serangan hama karena serangga parasitoid lebih banyak dan beragam.

Indeks pemerataan kedua lahan berada pada kategori tinggi karena lebih dari 0,6. Pada stasiun 1 memiliki pemerataan sebesar 0,9 sedangkan pada stasiun 2 memiliki pemerataan 0,8. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat persebaran serangga parasitoid di lahan pertanaman jambu biji merata. Berbanding terbalik dengan indeks pemerataan, indeks dominansi menunjukkan hasil yang mendekati 0 (rendah) yang berarti bahwa dalam lahan perkebunan jambu biji tersebut tidak ada serangga parasitoid yang mendominasi.

Keberadaan serangga parasitoid pada suatu area juga dipengaruhi oleh faktor lingkungan sekitarnya, diantaranya suhu udara, kelembaban udara, dan intensitas cahaya matahari (Tabel 2). Faktor lingkungan yang diperoleh tidak jauh berbeda antara stasiun 1 dengan stasiun 2. Kisaran suhu pada kedua lahan adalah 28-31°C, masih masuk dalam rentang suhu parasitisme Hymenoptera. Serangga parasitoid umumnya beraktivitas baik dalam memparasiti serangga lain pada suhu yang lebih tinggi. Toleransi suhu Hymenoptera (Braconidae) adalah 15-30°C, tingkat keberhasilan parasitisme pada suhu 30°C dan suhu optimum berkembangbiak adalah 25°C, sedangkan jika di bawah

15°C akan mati (Agbodzavu *et al.*, 2020). Suhu dan kelembaban maksimal Ichneumonidae adalah 29,8°C dan 70,5% (betina) dan 32,2°C dan 74,5% (jantan), sedangkan kelembaban Braconidae maksimal 67% (jantan) dan 53% (betina) (González *et al.*, 2012). Kelembaban sangat penting bagi serangga karena mereka rentan terhadap kekeringan. Intensitas cahaya yang masuk ke kebun jambu biji cukup terang, hal ini memungkinkan jika serangga parasitoid lebih menyukai berada pada kondisi lingkungan yang cukup terang. Cahaya matahari yang masuk ke kebun membantu memantulkan cahaya ke perangkap kuning sehingga dapat menarik serangga untuk terperangkap. Warna kuning sangat disukai oleh serangga karena mirip dengan warna polen yang hampir masak (Tustiyani *et al.*, 2020).

Tabel 3. Faktor Lingkungan pada kebun jambu biji

Faktor Lingkungan	Stasiun 1	Stasiun 2
Suhu Udara (°C)	28-31	28-31
Kelembaban Udara (%)	34-36	34-36
Intensitas Cahaya (lux)	4580-5100	4470-5360

SIMPULAN

Serangga parasitoid (Hymenoptera) di kebun jambu biji Desa Kalipakis Kendal ditemukan 9 spesies dengan total 93 individu yang terkelompok dalam 5 famili dengan individu yang paling banyak ditemukan adalah *Auplopus* sp. Keanekaragaman serangga parasitoid berada pada kategori sedang dan tersebar merata serta tidak ada jenis yang mendominasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, I., Darmiati, N., & Widaningsih, D. (2019). Asosiasi lalat buah (*Bactrocera* spp.) (Diptera: Tephritidae) dan parasitoidnya pada tanaman jambu biji kristal (*Psidium guajava* L.) yang dibudidayakan di Bali. *Journal on Agriculture Science*, 9(2), 97-111.
- Agbodzavu, M.K., Osiemo, L.Z., Gikungu, M., Ekesi, S., & Fiaboe, K. (2020). Temperature-dependent development, survival and reproduction of *Apanteles hemara* (Nixon) (Hymenoptera: Braconidae) on *Spoladea recurvalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). *Bulletin of Entomological Research*, 110(5), 577-587.
- Archer, M.E. 2020. *Tiphia femorata* Fabrius, 1775. Bees Wasps & Ants Recording Society di <http://www.bwars.com/wasp/tiphiidae> (diakses pada 8 April 2021).
- Badan Pusat Statistika Jawa Tengah. (2020). Produksi buah-buahan menurut kabupaten/kota dan jenis tanaman di Provinsi Jawa Tengah, 2019 dan 2020.
- Badan Pusat Stastistika (BPS) Kabupaten Kendal. (2016). *Kecamatan Sukorejo dalam angka tahun 2016*. Koordinator Statistik Kecamatan Sukorejo.
- Badan Pusat Stastistika (BPS) Kabupaten Kendal. (2017). *Kecamatan Sukorejo dalam angka tahun 2017*. Koordinator Statistik Kecamatan Sukorejo.
- Badan Pusat Stastistika (BPS) Kabupaten Kendal. (2018). *Kecamatan Sukorejo dalam angka tahun 2018*. Koordinator Statistik Kecamatan Sukorejo.
- Badan Pusat Stastistika (BPS) Kabupaten Kendal. (2019). *Kecamatan Sukorejo dalam angka tahun 2019*. Koordinator Statistik Kecamatan Sukorejo.
- González, M., Bordera, S., Leirana, A., & Delfin, G. (2012). Diurnal flight behavior of Ichneumonoidea (Insecta: Hymenoptera) related to environmental factors in a tropical dry forest. *Environmental Entomology*, 41(3), 587-593.
- Gundappa, B., Rajikumar, M., Singh, S., & Rajan, S. (2018). *Pest of Guava*. India: Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Hilamawati, M.K., & Wijayanti, R. (2017). Lepidoptera dan parasitoid yang berasosiasi pada tanaman kenanga (*Cananga odorata* (Lam.) Hook. F. & Thomson). *Journal of Sustainable Agriculture*, 25(1), 15-20.
- Magurran, A.F. (2004). *Measuring biological diversity*. United Kingdom: Blackwell Publishing Company.
- Pham, H. P. (2016). Nesting biology of a spider wasp *Auplopus* sp. (Hymenoptera: Pompilidae) in Vietnam. *Punjab University Journal of Zoology*, 31, 17-23.
- Prado, S.G., Jandricic, S.E., & Frank, S.D. (2015). Ecological interactions affecting the efficacy of

- Aphidius colemani* in greenhouse crops. *Insects*, 6(2), 538-575.
- Prakash, O. (2012). IPM schedule for guava pest. *Extension Bulletin 5*, National Horticulture Mission, Ministry of Agriculture and Co-operation, India.
- Putra, I. (2019). Keanekaragaman Hymenoptera parasitoid di kebun plasma nutfah pisang Yogyakarta. *Jurnal Biologi Udayana*, 23(1), 26-33.
- Putra, I., Pudjianto, P., & Maryana, N. (2016). Keanekaragaman Hymenoptera Parasitoid pada perkebunan kelapa sawit PTPN VIII Cindali, Bogor. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 16(2), 165-174.
- Ranjith, A.P., Rajesh, K.M., & Nasser, M. (2015). Taxonomic studies on oriental *Microplitis foerster* (Hymenoptera: Braconidae, Microgastrinae) with description of two new species from South India. *Zootaxa*, 3963(3), 369-415.
- Rogers, M.E., & Potter, D.A. (2008). Tiphid wasps (Hymenoptera: Tiphidae). *Encyclopedia of Entomology*, 3824-3826.
- Rohmatullah, A., Suryobroto, B., & Atmowidi, T. (2009). Serangga parasitoid pada kupu *Troides helena* dan *Papilio aristolokia*. *Saintis*, 1(2), 97-106.
- Sepriani, Y. (2019). Pengaruh perbedaan habitat kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) terhadap kelimpahan musuh alami ulat api (Lepidoptera: Psychidae). *Jurnal Agroplasma*, 5(1), 17-26.
- Sobczak, J., Loffredo, A., Penteadodias, A., & Gonzago, M. (2009). Two new species of hymenoptera (Hymenoptera: Ichneumonidae, Pimplinae) with notes on their spider hosts and behaviour manipulation. *Journal of Natural History*, 43, 2691-2699.
- Tschopp, A., Riedel, M., Kropf, C., Nentwig, W., & Klopstein, S. (2013). The evolution of host associations in the parasitic wasp genus *Ichneumon* (Hymenoptera: Ichneumonidae): convergent adaptations to host pupation sites. *BMC Evolutionary Biology*, 13(74), 1-13.
- Tustiyani, I., Utami, V.F., & Tauhid, A. (2020). Identifikasi keanekaragaman dan dominasi serangga pada tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dengan teknik yellow trap. *Journal on Agriculture Science*, 18(1), 88-97.

Pemrograman Non Linear dengan Pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier dalam Penetapan Biaya Produksi Optimal Lanting di “Lanting Bumbu An-Nisa”

Tamara Arindita*, Mashuri, Rahayu Budhiati Veronika

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt.1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229
*E-mail: arinditatamara@gmail.com

Diterima 5 Januari 2022

Disetujui 24 Februari 2022

Dipublikasikan 28 April 2022

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan masalah pemrograman nonlinear dalam menetapkan biaya produksi optimal lanting di “Lanting Bumbu An-Nisa” dengan pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier. Separable programming merupakan suatu pendekatan penyelesaian masalah nonlinear dengan mentrasformasikan bentuk nonlinear menjadi bentuk linear yang memuat satu variabel, sedangkan Lagrange Multiplier dengan cara membentuk sebuah fungsi baru. Hasil dari Separable Programming diperoleh solusi bahwa “Lanting Bumbu An-Nisa” harus memproduksi 500 kemasan lanting rasa bawang, 500 kemasan lanting rasa keju, 500 kemasan lanting rasa pedas manis, dan 500 kemasan lanting rasa jagung dengan biaya total sebesar Rp 11.242.517,3. Dengan Lagrange Multiplier diperoleh solusi bahwa “Lanting Bumbu An-Nisa” harus memproduksi 533 kemasan lanting rasa bawang, 507 kemasan lanting rasa keju, 505 kemasan lanting rasa pedas manis, dan 455 kemasan lanting rasa jagung dengan biaya produksi sebesar Rp 11.213.943,6. Berdasarkan penelitian, diperoleh bahwa metode Lagrange Multiplier lebih optimal dalam penentuan produksi lanting dibandingkan dengan Separable Programming.

Kata kunci: pemrograman nonlinear, optimasi Separable Programming, Lagrange Multiplier

Abstract

This research is aimed to apply nonlinear programming problems for determining the optimal production cost of lanting in "Lanting Bumbu An - Nisa" using Separable Programming approach and Lagrange Multiplier method. Separable programming is a nonlinear problem solving that is approached by transforming the nonlinear form into a linear form and it contains of one variable. While Lagrange Multiplier by forming a new function. The research results of using Separable programming in "Lanting Bumbu An-Nisa" should produce 500 packs of lanting onion flavor, 500 packs of lanting cheese flavor, 500 packs of lanting sweet spicy flavor, and 500 packs of lanting corn flavor with total production cost of Rp 11.242.517,3. Meanwhile using Lagrange Multiplier is " Lanting Bumbu An -Nisa " have to produce 533 packs of lanting onion flavor, 507 packs of lanting cheese flavor, 505 packs of lanting sweet spicy flavor, and 455 packs of lanting corn flavor with total production cost Rp 11.213.943,6. Based on the research, it can be found that Lagrange Multiplier method is more optimal than Separable Programming to determine lanting production in "Lanting Bumbu An-Nisa"..

Key words: Nonlinear programming, optimization Separable Prprogramming, Lagrange Multiplier

How to cite:

Arindita T., Mashuri, & Veronika R.B. (2020). Penyelesaian pemrograman nonlinear dengan pendekatan separable programming dan Lagrange Multiplier. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Science*, 45(1), 9-19

PENDAHULUAN

Optimasi merupakan tindakan untuk mendapatkan hasil yang terbaik terhadap suatu masalah. Permasalahan optimasi meliputi pemaksimalan atau meminimuman suatu fungsi tujuan yang dibatasi oleh berbagai kendala keterbatasan sumber daya dan kendala persyaratan tertentu yang harus dipenuhi (Sasongko *et al.*, 2012). Optimasi dalam pembuatan keputusan ini dapat dicapai dengan analisis kuantitatif yang mendasarkan pada pengalaman dan pertimbangan manajerial, dan analisis kuantitatif menggunakan teknik matematika dan statistik (Muhammad *et al.*, 2013).

Model masalah optimasi dapat berupa pemrograman linear maupun nonlinear. Saat ini, dengan semakin kompleksnya permasalahan yang timbul, tidak semua masalah yang terjadi dapat dibentuk menjadi model linear. Untuk itu digunakanlah model nonlinear untuk menyelesaikannya. Suatu permasalahan disebut nonlinear jika fungsi tujuan dan kendalanya mempunyai bentuk nonlinear pada salah satu atau keduanya.

Separable programming merupakan suatu metode penyelesaian dalam masalah nonlinear dengan mentransformasikan bentuk nonlinear menjadi bentuk linear yang memuat satu variabel. Pada *Separable programming* fungsinya merupakan penjumlahan fungsi nonlinear, yang selanjutnya dipisahkan menjadi satu variabel. Fungsi Separable adalah Fungsi n variabel $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ dikatakan penjumlahan yang dapat dipisahkan (*additively separable*) jika dapat ditulis dengan $f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_n(x_n)$ (Segal, 1994). *Separable programming* dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *piecewise linear function*.

Mariani (2003) membahas penyelesaian masalah *separable programming* yang diselesaikan dengan metode simpleks. Niederhoff (2007) menggunakan Separable Programming untuk menyelesaikan masalah multi produk multiple ex-ante kendala newsvendor dan ekstensi. Marpaung (2012) membahas perbandingan pendekatan *separable programming* dengan *the karush-kuhn-tucker conditions* dalam memberikan solusi optimal. Nurcahyani (2014) membahas tentang penyelesaian *separable programming* pada portofolio optimal. Febriani (2015) membahas penyelesaian pemrograman nonlinear dengan *pendekatan separable programming* untuk produksi bakpia Eny. Utami (2015) membahas tentang efektivitas penyelesaian model nonlinear menggunakan pendekatan *quadratic programming* dan *separable programming* untuk optimasi biaya produksi pada bakpia 716.

Lagrange multiplier juga merupakan suatu metode penyelesaian dalam masalah nonlinear. Metode ini digunakan untuk menentukan persoalan optimasi dengan kendala menjadi optimasi tanpa kendala. Berbeda dengan *Separable Programming*, penyelesaian *Lagrange Multiplier* ini dengan cara membentuk sebuah fungsi baru yang merupakan penjumlahan dari fungsi yang hendak dioptimumkan ditambah hasil kali pengali Lagrange (λ) dengan fungsi kendalanya.

$$L(X, \lambda) = f(X) + \sum_{j=1}^m \lambda_j g_j(X)$$

Beberapa penelitian tentang metode *Lagrange Multiplier* telah dibahas oleh Ridwan (2007) mengenai optimasi bersyarat menggunakan lagrange multiplier dan aplikasinya pada berbagai kasus dalam bidang ekonomi. Syaripuddin (2010) membahas mengenai aplikasi Metode Lagrange pada fungsi produksi Cobb-Douglass. Kurniati (2014) membahas tentang penentuan proporsi saham portofolio dengan metode lagrange.

Separable programming dan *Lagrange Multiplier* dapat diaplikasikan dalam masalah optimasi produk suatu perusahaan. Misalnya pengoptimalan pembuatan produksi lanting. Lanting merupakan makanan ringan yang terbuat dari singkong berbentuk lingkaran kecil atau angka delapan. Lanting merupakan oleh-oleh khas Kebumen. Salah satu industri pembuatan lanting terletak di Karanganyar, Kebumen, "Lanting Bumbu An-Nisa" merupakan usaha menengah kecil yang menghasilkan produksi lanting bumbu tersebut. Lanting di sini memiliki berbagai varian rasa dan memiliki banyak peminat baik warga Kebumen sendiri maupun wisatawan. Banyak para wisatawan dari luar Kebumen yang memesan lanting di "Lanting Bumbu An-Nisa" sebagai oleh-oleh. Namun "Lanting Bumbu An-Nisa" masih memiliki kendala dalam penetapan jumlah produksi agar biaya yang dikeluarkan

minimum. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan masalah pemrograman nonlinear dalam menetapkan biaya produksi optimal lanting di “Lanting Bumbu An-Nisa” dengan pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier.

METODE

Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah data sekunder. Keterangan lain yang mendukung, dikumpulkan dengan metode wawancara dengan pemilik “Lanting Bumbu An-Nisa”. Objek yang diteliti adalah data biaya produksi lanting pada bulan Mei sampai Agustus 2017 dengan empat varian rasa. Biaya produksi merupakan biaya keseluruhan perusahaan untuk memproduksi suatu barang yang jumlahnya lebih besar dibanding dengan jenis biaya lain, yang meliputi biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya tidak langsung.

Metode Analisis

Langkah-langkah penyelesaian dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan fungsi tujuan dengan mengetahui biaya produksi lanting pada setiap varian rasa pada bulan Mei sampai Agustus sehingga dapat memodelkan dalam program nonlinear.
2. Menentukan variabel keputusan, fungsi tujuan, dan semua fungsi kendala dalam masalah.
3. Memodelkan permasalahan ke dalam model matematis program nonlinear
4. Menyelesaikan permasalahan dengan metode *Separable programming* dan *Lagrange Multiplier*.

1.) Separable programming

- a. Membentuk fungsi separable

$$Z = f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_n(x_n)$$

$$g_{11}(x_1) + g_{12}(x_2) + \dots + g_{1n}(x_n) (\leq, =, \geq) b_1$$

$$g_{21}(x_1) + g_{22}(x_2) + \dots + g_{2n}(x_n) (\leq, =, \geq) b_2$$

$$g_{m1}(x_1) + g_{m2}(x_2) + \dots + g_{mn}(x_n) (\leq, =, \geq) b_m$$

$$\text{dan } x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

- b. Mentransformasikan fungsi nonlinear menjadi fungsi linear dengan hampiran fungsi linear sepotong-sepotong formulasi delta.

$$\hat{f}_j(x_j) = f_j(x_{0j}) + \sum_{v=1}^{k_j} (\Delta f_{vj}) \delta_{vj}, \Delta f_{vj} = f_j(x_{vj}) - f_j(x_{(v-1)j})$$

$$\hat{g}_{ij}(x_j) = g_{ij}(x_{0j}) + \sum_{v=1}^{k_j} (\Delta g_{i,vj}) \delta_{vj}, \Delta g_{i,vj} = g_{ij}(x_{vj}) - g_{ij}(x_{(v-1)j})$$

- c. Membentuk masalah AP berdasarkan hampiran linear dari masalah P yang diperoleh dengan menggunakan formulasi delta.

Meaksimumkan/Meminimumkan

$$Z = \sum_{j \notin L} \hat{f}_j(x_j)$$

terhadap kendala

$$\sum_{j \notin L} \hat{g}_{ij}(x_j) (\leq, =, \geq) b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$x_j \geq 0 \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, n \text{ dan } j \notin L$$

- d. Membentuk masalah LAP dengan mendistribusikan nilai-nilai yang diperoleh dari masalah AP.

Memaksimumkan/Meminimumkan

$$Z = \sum_{j \notin L} \hat{f}_j(x_{0j}) + \sum_{v=1}^{k_j} (\Delta x_{vj}) \delta_{vj}$$

terhadap kendala

$$\sum_{j \notin L} (g_{ij}(x_{0j}) + \sum_{v=1}^{k_j} (\Delta g_{i,vj}) \delta_{vj}) (\leq, =, \geq) b_i, (i = 1, 2, \dots, m) 0 \leq \delta_{vj} \leq 1$$

$$\text{untuk } v = 1, 2, 3, \dots, k_j; j \notin L$$

- e. Memperoleh masalah pemrograman linear dengan fungsi tujuan dan fungsi kendala linear.

- f. Menyelesaikan pemrograman linear dengan bantuan software WinQSB
- 2.) Lagrange Multiplier
- a. Membentuk fungsi *lagrange* yaitu fungsi yang memuat hasil penjumlahan atau selisih fungsi tujuan dan perkalian antara pengali *lagrange* dengan fungsi kendala.
Fungsi Lagrange yang terbentuk adalah

$$F(x, y, \lambda_i) = f(x, y) + \sum_{i=1}^m \lambda_i g_i(X, Y)$$

$$F(x_1, x_2, x_3, \lambda_i) = f(x_1, x_2, x_3) + \lambda_i g_i(x_1, x_2, x_3),$$

$$i = 1, 2, 3$$
- b. Membuat turunan pertama pada semua variabel sebagai syarat perlu meminimumkan fungsi *lagrange* dalam kondisi stasioner
- i. $\frac{\partial F}{\partial x_1}(x_1, x_2, x_3, \lambda_i) = \frac{\partial f}{\partial x_1}(x_1, x_2, x_3) + \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_1}(x_1, x_2, x_3) = 0$
- ii. $\frac{\partial F}{\partial x_2}(x_1, x_2, x_3, \lambda_i) = \frac{\partial f}{\partial x_2}(x_1, x_2, x_3) + \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_2}(x_1, x_2, x_3) = 0$
- iii. $\frac{\partial F}{\partial x_3}(x_1, x_2, x_3, \lambda_i) = \frac{\partial f}{\partial x_3}(x_1, x_2, x_3) + \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_3}(x_1, x_2, x_3) = 0$
- iv. $\frac{\partial F}{\partial \lambda_i}(x_1, x_2, x_3, \lambda_i) = g_i(x_1, x_2, x_3) = 0, i = 0, 1, 2, 3$
- c. Memperoleh titik-titik kritis dengan menyelesaikan persamaan yang diperoleh dengan bantuan *software* Maple.
- d. Mencari nilai ekstrim dengan mensubstitusikan titik-titik kritis ke dalam persamaan nonlinear.
- e. Menentukan solusi optimal

HASIL DAN PEMBAHASAN

“Lanting Bumbu An-Nisa” memproduksi lanting dengan 4 varian rasa yaitu rasa bawang, keju, pedas manis, dan jagung. Pada pengumpulan data, telah diperoleh data biaya produksi perbulan lanting dari bulan Mei sampai Agustus 2017. Biaya produksi lanting diberikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

Tabel 1. Biaya produksi lanting rasa bawang

Bulan produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	538	3.223.300
Juni	684	4.181.400
Juli	645	3.864.400
Agustus	521	3.121.400

Tabel 2. Biaya produksi lanting rasa keju

Bulan produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	470	2.540.500
Juni	578	3.091.700
Juli	523	2.785.900
Agustus	417	2.349.400

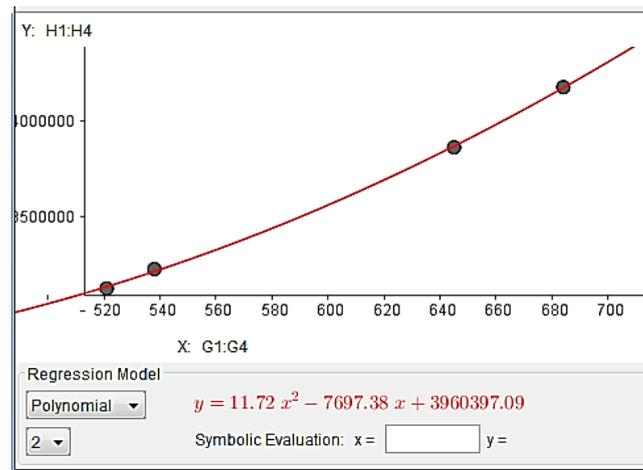
Tabel 3. Biaya produksi lanting rasa pedas manis

Bulan produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	324	1.949.700
Juni	567	2.924.500
Juli	599	3.141.500
Agustus	356	2.065.000

Tabel 4. Biaya produksi lanting rasa jagung

Bulan produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	363	2.333.400
Juni	456	2.705.600
Juli	354	2.281.700
Agustus	397	2.442.500

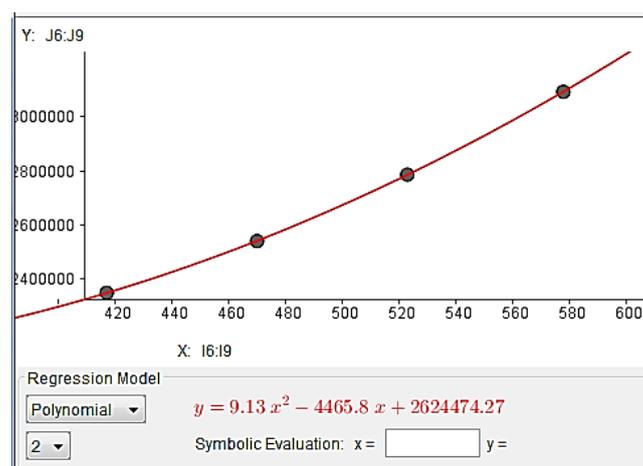
Sebelum melakukan perhitungan, data yang telah diperoleh terlebih dahulu dianalisis untuk mengetahui karakteristik data tersebut. Analisis yang dilakukan adalah analisis regresi. Dalam skripsi ini akan digunakan software GeoGebra. Hasil analisis yang dilakukan menggunakan software GeoGebra diberikan Gambar 1.



Gambar 1. Output regresi dari biaya produksi lanting rasa bawang pada bulan Mei sampai Agustus

Berdasarkan Gambar 1 didapatkan masalah regresinya berbentuk nonlinear, yaitu:

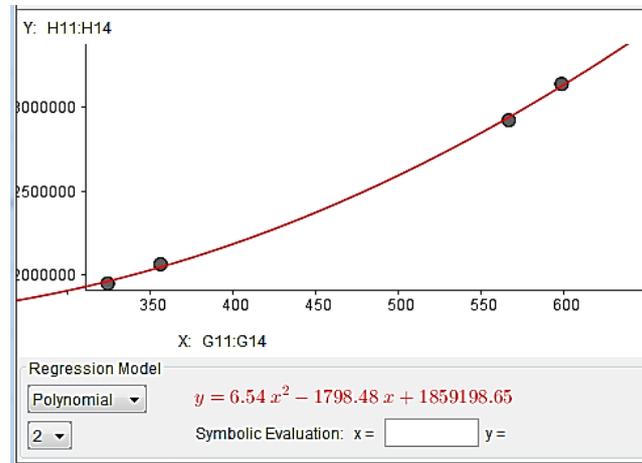
$$f(x) = 11,72x^2 - 7697,38x + 3960397,09$$



Gambar 2. Output regresi dari biaya produksi lanting rasa keju pada bulan Mei sampai Agustus

Berdasarkan Gambar 2 didapatkan masalah regresinya berbentuk nonlinear, yaitu

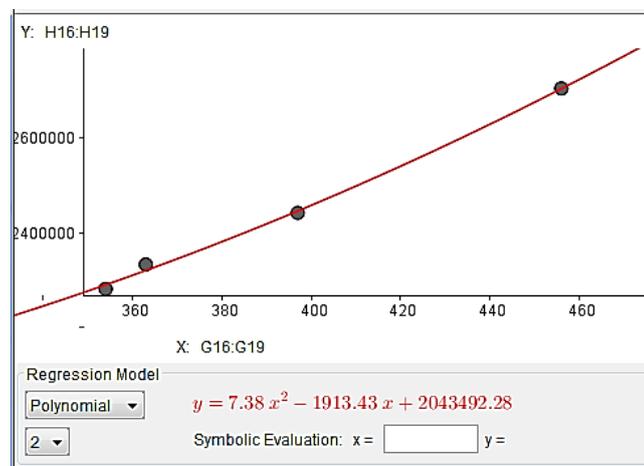
$$f(x) = 9,13x^2 - 4465,8x + 2624474,27$$



Gambar 3. Output regresi dari biaya produksi lanting rasa pedas manis pada bulan Mei sampai Agustus

Berdasarkan Gambar 3 didapatkan masalah regresinya berbentuk nonlinear, yaitu

$$f(x) = 6,54x^2 - 1798,48x + 1859198,65$$



Gambar 4. Output regresi dari biaya produksi lanting rasa jagung pada bulan Mei sampai Agustus

Berdasarkan Gambar 4 didapatkan masalah regresinya berbentuk nonlinear, yaitu

$$f(x) = 7,38x^2 - 1913,43x + 2043492,28$$

Selanjutnya membentuk model matematikanya:

1. Mengidentifikasi variabel keputusan
 - x_1 = jumlah produksi lanting rasa bawang
 - x_2 = jumlah produksi lanting rasa keju
 - x_3 = jumlah produksi lanting rasa bawang
 - x_4 = jumlah produksi lanting rasa bawang

2. Mengidentifikasi fungsi tujuan

Tujuan dalam masalah ini adalah mengusahakan agar biaya total menjadi minimum. Setelah dilakukan analisis regresi dengan *software* WinQsb pada data produksi lanting setiap varian rasanya, diperoleh biaya produksi totalnya adalah

$$\text{Biaya produksi} = [11,72x_1^2 - 7697,38x_1 + 3960397,09] + [9,13x_2^2 - 4465,8x_2 + 2624474,27] + [6,54x_3^2 - 1798,48x_3 + 1859198,65] + [7,38x_4^2 - 1913,43x_4 + 2043492,28] \quad (1)$$

3. Mengidentifikasi fungsi kendala dalam masalah

Pada bulan September industri Lanting Bumbu An-Nisa akan mendapat pesanan untuk menyediakan 2000 kemasan lanting untuk jumlah keseluruhan rasa lanting yang tersedia pada bulan tersebut. Berdasarkan data pada bulan Mei sampai Agustus, Lanting Bumbu An-Nisa akan menentukan jumlah produksi untuk setiap varian rasa agar biaya produksi total menjadi minimum.

Kendala permasalahan ini adalah bagaimana memenuhi pesanan sesuai dengan jumlah pesanan
Kendala

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2000 \quad (2a)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \quad (2b)$$

4. Penyelesaian masalah nonlinear menggunakan Separable Programming

Masalah P yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$f_1(x_1) = 11,72x_1^2 - 7697,38x_1 \quad (3a)$$

$$f_2(x_2) = 9,13x_2^2 - 4465,8x_2 \quad (3b)$$

$$f_3(x_3) = 6,54x_3^2 - 1798,48x_3 \quad (3c)$$

$$f_4(x_4) = 7,38x_4^2 - 1913,43x_4 + 10487562,29 \quad (3d)$$

dengan kendala

$$g_{11}(x_1) = x_1, \quad (4a)$$

$$g_{12}(x_2) = x_2 \quad (4b)$$

$$g_{13}(x_3) = x_3 \quad (4c)$$

$$g_{14}(x_4) = x_4 \quad (4d)$$

Selanjutnya kita akan menentukan titik kisi untuk membuat hampiran masalah P. Dipilih 5 titik kisi yaitu 0, 500, 1000, 1500, 2000, kemudian kita membentuk hampiran masalah P dinyatakan sebagai masalah AP sebagai berikut

$$\hat{f}_1(x_1) = f_1(x_{10}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta f_{1v}) \delta_{1v} \quad (5a)$$

$$\hat{f}_2(x_2) = f_2(x_{20}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta f_{2v}) \delta_{2v} \quad (5b)$$

$$\hat{f}_3(x_3) = f_3(x_{30}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta f_{3v}) \delta_{3v} \quad (5c)$$

$$\hat{f}_4(x_4) = f_4(x_{40}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta f_{4v}) \delta_{4v} \quad (5d)$$

Dengan kendala

$$\hat{g}_{11}(x_1) = g_{11}(x_{10}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta g_{1,1v}) \delta_{1v} \quad (6a)$$

$$\hat{g}_{12}(x_2) = g_{12}(x_{20}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta g_{1,2v}) \delta_{2v} \quad (6b)$$

$$\hat{g}_{13}(x_3) = g_{13}(x_{30}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta g_{1,3v}) \delta_{3v} \quad (6c)$$

$$\hat{g}_{14}(x_4) = g_{14}(x_{40}) + \sum_{v=1}^4 (\Delta g_{1,4v}) \delta_{4v} \quad (6d)$$

$$0 \leq \delta_{1v}, \delta_{2v}, \delta_{3v}, \delta_{4v} \leq 1 \text{ untuk } v = 1, 2, \dots, 4$$

diperoleh nilai-nilai x_j

$$x_1 = 0 + [500\delta_{11} + 500\delta_{12} + 500\delta_{13} + 500\delta_{14}] \quad (7a)$$

$$x_2 = 0 + [500\delta_{21} + 500\delta_{22} + 500\delta_{23} + 500\delta_{24}] \quad (7b)$$

$$x_3 = 0 + [500\delta_{31} + 500\delta_{32} + 500\delta_{33} + 500\delta_{34}] \quad (7c)$$

$$x_4 = 0 + [500\delta_{41} + 500\delta_{42} + 500\delta_{43} + 500\delta_{44}] \quad (7d)$$

Pemrograman linear dengan fungsi-fungsi linear pada masalah LAP sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_{j \in L} \sum_{v=1}^4 \hat{f}_j(x_{vj})\delta_{vj} \\ = [-1258383\delta_{11} + 2601279\delta_{12} + 8457310\delta_{13} + 21685034\delta_{14}] \\ + [-444605\delta_{21} + 2715165\delta_{22} + 7353600\delta_{23} + 17964240\delta_{24}] \\ + [171682\delta_{31} + 2575134\delta_{32} + 5967760\delta_{33} + 13848464\delta_{34}] \\ + [234349,5\delta_{41} + 2958106,5\delta_{42} + 6792285\delta_{43} + 15708399\delta_{44}] \end{aligned}$$

dengan kendala

$$\sum_{j \in L} \sum_{v=1}^4 \hat{g}_{ij}(x_{vj})\delta_{vj} = [500\delta_{11} + 500\delta_{12} + 500\delta_{13} + 500\delta_{14}] + [500\delta_{12} + 500\delta_{22} + 500\delta_{32} + 500\delta_{42}] + [500\delta_{13} + 500\delta_{23} + 500\delta_{33} + 500\delta_{43}] + [500\delta_{14} + 500\delta_{24} + 500\delta_{34} + 500\delta_{44}] = 2000$$

Kemudian kita menggunakan *software* WinQsb untuk mempermudah perhitungan.

20:13:02	05/11/2017 20:13:02 PM	05/11/2017 20:13:02 PM	05/11/2017 20:13:02 PM	05/11/2017 20:13:02 PM	05/11/2017 20:13:02 PM			
Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Reduced Cost	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)	
1	X1	1.0000	-918,690.0000	-918,690.0000	0	basic	-M	888,285.0000
2	X2	0	4,941,310.0000	0	5,860,000.0000	at bound	-918,690.0000	M
3	X3	0	10,801,310.0000	0	11,720,000.0000	at bound	-918,690.0000	M
4	X4	0	16,661,310.0000	0	17,580,000.0000	at bound	-918,690.0000	M
5	X5	1.0000	49,600.0000	49,600.0000	0	basic	-M	888,285.0000
6	X6	0	4,614,600.0000	0	4,565,000.0000	at bound	49,600.0000	M
7	X7	0	9,179,600.0000	0	9,130,000.0000	at bound	49,600.0000	M
8	X8	0	13,744,600.0000	0	13,695,000.0000	at bound	49,600.0000	M
9	X9	1.0000	735,760.0000	735,760.0000	0	basic	-M	888,285.0000
10	X10	0	4,005,760.0000	0	3,270,000.0000	at bound	735,760.0000	M
11	X11	0	7,275,760.0000	0	6,540,000.0000	at bound	735,760.0000	M
12	X12	0	10,545,760.0000	0	9,810,000.0000	at bound	735,760.0000	M
13	X13	1.0000	888,285.0000	888,285.0000	0	basic	735,760.0000	4,578,285.0000
14	X14	0	4,578,285.0000	0	3,690,000.0000	at bound	888,285.0000	M
15	X15	0	8,268,285.0000	0	7,380,000.0000	at bound	888,285.0000	M
16	X16	0	11,958,290.0000	0	11,070,000.0000	at bound	888,285.0000	M
Objective	Function	(Min.) =	754,955.0000					
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS	
1	C1	2,000.0000	=	2,000.0000	0	1,776.5700	1,500.0000	2,000.0000
2	C2	1.0000	<=	1.0000	0	-1,806,975.0000	1.0000	2.0000
3	C3	1.0000	<=	1.0000	0	-838,685.0000	1.0000	2.0000
4	C4	1.0000	<=	1.0000	0	-152,525.0000	1.0000	2.0000
5	C5	1.0000	<=	1.0000	0	0	1.0000	M

Gambar 5. Hasil output WinQsb

Hasil output (Gambar 5) dari *software* WinQsb diperoleh nilai $\delta_{11} = 1, \delta_{21} = 1, \delta_{31} = 1, \delta_{41} = 1$. Maka diperoleh nilai x_1, x_2, x_3, x_4 sebagai berikut.

$$x_1 = 0 + [500\delta_{11} + 500\delta_{12} + 500\delta_{13} + 500\delta_{14}] = 500(1) = 500$$

$$x_2 = 0 + [500\delta_{21} + 500\delta_{22} + 500\delta_{23} + 500\delta_{24}] = 500(1) = 500$$

$$x_3 = 0 + [500\delta_{31} + 500\delta_{32} + 400\delta_{33} + 500\delta_{34}] = 500(1) = 500$$

$$x_4 = 0 + [500\delta_{41} + 500\delta_{42} + 500\delta_{43} + 500\delta_{44}] = 500(1) = 500$$

sehingga diperoleh jumlah produksi lanting rasa bawang sebanyak 500 kemasan, lanting rasa keju sebanyak 500 kemasan, lanting rasa pedas manis sebanyak 500 kemasan, dan lanting rasa jagung sebanyak 500 kemasan, dengan biaya total yang diperoleh sebesar

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^4 f_j(x_j) &= 11,72(500)^2 - 7697,38(500) + 9,13(500)^2 - 4465,8(500) + 6,54(500)^2 \\ &\quad - 1798,48(500) + 7,38(500)^2 - 1913,43(500) + 10487562,29 \\ &= 11.242.517,3 \end{aligned}$$

5. Penyelesaian masalah nonlinear dengan Lagrange Multiplier

Membentuk fungsi baru Lagrange

$$\begin{aligned} L(x_1, x_2, x_3, x_4, \lambda) \\ = 11,72x_1^2 - 7697,38x_1 + 9,13x_2^2 - 4465,8x_2 + 6,54x_3^2 - 1798,48x_3 + 7,38x_4^2 \\ - 1913,43x_4 + 10487562,29 + \lambda(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - 2000) \end{aligned}$$

Menentukan syarat perlu untuk mendapatkan titik ekstrem

$$\frac{\partial L}{\partial x_1} = 11,72x_1 - 7697,38 + \lambda = 0 \leftrightarrow 11,72x_1 + \lambda = 7697,38$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_2} = 9,13x_2 - 4465,8 + \lambda = 0 \leftrightarrow 9,13x_2 + \lambda = 4465,8$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_3} = 6,54x_3 - 1798,48 + \lambda = 0 \leftrightarrow 6,54x_3 + \lambda = 1798,48$$

$$\frac{\partial L}{\partial x_4} = 7,38x_4 - 1913,43 + \lambda = 0 \leftrightarrow 7,38x_4 + \lambda = 1913,43$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - 2000 = 0 \leftrightarrow x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2000$$

Selanjutnya kita akan mencari nilai x_1, x_2, x_3, x_4 , dan dengan menggunakan bantuan *software* Maple. Diperoleh nilai $x_1 = 533,2; x_2 = 507,5; x_3 = 504,5; x_4 = 454,9; \lambda = 4800,363881$. Pada permasalahan ini membahas tentang banyaknya kemasan, sehingga hasil yang diperoleh dibulatkan menjadi satuan kemasan, maka diperoleh jumlah produksi lanting rasa bawang sebanyak 533 kemasan, lanting rasa keju sebanyak 507 kemasan, lanting rasa pedas manis sebanyak 505 kemasan, dan lanting rasa jagung sebanyak 455 kemasan. Biaya total yang diperoleh sebesar

$$\begin{aligned} L(x_1, x_2, x_3, x_4, \lambda) \\ = 11,72(533)^2 - 7697,38(533) + 9,13(507)^2 - 4465,8(507) + 6,54(505)^2 \\ - 1798,48(505) + 7,38(455)^2 - 1913,43(455) + 10487562,29 \\ + 4800,363881(533 + 507 + 505 + 455 - 2000) = 11.213.943,6 \end{aligned}$$

Tabel 5. Hasil perhitungan dengan pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier

		Metode	
		Separable Programming	Lagrange Multiplier
Jumlah Produksi	Lanting rasa bawang	500	533
Lanting	Lanting rasa keju	500	507
	Lanting rasa pedas manis	500	505
	Lanting rasa jagung	500	455
Biaya total yang diperoleh		11.242.517,3	11.213.943,6

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian dapat disimpulkan bahwa model untuk masalah pemrograman nonlinear untuk mengoptimalkan biaya produksi lanting di "Lanting Bumbu An-Nisa" dapat dituliskan sebagai berikut:

Meminimumkan

$$\sum_{j=1}^n f_j(x_j) = 11,72x_1^2 - 7697,38x_1 + 9,13x_2^2 - 4465,8x_2 + 6,54x_3^2 - 1798,48x_3 + 7,38x_4^2 - 1913,43x_4 + 10487562,29$$

dengan kendala

$$\sum_{j=1}^n f_j(x_j) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2000$$

$$0 \leq x_j \leq 2000$$

di mana variabel x_1 merupakan jumlah produksi lanting rasa bawang, x_2 merupakan jumlah produksi lanting rasa keju, x_3 merupakan jumlah produksi lanting rasa pedas manis, dan x_4 merupakan jumlah produksi lanting rasa jagung.

Berdasarkan hasil perhitungan pada pembahasan yang diselesaikan dengan menggunakan pendekatan Separable programming “Lanting Bumbu An-Nisa” harus memproduksi lanting sebanyak 500 kemasan untuk masing-masing keempat rasa sehingga memenuhi 2000 pesanan, dengan biaya sebesar Rp 11.242.517,3. Sedangkan untuk perhitungan menggunakan Lagrange Multiplier “Lanting Bumbu An-Nisa” harus memproduksi lanting lanting rasa bawang sebanyak 533 kemasan, lanting rasa keju sebanyak 507 kemasan, lanting rasa pedas manis sebanyak 505 kemasan, dan lanting rasa jagung sebanyak 455 kemasan. Biaya total yang diperoleh sebesar Rp 11.213.943,6. Analisa yang diperoleh menunjukkan bahwa penyelesaian model nonlinear dengan Lagrange Multiplier pada penentuan produksi lanting lebih optimal dibandingkan dengan pendekatan Separable Programming.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yaitu: hasil yang diperoleh dari penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode Lagrange Multiplier menghasilkan jumlah produksi yang lebih optimal, untuk itu penulis mengharapkan “Lanting Bumbu An-Nisa” dapat menggunakan metode Lagrange Multiplier dalam menentukan jumlah produksi untuk memenuhi pesanan sehingga dapat meminimalkan biaya produksinya. Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini masih terbatas pada penyelesaian optimum produksi nonlinear dengan Separable Programming dan Lagrange Multiplier. Bagi pembaca yang ingin mengembangkan lebih lanjut mengenai program nonlinear dapat mengkaji perbandingan penyelesaian pemrograman nonlinear dengan bentuk dan metode lain. Metode penyelesaian nonlinear yang lain seperti *Convex Programming*, *Nonconvex Programming*, *Quadratic Programming*, dan *The Karush-Kuhn-Tucker*.

DAFTAR PUSTAKA

- Marpaung, B. (2012). Perbandingan pendekatan separable programming dengan *The Kuhn-Tucker conditions* dalam pemecahan masalah nonlinear. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 1(2), 153-161.
- Mariani, D. (2003). Pemrograman terpisahkan (*separable programming*). Bogor: *Skripsi* : IPB.
- Kurniati, E. (2014). Menentukan proporsi saham portofolio dengan metode Lagrange. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM Sains Teknologi dan Kesehatan*, 4(1), 155-162.
- Febriani, L. (2015). Penyelesaian pemrograman nonlinear dengan pendekatan *separable programming* untuk produksi Bakpia Eny. *Skripsi*: UNY.
- Ridwan, M. (2007). Optimasi bersyarat dengan menggunakan multiplier Lagrange dan aplikasinya pada berbagai kasus dalam bidang ekonomi Semarang. *Skripsi* : Universitas Negeri Semarang.
- Muhammad, C.H., Dwijanto, & Abidin, Z. (2013). Optimalisasi model transshipment di PT. Primatexco menggunakan program solver. *Unnes Journal of Mathematics*, 2(1), 64-69
- Niederhoff, J. (2007). Using separable programming to solve the multi-product multiple ex-ante constraint newsvendor problem and extensions. *Europe Journal of Operation Research*, 176, 941-955.
- Nurchayani, R. (2014). Penyelesaian model nonlinear menggunakan *separable programming* pada portofolio optimal. *Skripsi* : UNY.
- Sasongko, A., Dwijanto & Arifudin, R. (2012). Optimalisasi masalah transportasi solver di bagian distribusi frozen vedgeentaabnleprogram. *Unnes Journal of Mathematics*. 1(1), 40-47
- Segal, U. (1994). A sufficient condition for additively separable function. *Jurnal of Mathematical Economics*, 23, 295-303.

- Syaripuddin. (2010). Aplikasi metode Lagrange pada fungsi produksi Cobb-Douglass. *Jurnal Eksponensial*, 1(2), 22-25.
- Utami, Y. E. W. (2015). Efektivitas penyelesaian model nonlinear menggunakan pendekatan quadratic programming dan separable programming untuk optimasi biaya produksi pada industri Bakpia 716. *Thesis*, UNY.

Pemodelan dan Peramalan Runtun Waktu Nonlinier dengan Metode Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR)

Ratih Permatasari*, Scolastika Mariani, Sugiman

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt.1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229
*E-mail: ratihpermata@hotmail.com

Diterima 5 Januari 2022

Disetujui 2 Maret 2022

Dipublikasikan 28 April 2022

Abstrak

Model nonlinier merupakan salah satu model peramalan yang sering digunakan. Data return saham yang dijadikan kasus dalam penelitian ini adalah harga saham bulanan Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK). Untuk model runtun waktu nonlinier salah satu metode yang digunakan adalah Smooth Transition Autoregressive (STAR). Pemilihan fungsi transisi $G(s_t, \gamma, c)$ diperoleh dari hasil uji nonlinieritas model STAR. Bentuk fungsi transisi yang tepat dapat ditentukan melalui uji Lagrange Multiplier tipe tiga (LM_3). Fungsi transisi yang diperoleh adalah fungsi eksponensial maka metode yang digunakan adalah Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR). Hasil penelitian dengan menggunakan program Eviews dan R menunjukkan model ESTAR(1,1). Model terbaik yang dihasilkan memiliki nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE) yang cukup kecil yaitu 1,713772% dan 1,359567%.

Kata kunci: Autoregressive, serial waktu, nonlinier, ESTAR, MAPE

Abstract

Nonlinear model is the one of frequently used forecasting model. The stock return data case which used by this research is monthly stock price of Bumi Serpong Damai Tbk. (BSD, JK). One of the method of nonlinear time series model is Smooth Transition Autogressive (STAR). The selection of transition function $G(s_t, \gamma, c)$ obtained from nonlinearity test result of STAR model. The exact of transition function can be determined by the three type of Lagrange Multipier (LM_3). The transition function obatined is the exponential function then the method used is Exponential Smooth Transisiom Autogressive (ESTAR). The results of the study by using the Eviews and R programs show the ESTAR model (1,1). The best produce model has a small Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value that is 1,7132772% and 1,359567%.

Key words: *Autogressiv, time series, nonlinearity, ESTAR, MAPE*

How to Cite:

Permatasari, R., Mariani, S., & Sugiman. (2018). Pemodelan dan peramalan runtun waktu nonlinier dengan metode exponential smooth transition autoregressive (ESTAR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Science.*, 45(1), 20-29

PENDAHULUAN

Peramalan merupakan bagian vital bagi setiap organisasi bisnis dan untuk setiap pengambilan keputusan manajemen yang sangat signifikan (Sariani & Djie, 2013). Pada dasarnya terdapat dua pendekatan untuk melakukan peramalan yaitu pendekatan kualitatif dan pendekatan kuantitatif. Metode peramalan kualitatif digunakan ketika data historis tidak tersedia. Metode peramalan kuantitatif dapat dibagi menjadi dua tipe yaitu metode regresi (*causal*) dan runtun waktu (*time series*). Peramalan runtun waktu merupakan metode kuantitatif untuk pendugaan berdasarkan data masa lalu dari suatu variabel yang telah dikumpulkan secara teratur. Analisis *time series* terdiri dari metode untuk menganalisis data *time series* dengan mengambil parameter data statistik dan karakteristik lain dari data untuk memprediksi nilai masa depan berdasarkan nilai-nilai sebelumnya yang diamati (Phumchusri & Udom, 2014).

Dalam analisis runtun waktu, nilai data masa lalu saja yang berpengaruh. Proses yang terjadi dinamakan proses autoregresif, model autoregresif untuk proses autoregresif dapat disusun dengan metode Box-Jenkins atau sering disebut dengan ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Safitri *et al.* (2017) membandingkan peramalan *Exponential Smoothing Holt-Winters* dan ARIMA yang menghasilkan metode *Exponential Smoothing Holt-Winters* lebih tepat digunakan dibandingkan metode ARIMA. Penelitian lain menunjukkan bahwa model GARCH merupakan model terbaik jika dibandingkan dengan model ARCH (Sunarti *et al.*, 2016) Sementara pada peramalan menggunakan model GSARIMA lebih baik digunakan untuk peramalan data PUAB di Jakarta (Wulandari *et al.*, 2017). Model yang dihasilkan dalam penelitian-penelitian tersebut adalah model linier. Sementara tidak semua runtun waktu finansial adalah linier (Tsay, 2005). Banyak data runtun waktu seperti data-data finansial dan perekonomian cenderung nonlinier sehingga kurang sesuai jika digunakan metode Box-Jenkins (ARIMA) oleh karena itu, diperlukan model baru yang nonlinier terhadap data tersebut.

Terdapat beberapa macam model yang nonlinier, diantaranya *Threshold Autoregressive* (TAR), *Smooth Transition Autoregressive* (STAR), dan *Self Exciting Threshold Autoregressive* (SETAR). Sejak adanya artikel dari Terasvirta dan Anderson (1992) disitasi oleh Van Dijk (2002) model STAR menjadi pemodelan nonlinier yang populer dalam terapan bidang ekonomi modern. Model STAR terbagi menjadi dua model, yaitu model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dan *Exponential Smooth Transition Autoregressive* (ESTAR).

Buncic (2008) menerapkan model ESTAR pada *bilateral exchange rate* dan menunjukkan bahwa penyesuaian dari *exchange rates* dapat diramalkan berdasarkan model nonlinier STAR. Penelitian lain pada real exchange rate di Algeria menyimpulkan bahwa model STAR dapat digunakan untuk meramalkan model nonlinier (Mohammed *et al.*, 2015).

Penelitian Tayyab *et al.* (2012) menunjukkan bahwa model ESTAR merupakan model yang terbaik untuk *real exchange rate* tersebut. Model *real exchange rate* lain ditemukan pada pinggiran Afrika Selatan yang menyebutkan bahwa model ESTAR merupakan model terbaik yang digunakan pada penelitian (Aye *et al.*, 2013). Berdasarkan penjelasan tersebut perlu dilakukan analisis yang difokuskan pada pemodelan runtun waktu nonlinier menggunakan metode ESTAR untuk meramalkan suatu data runtun waktu (*time series*) nonlinier menggunakan program Eviews dan R. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan data runtun waktu (*time series*) nonlinier menggunakan metode ESTAR dan meramalkan data runtun waktu nonlinier menggunakan metode ESTAR. 3). Mengetahui program yang lebih akurat antara program paket Eviews 9 dan R untuk meramalkan data runtun waktu nonlinier.

Peramalan (Forecasting)

Peramalan adalah kegiatan untuk memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Dalam usaha mengetahui atau melihat perkembangan di masa depan, peramalan dibutuhkan untuk menentukan kapan suatu peristiwa akan terjadi atau suatu kebutuhan akan timbul, sehingga dapat dipersiapkan kebijakan atau tindakan-tindakan yang perlu dilakukan. Peramalan merupakan bagian integral dari kegiatan pengambilan keputusan manajemen (Nasution, 2011).

Tujuan dan fungsi peramalan menurut Heizer dan Render (2006) yaitu untuk mengkaji kebijakan perusahaan yang berlaku saat ini dan dimasa lalu serta melihat sejauh mana pengaruh di masa datang. Permalan diperlukan karena adanya *Time Lag* atau *Delay* anatar saat suatu kebijakan perusahaan ditetapkan dengan saat impementasi. Permalan merupakan dasar penyusun bisnis pada suatu perusahaan sehingga dapat meningkatkan efektifitas suatu rencana bisnis.

Ketetapan metode peramalan dapat diketahui dengan melakukan serangkaian perhitungan. Ukuran-ukuran yang digunakan adalah ukuran statistik standar yang terdiri dari *Mean Error (ME)*, *Mean Absolut Error (MAE)*, *Sum Squared Error (SSE)*, *Mean Squared Error (MSE)*, dan *Standar Deviation of Error (SDE)*. Kemudian kedua adalah ukuran relatif diantaranya yaitu *Precent Tage Error*, *Mean Precent Tage Error*, dan *Mean Absolut Precent Tage Error*.

Runtun Waktu dan Stasioneritas

Di dalam analisis runtun waktu, asumsi stasioneritas dari data merupakan sifat yang penting. Selain plot data, plot fungsi autokorelasi (*autocorelaction functional/ACF*) dan plot fungsi autokorelasi parsial (*partial autocorrelation functional/PACF*), kestasioneran juga dapat dilihat menggunakan uji *Augmented Dickey Fuller (ADF)*.

Model stasioner adalah model yang semua sifat statistiknya tidak berubah oleh pergeseran waktu sehingga untuk keperluan peramalan diharapkan data bersifat stasioner karena sifat historis

data di masa lampau tetap ada dan digunakan pada peramalan periode mendatang. Kestasioneran data dapat diketahui menggunakan uji ADF. Untuk menggambarkan uji statistik ADF, berkaitan dengan autoregresif, dengan model AR sederhana;

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

Menurut Tsay (2005), hipotesis stasioneritas dapat dituliskan:

$H_0: \phi \geq 1$ (data runtun waktu tidak stasioner)

$H_1: \phi < 1$ (data runtun waktu stasioner).

Statistik uji ADF dapat dituliskan:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}}{sd(\hat{\phi})}$$

dengan $\hat{\phi}$ adalah koefisien *autoregressive* (AR), $sd(\hat{\phi})$ adalah simpangan baku dari taksiran koefisien AR. Uji tersebut dapat diterapkan pada model AR(p).

Daerah kritis bahwa H_0 ditolak jika $t_{hitung} > t_{\alpha, n-p}$ atau $p - value < \alpha$ dengan α adalah tingkat signifikansi. Jika data belum stasioner, maka perlu dihitung log *return* dari data.

ACF dan PACF

Beberapa konsep yang berkaitan dengan analisis *time series* adalah *Autocorrelation Function (ACF)* atau fungsi autokorelasi dan *Partial Autocorrelation Function (PACF)* atau fungsi autokorelasi parsial. Autokorelasi merupakan korelasi atau hubungan antar data pengamatan suatu data *time series*.

Dalam model *time series*, alat utama untuk mengidentifikasi model data yang akan diramalkan dengan menggunakan ACF/*Autocorrelation Function*/ Fungsi Autokorelasi. Koefisien autokorelasi (ACF) runtun waktu dengan selisih waktu (lag) 0,1,2 periode atau lebih, autokorelasi menghitung dan membuat plot nilai autokorelasi dari suatu data *time series*. Untuk menghitung koefisien korelasi antara dua variabel X dan Y yang dinotasikan sebagai r_{xy} untuk n pasangan observasi $(X_i, Y_i), i = 1, 2, 3, \dots, n$ digunakan rumus sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{\sqrt{Cov_{xx}Cov_{yy}}} = \frac{Cov_{xy}}{S_x S_y}$$

dengan: $S_x = \sqrt{Cov_{xx}} = \sqrt{Var_x}$ dan $S_y = \sqrt{Cov_{yy}} = \sqrt{Var_y}$ adalah deviasi standar X dan Y .

Menurut Makridakis *et al.*, (1999: 345), autokorelasi parsial digunakan dalam mengukur tingkat (*association*) antara Z_t dan Z_{t+k} apabila adanya pengaruh *time lag* 1,2,3, ..., dan seterusnya sampai $k - 1$ dianggap terpisah. Fungsi Autokorelasi parsial (PACF) adalah himpunan autokorelasi parsial untuk berbagai lag k yang ditulis dengan $(a_{kk}; k = 1, 2, 3, \dots, k)$ yakni himpunan autokorelasi parsial untuk berbagai lag k . Fungsi autokorelasi parsial digunakan untuk mengukur tingkat keeratan antara X_t dan X_{t-k} , apabila pengaruh dari selisih waktu 1, 2, 3, ..., $k - 1$ dianggap terpisah, didefinisikan :

$$a_{kk} = \frac{\left| \begin{array}{c} \rho^* \\ \sim k \end{array} \right|}{\left| \begin{array}{c} \rho \\ \sim k \end{array} \right|}$$

Dengan: $\begin{array}{c} \rho \\ \sim k \end{array}$ adalah matrik autokorelasi $k \times k$.

Model AR(p)

Jika *series* stasioner adalah fungsi linier dari nilai-nilai yang berurutan atau nilai sekarang *series* merupakan rata-rata tertimbang nilai-nilai lampainya bersama dengan kesalahan sekarang, maka persamaan itu dinamakan model *autoregressive*. Model AR (*Autoregressive*) adalah suatu model yang menggambarkan bahwa variabel dependen dipengaruhi oleh variabel dependen itu sendiri pada periode-periode atau waktu-waktu sebelumnya (Sugiarto dan Harijono, 2000:17). Bentuk umum suatu proses *Autoregressive* tingkat AR (p) menurut Soejati (1987) adalah

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t$$

Estimasi dari parameter model dapat diperoleh dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square method*), yaitu dengan meminimumkan jumlah kuadrat residual (*sum squared error*) berikut:

$$\sum a_t^2 = SSE = \sum_{t=1}^n (Z_t - \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p})^2$$

Dengan pengujian hipotesis:

$H_0: \phi_j = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1: \phi_j \neq 1$ (parameter signifikan). $j=1, 2, \dots, p$

Taraf signifikansi: α

Statistik Uji : $t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}}{se(\hat{\phi})}$

Dengan $se(\hat{\phi})$ adalah standar error dari $\hat{\phi}$.

Daerah kritis bahwa H_0 ditolak jika $t_{hitung} > t_{\frac{\alpha}{2}(n-p-1)}$ atau $p - value < \alpha$ dengan α adalah tingkat signifikansi.

Pemilihan Model Terbaik

Model terbaik dapat dipilih berdasarkan nilai Akaike Info Criterion (AIC) (Wei: 1993), AIC dituliskan sebagai berikut:

$$AIC(M) = n \ln \hat{\sigma}_a^2 + 2M \quad (2.25)$$

dengan:

M = Jumlah parameter pada model

$\hat{\sigma}_a^2$ = Estimator maximum likelihood bagi σ_a^2

n = jumlah observasi

Kriteria AIC untuk memilih model yang terbaik, jika nilai AIC (M) minimum.

Model Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR)

Spesifikasi model *Exponential Smooth Transition Autoregressive* (ESTAR) adalah sebagai berikut:

$$Z_t = \phi_1' X_t (1 - (1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)) + \phi_2' X_t (1 - (1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)) + \varepsilon_t$$

Estimasi Pemilihan Model

Estimasi parameter pada metode NLS ditentukan dengan meminimumkan jumlah kuadrat residu yang didefinisikan sebagai:

$$\hat{\theta} = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} \sum_{t=1}^T (Z_t - F(X_t; \theta))^2$$

dengan

$$F(X_t; \theta) = \phi_1' X_t (1 - G(s_t, \gamma, c)) + \phi_2' X_t G(s_t, \gamma, c)$$

Proses pencarian nilai parameter pada metode NLS ini dilakukan dengan menggunakan metode numerik yaitu metode *Gauss-Newton* untuk melakukan estimasi secara iterasi.

Metode *Gauss-Newton* merupakan suatu algoritma untuk meminimumkan jumlah kuadrat residu. Konsep yang mendasari teknik tersebut adalah uraian deret *Taylor* yang digunakan untuk menyatakan persamaan nonlinear semula dalam suatu bentuk pendekatan yang linier. Dengan demikian, teori NLS dapat digunakan untuk memperoleh estimator-estimator baru dari parameter yang bergerak ke arah yang meminimumkan jumlah kuadrat residu tersebut.

Evaluasi Peramalan

Menurut Van Dijk (1999), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan ukuran yang digunakan untuk evaluasi hasil peramalan. Semakin kecil nilai MAPE maka peramalan yang dihasilkan semakin baik.

MAPE dirumuskan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \left(\frac{P_t - \hat{P}_t}{P_t} \right) \times 100\% \right|$$

dengan:

P_t : data periode ke-t,

\hat{P}_t : peramalan periode ke-t,

n : banyaknya data yang diramalkan.

Return

Menurut Tsay (2005), log *return* didefinisikan seperti berikut:

$$r_t = \ln \frac{Z_t}{Z_{t-1}}$$

dengan:

r_t : nilai data log *return*.

Z_t : data runtun waktu nonlinier pada waktu t.

Z_{t-1} : data runtun waktu nonlinier pada waktu t-1.

METODE

Penelitian ini termasuk dalam penelitian runtun waktu nonlinier. Data yang digunakan adalah data sekunder tentang data harga saham bulanan Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) periode 01 Juli 2008 sampai 01 Desember 2016, diambil dari alamat web <http://finance.yahoo.com>. Analisis data menggunakan software Microsoft Excel, Eviews dan Program R.

Langkah-langkah analisis yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut : (1) Menghitung nilai return dari data runtun waktu nonlinier tersebut. (2) Pengujian stasioneritas data return. (3) Identifikasi model runtun waktu stasioner. (4) Melakukan estimasi parameter. (5) Pengujian model terbaik AR. (6) Melakukan uji autokorelasi dan homokedastisitas residual AR(p) yang diperoleh. Orde model AR yang terbentuk akan digunakan dalam pengujian nonlinieritas pada model STAR. (7) Menentukan fungsi transisi. (8) Estimasi model ESTAR. (9) Pemodelan ESTAR. (10) Meramalkan nilai *return* menggunakan model ESTAR untuk mencari nilai ramalan data runtun waktu nonlinier.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data harga saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) tidak stasioner. Pada data nilai return data sudah stasioner, karena rata-rata dari plot return terlihat konstan. Indikasi bahwa data sudah stasioner juga dapat ditunjukkan pada plot ACF dan PACF. Lot ACF dan PACF pada lag pertama turun secara cepat mendekati nol, sehingga data sudah stasioner.

Pengujian Stasioneritas

Hipotesis uji ADF adalah

$H_0: \phi \geq 1$ (data runtun waktu tidak stasioner)

$H_1: \phi < 1$ (data runtun waktu stasioner).

Nilai statistik uji ADF yang dihasilkan adalah -14,26836. Dengan menggunakan α sebesar 5% nilai kritis ADF = -2,890623. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai statistik uji ADF lebih kecil dari nilai kritis ADF yang artinya menolak H_0 yaitu tidak terdapat akar unit atau data stasioner.

Identifikasi Model

Dalam tahap identifikasi model ini digunakan fungsi autokorelasi / *Autocorrelation Function* (ACF) dan fungsi autokorelasi parsial / *Partial Autocorrelation Function* (PACF). Pada lag pertama ACF dan PACF keluar dari interval konfidensi maka model yang akan terbentuk yaitu AR(1), MA(1) dan ARMA(1,1).

Estimasi dan Pengujian Parameter Model

Hasil estimasi terhadap parameter model AR(1), MA(1) dan ARMA(1,1) dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dan *Yulwelker* dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Estimasi Parameter Model AR(1), MA(1) dan ARMA(1,1)

Model	koefisien	t_hit	Probabilitas	Uji Sig
AR(1)	-0,313	-3,296	0,0014	Sig
MA(1)	-0,239	-2,465	0,0154	Sig
ARMA	-0,520	-2,013	0,0468	Sig
(1,1)	0,227	0,770	0,4427	Tdk Sig

Pengujian Parameter Model AR(1)

Pendugaan parameter model AR(1) dengan metode OLS diperoleh model $Z_t = -0,313099Z_{t-1}$. Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter dari model AR(1) signifikan atau tidak.

Hipotesis yang dilakukan sebagai berikut:

$H_0: \phi_1 = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1: \phi_1 \neq 0$ (parameter signifikan)

Berdasarkan informasi dari sampel diperoleh $|t_{hitung}|$ adalah 3,296078 dengan menggunakan α sebesar 5% nilai t-tabel ($t_{(0,025;102)} = 2,000$, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai $|t_{hitung}|$ lebih besar dari nilai t-tabel yang artinya menolak H_0 yaitu parameter signifikan.

Pengujian Parameter Model MA(1)

Pendugaan parameter model MA(1) dengan metode OLS diperoleh model $Z_t = -0,239436Z_{t-1}$. Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter dari model AR(1) signifikan atau tidak.

Hipotesis yang dilakukan sebagai berikut:

$H_0: \phi_1 = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1: \phi_1 \neq 0$ (parameter signifikan)

Berdasarkan informasi dari sampel diperoleh $|t_{hitung}|$ adalah 2,465704 dengan menggunakan α sebesar 5% nilai t-tabel ($t_{(0,025;102)} = 2,000$, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai $|t_{hitung}|$ lebih besar dari nilai t-tabel yang artinya menolak H_0 yaitu parameter signifikan.

Pengujian Parameter Model ARMA(1,1)

Pendugaan parameter model ARMA(1) dengan metode OLS diperoleh model $Z_t = -0,520241Z_{t-1} + a_t + 0,227175a_{t-1}$. Pengujian parameter dilakukan untuk mengetahui apakah parameter dari model ARMA(1) signifikan atau tidak, pengujian dilakukan satu-satu yaitu pengujian untuk AR(1) dan pengujian MA(1).

Hipotesis yang dilakukan untuk pengujian AR(1) sebagai berikut:

$H_0: \phi_1 = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1: \phi_1 \neq 0$ (parameter signifikan)

Berdasarkan informasi dari sampel diperoleh $|t_{hitung}|$ adalah 2,013094 dengan menggunakan α sebesar 5% nilai t-tabel ($t_{(0,025;102)} = 2,000$, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai $|t_{hitung}|$ lebih besar dari nilai t-tabel yang artinya menolak H_0 yaitu parameter signifikan.

Hipotesis yang dilakukan untuk pengujian MA(1) sebagai berikut:

$H_0: \phi_1 = 0$ (parameter tidak signifikan)

$H_1: \phi_1 \neq 0$ (parameter signifikan)

Berdasarkan informasi dari sampel diperoleh $|t_{hitung}|$ adalah 0,770744 dengan menggunakan α sebesar 5% nilai t-tabel ($t_{(0,025;102)} = 2,000$, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai $|t_{hitung}|$ lebih kecil dari nilai t-tabel yang artinya terima H_0 yaitu parameter tidak signifikan.

Pemilihan Model Terbaik

Pada penelitian ini kriteria untuk menentukan model terbaik yaitu parameter-parameternya signifikan dan mempunyai AIC terkecil, semakin kecil nilai AIC model semakin baik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Parameter Model dan Nilai AIC

Model	Uji Signifikansi	AIC
AR(1)	Signifikan	0,492766
MA(1)	Signifikan	0,517627
ARMA(1,1)	Tidak Signifikan	0,504692

Pada Tabel 2 model AR(1) adalah model terbaik untuk signifikansi, parameter model signifikan dan memiliki nilai AIC paling kecil yaitu 0,492766.

Uji Autokorelasi Residual

Pada penelitian ini untuk mengetahui ada tidaknya autokorelasi pada residual dapat diuji menggunakan uji *Breusch-Godfrey*. Hipotesis uji *Breusch-Godfrey* sebagai berikut:

H_0 : tidak terdapat autokorelasi di dalam residu model AR(1)

H_1 : terdapat autokorelasi di dalam residu model AR(1)

Nilai statistik uji *Breusch-Godfrey* pada yaitu 0,832825 dengan α sebesar 5% nilai tabel Chi-Square ($X^2_{(0,05;1)} = 3,841$), dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai statistik uji *Breusch-Godfrey* lebih kecil dari nilai tabel Chi-Square yang artinya terima H_0 yaitu tidak terdapat autokorelasi di dalam residual model.

Uji Homoskedastisitas

Pada penelitian ini untuk mengetahui ada tidaknya asumsi homokedastisitas pada residual dapat diuji menggunakan *Lagrange Multiplier* (LM). Hipotesis LM test sebagai berikut :

H_0 : $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_k = 0$ (tidak ada efek ARCH sampai lag-k)

H_1 : paling sedikit terdapat satu $\alpha_j \neq 0$ (ada efek ARCH sampai lag-k)

Nilai statistik uji LM test yaitu 0,123884 dengan α sebesar 5% nilai tabel Chi-Square ($X^2_{(0,05;1)} = 3,841$), dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai statistik uji lebih kecil dari nilai tabel Chi-Square yang artinya terima H_0 yaitu tidak ada efek ARCH.

Pemodelan Awal Smooth Transition Autoregressive (STAR)

Setelah dipilih model terbaik dan dilakukan uji asumsi, selanjutnya ditentukan model awal STAR. Orde model STAR diperoleh berdasarkan orde model AR(1). Model yang terbentuk adalah AR dengan orde $p=1$ sehingga variabel transisi dalam model STAR adalah $s_t = Z_{t-1}$. Model STAR(1,1) dapat ditulis sebagai berikut:

$$Z_t = (\phi_{1,0} + \phi_{1,1}Z_{t-1})(1 - G(s_t, \gamma, c)) + (\phi_{2,0} + \phi_{2,1}Z_{t-1})G(s_t, \gamma, c) + \varepsilon_t \quad \text{dengan}$$

$G(s_t, \gamma, c)$ adalah fungsi transisi.

Uji Nonlinieritas

Asumsi nonlinieritas dapat diuji menggunakan *Lagrange Multiplier* (LM). Pada perhitungan LM3 diperlukan model regresi bantu, model regresi bantu diestimasi menggunakan metode *Ordinary Least Square* (OLS) dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Estimasi Model Regresi Bantu dengan Variabel Transisi $s_t = Z_{t-1}$

Parameter	Koefisien	t_hitung	Probabilitas
Intercept	-0,050089	-7,658309	0,0000
$\beta_{0,1}$	0,002565	0,049242	0,9608
$\beta_{0,2}$	-0,302586	-7,349835	0,0000
$\beta_{1,1}$	-0,058069	-0,586003	0,5593
$\beta_{1,2}$	-0,036704	-0,394414	0,6942
$\beta_{2,1}$	0,154016	0,781929	0,4363
$\beta_{2,2}$	0,157834	1,097747	0,2752
$\beta_{3,1}$	-0,060803	-0,784159	0,4350
$\beta_{3,2}$	-0,99581	-0,661202	0,5102
Sum Squared Resid			0,303126

Pada Tabel 3 didapat model regresi bantu sebagai berikut:

$$Z_t = -0,050089 + 0,002565Z_{t-1} - 0,302586x_{1t} - 0,058069Z_{t-1}s_t - 0,036704x_{1t}s_t + 0,154016Z_{t-1}s_t^2 + 0,157834x_{1t}s_t^2 - 0,060803Z_{t-1}s_t^3 - 0,99581x_{1t}s_t^3$$

Hipotesis pengujian nonlinieritas dapat ditulis sebagai berikut:

H_0 : $\phi_{1,j} = \phi_{2,j}$ (model linier)

H_1 : $\phi_{1,j} \neq \phi_{2,j}$ (model nonlinier) dengan $j=0,1$

$$LM_3 = T \frac{(SSR_0 - SSR_1)}{SSR_0} = 102 \frac{(9,480013 - 0,303126)}{9,480013} = 98,73852$$

Berdasarkan perhitungan LM_3 diperoleh statistik uji untuk $LM_3 = 98,73852$ dengan α sebesar 5% nilai tabel Chi-Square ($X^2_{(0,05;3)} = 7,81$), dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai statistik uji LM_3 lebih besar dari nilai tabel Chi-Square yang artinya tolak H_0 yaitu model nonlinier.

Pengujian Fungsi Transisi

Pemilihan fungsi transisi dilakukan dengan cara menguji signifikansi terhadap vektor β_3 yang terdiri dari $\begin{vmatrix} \beta_{3,1} \\ \beta_{3,2} \end{vmatrix}$.

Hipotesisnya sebagai berikut:

$H_0: \beta'_3 = 0$ (fungsi transisi eksponensial)

$H_1: \beta'_3 \neq 0$ (fungsi transisi logistik)

Pada tabel 3 nilai probabilitas $\beta_{3,1}$ dan $\beta_{3,2}$ yaitu 0,4350 dan 0,5102 dengan α sebesar 5%, dari hasil tersebut nilai probabilitas $\beta_{3,1}$ dan $\beta_{3,2}$ lebih besar dari α yang berarti terima H_0 yaitu fungsi transisi eksponensial. Model awal ESTAR (1,1) yaitu:

$$Z_t = (\phi_{1,0} + \phi_{1,1}Z_{t-1})(1 - (1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)) + (\phi_{2,0} + \phi_{2,1}Z_{t-1})(1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)) + \varepsilon_t$$

Estimasi Parameter Model ESTAR (1,1)

Hasil estimasi model ESTAR(1,1) dengan menggunakan metode *Nonlinier Least Square* (NLS) didekati dengan iterasi *Gauss Newton* pada program Eviews dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Estimasi Model ESTAR(1,1) Program Eviews

Parameter	Koefisien	Statistik Uji	Probabilitas
$\phi_{1,0}$	0,047026	1361,836	0,000000
$\phi_{1,1}$	-0,519782	-30289,96	0,000000
$\phi_{2,0}$	0,046511	926,8092	0,000000
$\phi_{2,1}$	-0,519549	-20704,72	0,000000
γ	-7,190263	-26,58151	0,000000
c	0,266263	13,66663	0,000000

Pada Tabel 4 menunjukkan nilai estimasi dari parameter $\phi_{1,0}$, $\phi_{1,1}$, $\phi_{2,0}$, $\phi_{2,1}$, γ dan c. Parameter-parameter tersebut signifikan karena nilai probabilitas dari masing-masing parameter kurang dari $\alpha = 5\%$.

Hasil estimasi model ESTAR(1,1) dengan menggunakan metode *Nonlinier Least Square* (NLS) didekati dengan iterasi *Gauss Newton* pada program R dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Estimasi Model ESTAR(1,1) Program R

Parameter	Koefisien	Statistik Uji	Probabilitas
$\phi_{1,0}$	-11,634686	-4,276	0,00001899
$\phi_{1,1}$	-94,346107	-4,390	0,00001131
$\phi_{2,0}$	11,683851	4,291	0,00001776
$\phi_{2,1}$	94,041577	4,377	0,00001204
γ	200,00	5,219	0,00000018
c	-0,129525	-52,517	<2e-16

Pada Tabel 5 menunjukkan nilai estimasi dari parameter $\phi_{1,0}$, $\phi_{1,1}$, $\phi_{2,0}$, $\phi_{2,1}$, γ dan c. Parameter-parameter tersebut signifikan karena nilai probabilitas dari masing-masing parameter kurang dari $\alpha = 5\%$.

Model ESTAR (1,1)

Model ESTAR (1,1) yang diperoleh berdasarkan estimasi parameter pada program Eviews:

$$Z_t = (0,047026 - 0,519782Z_{t-1}) \left(1 - (1 - \exp(7,190263(Z_{t-1} - 0,266263)^2)) \right) +$$

$$(0,046511-0,519549Z_{t-1}) \left((1-\exp(7,190263(Z_{t-1}-0,266263)^2)) \right)$$

Model ESTAR (1,1) yang diperoleh berdasarkan estimasi parameter pada program Eviews:

$$Z_t = (-11,634686-94,346107Z_{t-1}) \left(1-(1-\exp(-200(Z_{t-1}+0,129525)^2)) \right) +$$

$$(11,683851+94,041577Z_{t-1}) \left((1-\exp(-200(Z_{t-1}+0,129525)^2)) \right)$$

dengan Z_t adalah nilai return pada waktu ke-t.

Peramalan dan Evaluasi Hasil Peramalan

Ramalan nilai return untuk satu periode kedepan untuk program Eviews yaitu:

$$\hat{Z}_{t+1|t} = (0,047026-0,159782Z_{t-1}) \left(1-(1-\exp(7,190263(Z_{t-1}-0,266263)^2)) \right) +$$

$$(0,046511-0,519549Z_{t-1}) \left((1-\exp(7,190263(Z_{t-1}-0,266263)^2)) \right)$$

dan untuk ramalan nilai return untuk satu periode kedepan untuk program R yaitu:

$$\hat{Z}_{t+1|t} = (-11,634686-94,346107Z_t) \left(1-(1-\exp(-200(Z_t+0,129525)^2)) \right) +$$

$$(11,683851+94,041577Z_t) \left((1-\exp(-200(Z_t+0,129525)^2)) \right)$$

Hasil ramalan harga saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) menggunakan program Eviews untuk periode 01 Januari 2017 sampai 01 Maret 2017 disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Ramalan Harga Saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) program Eviews

Periode	Data Asli	Data Ramalan
01/01/2017	1824	1924,603
01/02/2017	1921	2007,641
01/03/2017	1987	2094,262

Nilai MAPE menunjukkan angka yang cukup kecil yaitu 1,713772%, maka dapat dikatakan peramalan dengan model Exponential Smoothing Transition Autoregressive (ESTAR (1,1)) cukup baik.

Hasil ramalan harga saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) menggunakan program R untuk periode 01 Januari 2017 sampai 01 Maret 2017 disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Ramalan Harga Saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) program R

Periode	Data Asli	Data Ramalan
01/01/2017	1824	1845,09
01/02/2017	1921	1845,179
01/03/2017	1987	1845,269

Nilai MAPE menunjukkan angka yang cukup kecil yaitu 1,359567%, maka dapat dikatakan peramalan dengan model Exponential Smoothing Transition Autoregressive (ESTAR (1,1)) cukup baik.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan bahwa model terbaik untuk peramalan harga saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) yaitu dengan metode *Exponential Smoothing Transition Autoregressive* (ESTAR) (1,1) baik menggunakan program R maupun program Eviews. Berdasarkan hasil ramalan pada tanggal 01 Januari 2017 Harga Saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) dengan menggunakan program Eviews sebesar 1924,603 dan hasil ramalan pada tanggal yang sama dengan menggunakan program R sebesar 1845,09. Dari data asli Harga Saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) pada tanggal tersebut sebanyak 1824, maka nilai ramalan yang mendekati dengan harga asli adalah ramalan dengan menggunakan program R.

Dari penelitian yang telah dilakukan model ESTAR (1,1) pada peramalan Harga Saham Bumi Serpong Damai Tbk. (BSDE,JK) lebih baik menggunakan program R karena memiliki nilai MAPE lebih kecil dibandingkan dengan peramalan menggunakan program Eviews.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti memberikan saran sebagai berikut: (1) Penelitian ini menghasilkan model yang terbaik menggunakan program R dengan MAPE yang kecil. Untuk selanjutnya silahkan dipakai untuk peramalan berikutnya, tetapi jangan dipakai untuk meramalkan terlalu jauh, paling banyak hanya tiga periode ke depan sehingga menghasilkan nilai MAPE yang relatif kecil pula. (2) Untuk pengembangan selanjutnya disarankan membandingkan model ini dengan model nonlinier yang lain seperti model *Threshold Autoregressive* (TAR), model *Self Exciting Threshold Autoregressive* (SETAR), model *Markov Switching* dan model *Neural Network* sehingga didapatkan model nonlinier yang terbaik. (3) Perhitungan estimasi parameter dalam penelitian ini menggunakan *software R*, *software Eviews* dan *software Microsoft Excel*, disarankan pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan program aplikasi lain seperti S-Plus, Matlab, Stata, untuk memperoleh hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aye, G., Balcilar, M., Bosch, A., Gupta, R., & Stofberg, F. (2013). The out-of-sample forecasting performance of nonlinear models of real exchange rate behaviour: The case of the South African Rand. *The European Journal of Comparative Economics*, 10(1), 121-148.
- Buncic, D. (2008). A Note Long Horizon Forecasts of Nonlinear Models of Real Exchange Rates. School of Economics Discussion Paper: 2008/02.
- Heizer, J. & Render, B. (2006). *Operations Management*. Edisi Ketujuh. Jakarta: Salemba Empat.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (1999). *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Erlangga: Jakarta.
- Mohammed, K., Mouslim-DIB, M., Zeddoun, D., & Benameur, A. (2015). Application of smooth transition autoregressive (STAR) models for the real exchange rate in algeria. *International Journal of Business and Social Science*, 6(11), 42-46.
- Nasution, S. (2011). *Metode Research (Penelitian Ilmiah)*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Phumchusri, N & Udom, P. (2014). A comparison study between time series model and ARIMA model for sales forecasting of distributor in plastic industry. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN)*. 4(6), 32-38.
- Safitri, T., Dwidayanti, N., & Sugiman. (2017). Perbandingan peramalan menggunakan metode exponential smoothing holt-winters dan ARIMA. *UNNES Journal of Mathematics*. 6(1), 49-58.
- Sariani, & Djie, I.J. 2013. Analisis peramalan penjualan dan penggunaan metode linear programming dan decision tree guna mengoptimalkan keuntungan pada PT Primajaya Pantess Garment. *Journal The WINNRS*, 14(2), 113-119.
- Sugiarto & Harijono. (2000). *Peramalan Bisnis*. Jakarta: PT. Gramedia Utama.
- Sunarti, Mariani, S., & Sugiman. (2016). Perbandingan akurasi model ARCH dan GARCH pada peramalan harga saham berbantuan matlab. *UNNES Journal of Mathematics*, 5(1), 82-89
- Tayyab, M., Ayesha, T., & Madiha. R. (2012). Application of smooth transition autoregressive (STAR) models exchange rate. *Mathematical Theory and Modeling*, 2(9), 30-38.
- Tsay, R. S. (2005). *Analysis of Financial Time Series*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Van Dijk, D., Teräsvirta, T., & Franses, P.H. (2002). *Smooth Transition Autoregressive Models-A Survey of Recent Developments*. Econometric Institute Research Report EI2000-23/A, 21(1), 1-47.
- Wei, W.W.S. (1993). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*: Addison-Wesley Publishing Company.
- Wulandari, H.R., Dwiyanti, N., & Mariani, S. (2017). Forecasting menggunakan metode generalized SARIMA dengan pendekatan IRLS untuk data PUAB di Jakarta. *UNNES Journal of Mathematics*. 5(1), 1-10.

Peningkatan Kualitas *Stego-image* Menggunakan *Advanced Least Significant Bit*

Cahya Adhi Bintang Husada¹, Alamsyah²

Jurusan Teknik Informatika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

*E-mail: ¹bintang_h@students.unnes.ac.id, ²alamsyah@mail.unnes.ac.id

Diterima 12 Januari 2022

Disetujui 10 Maret 2022

Dipublikasikan 28 April 2022

Abstrak

Steganografi merupakan suatu ilmu menyembunyikan pesan atau menulis pesan secara tersembunyi, sehingga hanya pengirim dan penerima pesan yang dapat memahami isi dari pesan tersebut dan tidak ada orang lain yang dapat menyadari atau mengetahui bahwa ada suatu pesan yang disembunyikan. Modifikasi metode LSB mengembangkan metode LSB sebelumnya dengan penginputan pesan diberi jarak satu piksel yang memuat *red, green, blue* (RGB) tiap piksel pada media *cover* (media untuk menyembunyikan pesan). Pada penelitian ini menggunakan delapan dataset berupa gambar PNG 24-bit dan 32-bit. Pada akhir baris piksel disisipkan *password* sebagai pengaman sekaligus *counter* pesan yang akan dipanggil. Penyisipan dilakukan selang-seling antara piksel secara kontinu hingga semua pesan tersisipkan. Rekonstruksi ulang gambar *cover-image* harus mempertahankan nilai *cover-image* ketika didekomposisi menjadi sebuah *stego-image*. Penyimpanan pada tahap ini menggunakan format *file .bmp* karena kompresi tipe file ini lebih tahan terhadap perubahan. Modifikasi metode LSB dalam penelitian ini dapat meningkatkan tingkat akurasi yang diukur dengan nilai *Mean Squared Error* (MSE) sebesar 0.000607464 sampai dengan 0.465577667 dan *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) sebesar 64,49 dB sampai dengan 129,53 dB. Berdasarkan data ini, algoritma yang diusulkan mengalami peningkatan kualitas *stego-image*.

Kata Kunci: Steganografi, *advanced LSB*, kualitas, *stego-image*

Abstract

Steganography is a science of hiding messages or writing messages hiddenly, so that only the sender and recipient of the message can understand the contents of the message and no one else can realize or know that there is a hidden message. Modification of the LSB method developed the previous LSB method by inputting messages at a distance of one pixel containing red, green, blue (RGB) per pixel on the media cover (media to hide messages). In this study, eight datasets were used in the form of 24-bit and 32-bit PNG images. At the end of the pixel line, a password is inserted as a security as well as a counter message to be called. Insertion is done alternately between pixels continuously until all messages are inserted. Reconstruction of the cover-image image must retain the value of the cover-image when decomposed into a stego-image. Storage at this stage uses the .bmp file format because the compression of this file type is more resistant to changes. Modification of the LSB method in this study can increase the level of accuracy as measured by the Mean Squared Error (MSE) value of 0.000607464 to 0.465577667 and Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) of 64.49 dB to 129.53 dB. Based on these data, the proposed algorithm has improved the quality of the stego-image.

Keyword: Steganografi, *advanced LSB*, quality, *stego-image*

How to cite:

Husada C.A.B., & Alamsyah. (2022). Peningkatan kualitas *stego-image* menggunakan advanced least significant bit. *Indonesian Journal of Mathematics and natural Sciences*, 45(1), 30-37

PENDAHULUAN

Steganografi adalah teknik yang menyembunyikan komunikasi dengan menyembunyikan informasi dalam informasi lain (Morkel *et al.*, 2005). Akhir-akhir ini steganografi banyak disalahgunakan, salah satunya digunakan untuk menyisipkan pesan-pesan tertentu berdasarkan kejahatan. Oleh karena itu, analisis steganografi diperlukan untuk mengendalikan penyalahgunaan

steganografi (Nasution *et al.*, 2017). Perkembangan Steganografi saat ini semakin meluas. Salah satu media yang dapat digunakan untuk steganografi adalah citra digital. Secara matematis, bayangan merupakan fungsi kontinu dengan intensitas cahaya pada bidang dua dimensi (Chen, 2011).

Algoritma teknologi steganografi LSB yang canggih mengembangkan algoritma steganografi yang ada seperti LSB dengan memanfaatkan rentang nilai piksel di media sampul (gambar yang digunakan sebagai gambar untuk menyembunyikan pesan). Semakin tinggi nilai piksel, semakin banyak bit pesan yang disembunyikan, dan sebaliknya semakin kecil nilai piksel, semakin sedikit bit pesan yang disembunyikan (Fadlil *et al.*, 2021). *Advanced* LSB adalah teknik penyembunyian pesan yang menampilkan pengembangan LSB standar, di mana pesan disembunyikan atau disisipkan secara bergantian ke dalam gambar dan jarak antara setiap piksel ditentukan, seperti dijelaskan di atas. Kualitas gambar Stego-image lebih baik.

Susunan algoritma *Advanced* LSB modifikasi yang dapat meningkatkan kemampuan menyembunyikan pesan (Odat & Otair, 2016). Error yang dihasilkan LSB standar lebih tinggi untuk nilai error, sedangkan LSB modifikasi memiliki error rendah. Untuk hasil *stego-image*, kualitas gambar yang dihasilkan biasanya kurang baik, sedangkan LSB yang dimodifikasi memiliki kualitas yang baik. Dalam penyisipan pesan, setiap pesan dibaca sebagai nilai ASCII sehingga dapat diubah menjadi nilai biner untuk diproses dalam algoritma (Arya & Soni, 2018).

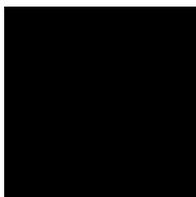
Pesan dari standar LSB yang disampaikan hasilnya kurang baik untuk pengambilan kembali pesan, sedangkan pesan LSB yang dimodifikasi hasilnya bagus. Sebuah *stego-image* yang baik dapat diekstraksi kembali setelah dikirim melalui *cloud* atau media perpesanan (Hassaballah, 2020).

Metode *masking* tergantung pada ekstraksi tiga saluran berwarna RGB untuk setiap piksel dan menentukan tempat di mana bit pesan enkripsi akan disembunyikan (Fadlil *et al.*, 2021). Teknik steganografi yang berbeda telah disajikan berdasarkan gambar RGB karena gambar dianggap sebagai penutup yang aman untuk data yang tersembunyi (Almazaydeh, 2020).

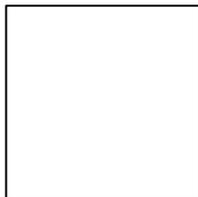
METODE

Dataset

Data dalam penelitian ini diperoleh dari www.imageprocessingplace.com dengan tambahan 2 gambar. Data yang digunakan adalah 8 citra yang kemudian dibagi menjadi 4 kategori berdasarkan jenis citra dan ukuran pikselnya, citra greyscale berukuran 512 x 512 piksel, citra berwarna berukuran 594 x 400 piksel, citra berwarna berukuran 768 x 512 piksel, citra berwarna gambar berukuran 512 x 512 piksel. Data yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 8.



Gambar 1. *Black*



Gambar 2. *White*



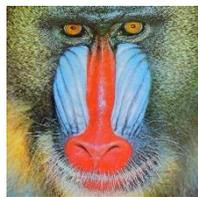
Gambar 3. *Artichere*



Gambar 4. *Monarch*



Gambar 5. *Airplane*



Gambar 6. *Baboon*



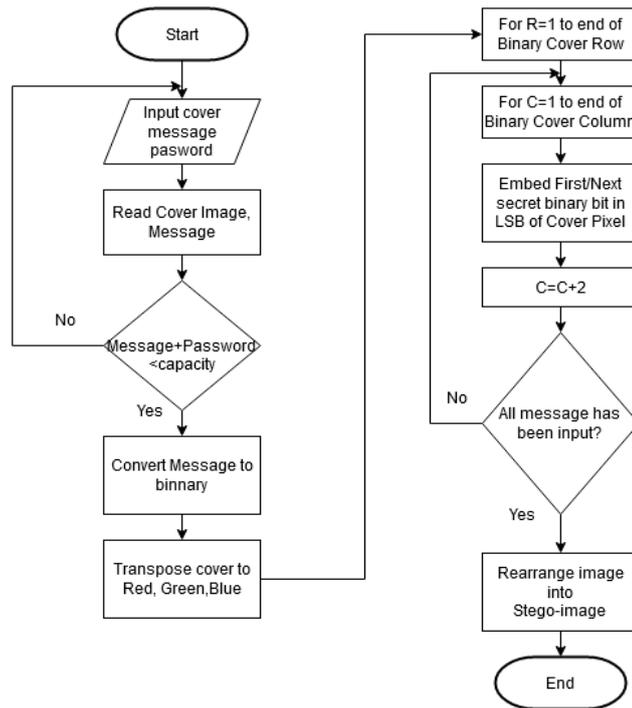
Gambar 7. *Lena*



Gambar 8. *Peppers*

Tahap Eksperimen

Pada tahap ini menggunakan *Advanced* LSB untuk meningkatkan kualitas *stego-image*. Flowchart yang digunakan pada metode ini ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Flowchart Advanced LSB

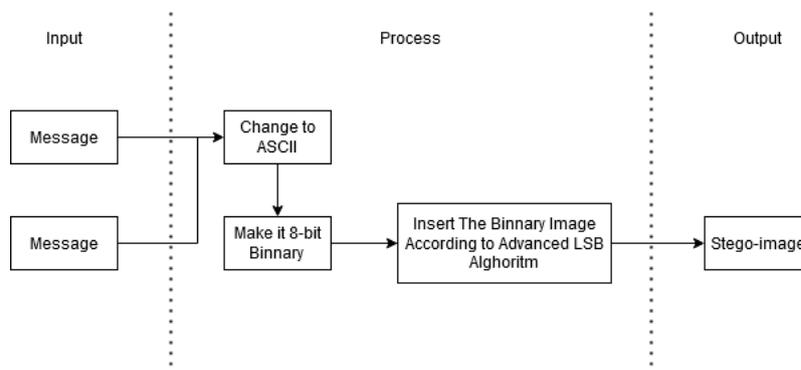
Data dibaca dan ditulis sebaris dari piksel awal atau piksel kiri atas (0,0) ke kanan hingga ujung lebar citra pada baris pertama kemudian ke baris kedua dan seterusnya hingga piksel terakhir atau bawah piksel sudut kanan (lebar, panjang) dalam satu saluran warna hingga saluran warna terakhir (Alamsyah *et al.*, 2020). Nilai piksel yang dibaca atau ditulis berada pada rentang yang diproses 0 - 255. Pada penyisipan pesan, setiap pesan dibaca sebagai nilai ASCII sehingga dapat diubah menjadi nilai biner untuk diproses dalam algoritma (Yosanny, 2010).

Advanced LSB

Metode LSB lanjutan adalah teknik penyembunyian pesan yang dikembangkan dari LSB dimana metode ini menggunakan delapan bit kunci dan menjalankan proses XOR dengan semua byte pesan yang akan dimasukkan dan juga memiliki aturan dalam penyisipan pesan (Kekre *et al.*, 2012).

Penyisipan

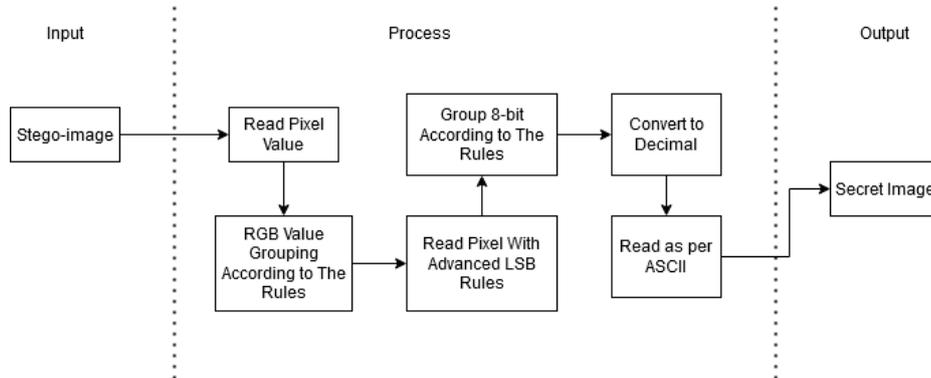
Penyisipan pesan untuk rentang piksel dengan jumlah bit pesan maksimum yang dapat kita sembunyikan adalah dijelaskan dalam aturan yang ditulis dalam metode LSB lanjutan (Langi, 2013). Proses embedding ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Proses Penyisipan

Ekstraksi

Untuk mengambil pesan rahasia, itu dapat diambil dengan memeriksa empat bit pertama MSB dan menggunakan langkah penyisipan untuk mengambil bit data rahasia (Lemire, 2010). Jadi empat bit pertama bernilai 1, kemudian 4 bit akan diambil dari belakang sebagai pesan rahasia. Itu adalah kecocokan untuk 3 bit, 2 bit, dan 1 bit. Proses ekstraksinya adalah ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Proses Ekstraksi

MSE dan PSNR

Mean square error (MSE) mengacu kepada kuadrat error antara pesan sampel dengan *stego-image*. MSE membantu mengukur tingkat distorsi pada citra. Rumus dari MSE dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (1)$$

$I(i, j)$ dan $K(i, j)$ adalah nilai piksel dari citra asli dan *stego-image* masing-masing. M dan N merepresentasikan jumlah baris dan kolom pada citra masukan. *Peak signal to noise ratio* (PSNR) didefinisikan sebagai rasio puncak atau sinyal maksimum terhadap noise yang terkait dengan citra asli dan citra stego. PSNR diukur dalam desibel (dB). Rumus PSNR pada Persamaan 2.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (2)$$

MAX adalah nilai kemungkinan tertinggi pada citra, MSE adalah rata-rata kuadrat error piksel antara dua citra (Bala, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas hasil penelitian dengan menggunakan metode LSB Standar dan metode *Advanced* LSB. Implementasi metode menggunakan Matlab 2019a. Hasil penelitian yang telah didapatkan antara lain penyisipan LSB standar, penyisipan dengan *Advanced* LSB.

Nilai Biner Pesan Teks dan Nilai Biner Kunci

Untuk pengujian kali ini, pesan yang disisipkan terdiri dari karakter, pesan yang disisipkan adalah “Steganografi adalah seni dan ilmu menulis pesan tersembunyi atau menyembunyikan pesan.” Dan untuk kunci menggunakan 6 karakter “unnes”. Pesan ditunjukkan pada Tabel 1, dan untuk kunci ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Nilai Biner Pesan

No.	PEsan	ASCII	Nilai Biner
1	S	83	01010011
2	t	116	01110100
3	e	101	01100101
4	g	103	01100111
5	a	97	01100001
:	:	:	:
86	.	46	00101110

Tabel 2. Nilai Biner Kunci

No	Kunci	ASCII	Nilai Biner
1	u	117	1110101
2	n	110	1101110
3	n	110	1101110
4	e	101	1100101
5	s	115	1110011

Penyisipan Dengan LSB Standar

Hasil pengujian algoritma LSB standar dihitung menggunakan nilai MSE dan PSNR. Nilai MSE dan PSNR digunakan untuk mengukur kesamaan dan *error* yang terjadi pada suatu citra digital setelah melewati proses *image processing*. MSE adalah akar kumulatif nilai *error* antara gambar yang mengandung pesan dengan gambar asli. Pada citra RGB nilai MSE dihitung dengan menjumlahkan nilai MSE masing-masing komponen *Red*, *Green*, dan *Blue* dibagi tiga. Sementara PSNR adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR dinyatakan dalam satuan 34ecibel (dB). Rekapitulasi hasil pengujian MSE sebelum modifikasi dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan untuk nilai PSNR dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Nilai MSE LSB Standar

Gambar	Kunci	MSE			
		Red	Green	Blue	Average
<i>White</i>	unnes	0.005957	0.005121	0.0027	0.004579
<i>Black</i>	unnes	0.004256	0.00498	0.0043	0.004499
<i>Airplane</i>	unnes	0.727528	0.335185	0.3616	0.474783
<i>Artichare</i>	unnes	0.001079	0.000993	0.0008	0.000944
<i>Baboon</i>	unnes	0.245038	0.435162	0.2352	0.305131
<i>Lena</i>	unnes	0.211516	0.913144	0.831	0.651892
<i>Monarch</i>	unnes	0.045931	0.360575	0.3364	0.24764
<i>Peppers</i>	unnes	0.060146	0.191573	0.5194	0.257044
		Rata-rata			0.243314077

Tabel 4. Nilai PSNR LSB Standar

Gambar	Kunci	PSNR (dB)			
		Red	Green	Blue	Average
<i>White</i>	unnes	109.34	110.109	115.42	111.6243
<i>Black</i>	unnes	69.8923	74.6514	74.153	72.89887
<i>Airplane</i>	unnes	57.1985	66.1535	65.578	62.9767
<i>Arctichare</i>	unnes	128.25	126.67	129.12	128.0147
<i>Baboon</i>	unnes	69.1434	62.5185	83.151	71.6043
<i>Lena</i>	unnes	70.0197	57.7112	59.146	62.29237
<i>Monarch</i>	unnes	85.9562	65.664	66.424	72.68137
<i>Peppers</i>	unnes	85.5247	74.3516	60.995	73.62383
		Rata-rata			81.96455

Penyisipan dengan Advanced LSB

Rekapitulasi hasil pengujian nilai MSE *Advanced* LSB dapat dilihat pada Tabel 5, sedangkan untuk hasil pengujian nilai PSNR *Advanced* LSB dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 5. Nilai MSE *Advanced* LSB

Gambar	Kata Kunci	MSE			
		Red	Green	Blue	Average
white	unnes	0.003357	0.00316	0.002106	0.00287374
black	unnes	0.002274	0.00270	0.002426	0.00246684
airplane	unnes	0.625378	0.26389	0.261097	0.38345333
arctichare	unnes	0.000572	0.00070	0.000551	0.00060746
baboon	unnes	0.195038	0.36936	0.053459	0.20595307
lena	unnes	0.171906	0.69379	0.531033	0.46557767
monarch	unnes	0.036936	0.29050	0.276594	0.20134413
peppers	unnes	0.040234	0.13517	0.499214	0.22487253
		Rata-rata			0.185893597

Tabel 6. Nilai PSNR *Advanced* LSB

Gambar	Kata Kunci	PSNR (dB)			
		Red	Green	Blue	Average
white	unnes	109.34	110.109	115.424	111.6243
black	unnes	69.8923	74.6514	74.1529	72.89887
airplane	unnes	57.1985	66.1535	65.5781	62.9767
arctichare	unnes	128.25	126.67	129.124	128.0147
baboon	unnes	69.1434	62.5185	83.151	71.6043
lena	unnes	70.0197	57.7112	59.1462	62.29237
monarch	unnes	85.9562	65.664	66.4239	72.68137
peppers	unnes	85.5247	74.3516	60.9952	73.62383
		Rata-rata			83.81517

Dari Tabel 5 nilai MSE rata-rata delapan citra menggunakan *advanced* LSB yaitu 0.1859 dan pada Tabel 6 untuk nilai PSNR rata-rata menggunakan *advanced* LSB yaitu 83.8151 dB.

Analisis Hasil

Untuk mendapatkan hasil yang lebih detail, hasil akhir dari masing-masing metode pada algoritma 1 dan algoritma 2 dibandingkan satu sama lain. Hasil perbandingan MSE masing-masing algoritma ditunjukkan pada Tabel 7 dan hasil perbandingan PSNR metode pengujian untuk masing-masing algoritma ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 7. Perbandingan Nilai MSE

MSE	Standard	<i>Advanced</i>
white	0.00457917	0.002873737
black	0.004499253	0.00246684
airplane	0.474783333	0.383453333
artichare	0.000943643	0.000607464
baboon	0.305130667	0.205953067
lena	0.651891733	0.465577667
monarch	0.24764048	0.201344133
peppers	0.257044333	0.224872533
average	0.243314077	0.185893597

Tabel 8. Perbandingan Nilai PSNR

PSNR	Standard (dB)	<i>Advanced</i> (dB)
white	111.6243	114.1377
black	72.89887	74.46517
airplane	62.9767	65.32053
artichare	128.0147	129.53
baboon	71.6043	73.6858
lena	62.29237	64.49133
monarch	72.68137	74.38047
peppers	73.62383	74.51037
Average	81.96455	83.81517

SIMPULAN

Hasil akhir dari masing-masing metode pengujian menggunakan LSB standar dan *Advanced* LSB dibandingkan untuk mendapatkan hasil perbandingan yang detail dari masing-masing metode. Untuk perbandingan kedua metode yang digunakan dapat disimpulkan bahwa *Advanced* LSB memiliki nilai MSE yang lebih baik 0.185893597 dari pada LSB standar 0.243314077, dan untuk nilai PSNR 83.81517 dB terhadap 81.96455 dB.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Budi, P., & Ardian, M. N. (2020). Enhancement security AES algorithm using a modification of transformation shiftrows and dynamic S-Box. *Journal of Physics Conference Series*, 1567(3), 032025
- Almazaydeh, L. (2020). Secure RGB image steganography based on modified LSB substitution. *International Journal of Embedded Systems*, 12(4), 453-457
- Arya, A., Soni, S. (2018). A literature review on various recent steganography techniques. *International Journal on Future Revolution in Computer Science & Communication Engineering*, 4(1), 143-149.
- Chen, S.-K. (2011). A module-based LSB substitution method with lossless secret data compression. *Computer Standards & Interfaces*, 33(1).
- Fadlil, A., Prasetyo, B., Alamsyah (2021). Increasing message capacity in images using advanced least. *Scientific Journal of Informatics*, 892), 268-274

- Hassaballah, M. (2020). *Digital media steganography*. eBook ISBN: 9780128194393: Elsevier
- Kekre, H.B., Mishra, D., Khanna, R., Khanna, S., & Hussaini, A. (2012). Comparison between the basic LSB replacement technique and increased capacity of information hiding in LSB's method for images. *International Journal of Computer Application*, 45(1), 33-38.
- Langi, A. Z. (2013). Lossless compression performance of a simple counter-based entropy coder. *Journal of ICT Research and Applications*, 5(3), 173-184.
- Lemire, D. A. (2010). Introduction to the special issue on learning and the social web. *Journal of Emerging Technologies in Web Intelligence*, 2(1), 1-2
- Morkel, T., Eloff, J.H.P., & Olivier, M.S. (2005). An overview of image steganography. Conference: Proceedings of the ISSA 2005 New Knowledge Today Conference, 29 June - 1 July 2005, Balalaika Hotel, Sandton, South Africa.
- Nasution, S.B., Hidayat, B., & Ramatryana, I.N.A. (2017). Steganalisis citra digital berbasis Discrete Cosine Transform dengan menggunakan metode K-Nearest Neighbor. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri*, Book-1.
- Odat, A., & Otair, M. (2016). Image steganography using modified Least Significant Bit. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(39), 1-5.
- Yosanny, A. (2010). Perancangan enkripsi pada citra Bitmap dengan Algoritma Des, Triple Des, dan Idea. *Comtech: Computer, Mathematics And Engineering Applications*, 1(2), 853-866.

Komparasi Aktivitas Fotokatalitik Ni/TiO₂ dan Zn/TiO₂ untuk Dekomposisi Air Menjadi H₂

Sigit Priatmoko* dan Satrio B.U Prambasto

Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt.1, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229
*E-mail: sigitwarsono65@mail.unnes.ac.id

Diterima 9 Januari 2022

Disetujui 23 Maret 2022

Dipublikasikan 28 April 2022

Abstrak

Telah dilakukan penelitian produksi gas hidrogen dari dekomposisi air menggunakan fotokatalitik Ni/Zn-TiO₂ sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Tujuan penelitian adalah mempelajari pengaruh dopan logam Zn dan Ni pada padatan TiO₂ terhadap aktivitas dekomposisi air untuk menghasilkan gas hidrogen. Penelitian dilakukan dengan cara impregnasi TiO₂ Degussa P25 ke dalam larutan seng asetat dan nikel asetat, kemudian dikalsinasi pada temperatur yang bervariasi. Fotokatalis yang dihasilkan dikarakterisasi lebih lanjut meliputi: celah pita, kristalinitas dan SEM. Uji aktivitas fotokatalitik dilakukan di dalam reaktor, dengan menyinari air bebas mineral yang telah diberi fotokatalis menggunakan sinar tampak dan sinar UV. Produk hidrogen dianalisis dengan Gas Chromatography (GC) menggunakan detektor TCD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dopan Zn dan Ni pada TiO₂ dapat meningkatkan produksi gas H₂. Dopan logam Ni memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan logam Zn. Diduga hal ini disebabkan efek yang dihasilkan oleh celah pita dopan Ni lebih rendah dibandingkan dengan dopan Zn.

Kata kunci: dopan, fotokatalis, celah pita

Abstract

The research of hydrogen gas production from water decomposition using photocatalytic Ni/Zn-TiO₂ as environmentally friendly alternative energy source has been conducted. The research objective was to study the effects of Zn and Ni metal dopants in TiO₂ solids on the activity of decomposition of water to produce hydrogen gas. The study was conducted by impregnating TiO₂ Degussa P25 to a solution of zinc acetate and nickel acetate, and then calcined at varied temperatures. The resulting photocatalysts were characterized further includes: band gap, crystallinity and SEM. Photocatalytic activity test carried out in the reactor, by irradiating a mineral-free water that has been given photocatalysts using visible and UV light. Hydrogen product was analyzed by Gas Chromatography (GC) using TCD detector. The results showed that show that both Zn and Ni dopants into TiO₂ can increase the production of H₂ gas. Ni metal dopants have a greater influence than the Zn metal. Presumably this is due to the effect produced by the band gap of Ni dopant is lower than the Zn dopants.

Key words: dopants, photocatalyst, the band gap

How to cite:

Priatmoko S., & Prambasto S.B.U. (2022). Komparasi aktivitas fotokatalitik Ni/TiO₂ dan Zn/TiO₂ untuk dekomposisi air menjadi H₂. *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 45(1), 38-44.

PENDAHULUAN

Salah satu persoalan krusial yang melanda hampir seluruh wilayah di dunia termasuk Indonesia akibat bertambahnya jumlah penduduk dan meningkatnya aktivitas manusia adalah kebutuhan energi. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan terobosan untuk mencari sumber-sumber energi alternatif di luar energi fosil. Salah satu sumber energi yang layak dipertimbangkan adalah bahan bakar hidrogen (Liao *et al.*, 2012; Jiang *et al.*, 2015). Gas ini memiliki kalor pembakaran 285,5

kJ per mol, yang berarti setiap 1 gram hidrogen jika dibakar dapat menghasilkan kalor sebanyak 142,575 kJ, jauh lebih besar dibanding kalor yang dihasilkan bahan bakar hidrokarbon. Hingga saat ini persentase penggunaan energi alternatif masih sangat sedikit dikarenakan efektivitas dan efisiensinya yang tergolong masih kecil.

Titanium (IV) oksida atau titania, TiO_2 , banyak digunakan sebagai katalis dalam produksi fotohidrogen karena sifat kimia yang baik dan sifat fotokimia yang stabil, mempunyai celah pita yang moderat, tidak beracun, dan mempunyai sifat surface area yang tinggi. Namun, efisiensi keseluruhan produksi fotohidrogen dengan menggunakan TiO_2 sebagai fotokatalis di bawah 10 %, yang merupakan patokan efisiensi untuk produksi fotohidrogen agar dapat dipertimbangkan untuk implementasi komersial (Liao *et al.*, 2012).

Rendahnya efisiensi produksi fotohidrogen terutama karena ketidakmampuan TiO_2 untuk memanfaatkan cahaya tampak (Chiarello *et al.*, 2010). Celah pita TiO_2 adalah 3,2 eV yang dapat diaktifkan oleh foton dengan panjang gelombang ≥ 400 nm (daerah UV). Karena radiasi matahari hanya mengandung gelombang elektromagnetik UV sekitar 3-4 %, maka peran cahaya pada gelombang tampak (visible) yang dapat mengaktifkan fotokatalis merupakan persyaratan penting dalam rangka produksi hidrogen secara ekonomis. Rendahnya efisiensi produksi fotohidrogen juga disebabkan oleh reaksi rekombinan elektron dan hole. Untuk mengatasi masalah ini, dikembangkan beberapa metode misalnya doping logam. Kehadiran ion doping dalam fotokatalis diharapkan dapat menggeser penyerapan yang signifikan untuk daerah tampak dibandingkan dengan fotokatalis murni (Guo *et al.*, 2013; Gupta & Pal, 2013). Suatu ion dopan juga bertindak sebagai perangkap elektron yang mengarah dari pembawa muatan yang dihasilkan dan meminimalkan hole elektron rekombinan (Jafari, 2016). Penggunaan logam transisi banyak dilakukan untuk meningkatkan aktivitas serapan cahaya di daerah sinar tampak karena beberapa alasan, salah satunya adalah logam dopant yang dipergunakan memiliki jari-jari ion yang berdekatan dengan jari-jari ion Ti^{4+} sehingga dapat masuk ke dalam struktur TiO_2 secara substitusional maupun interstisial.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakteristik fotokatalis Zn- TiO_2 dengan Ni- TiO_2 khususnya besarnya energi *band gap* yang dihasilkan dan aktivitas fotokatalitiknya terhadap produksi gas hidrogen hasil dekomposisi air.

METODE

Preparasi dan Pretreatment dari Fotokatalis

Kurang lebih sebanyak 4 g $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Merck) dan 5 g $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Merck) masing-masing ditimbang dan dilarutkan dalam 150 mL aqua bidestilata. Ke dalam masing-masing larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ditambahkan gliserol kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. Ditimbang kurang lebih 100 g TiO_2 Degussa P25 (Meccck), kemudian dimasukkan ke dalam larutan seng asetat dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 24 jam sampai terbentuk suspensi. Selanjutnya ditimbang kurang lebih 100 g TiO_2 Degussa P25, kemudian dimasukkan ke dalam larutan nikel asetat dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 24 jam sampai terbentuk suspensi. Sejumlah NaOH 0,25 M (Merck) ditambahkan ke dalam suspensi sampai pH larutan sekitar 12 untuk membentuk endapan. Masing-masing campuran dilanjutkan dan di-stirrer selama 1 hari, disaring dan dikeringkan selama 24 jam pada suhu 75°C. Kalsinasi dilakukan pada suhu 300°C; 400°C; 500°C selama 2 jam. Prosedur yang sama digunakan untuk seng asetat dengan kadar 2 % dan 5% tetapi dengan massa masing-masing 8 g dan 20 g. Untuk larutan nikel asetat massa nikel asetat heksa hidrat yang ditimbang adalah 10 g (kadar 2%) dan 25 g (kadar 5%).

Produksi Fotohidrogen dari Air

Sumber cahaya yang berasal dari lampu halogen 500 W digunakan dengan posisi lampu di atas reaktor dengan jarak 15 cm dari permukaan. Selama reaksi fotokatalis dilakukan pada kondisi normal yakni pada suhu 27°C dan tekanan 1 atm. Sebanyak 0,1 g bubuk fotokatalis yang telah dibuat dilarutkan dalam 10 mL distilled water, kemudian dimasukkan ke dalam reaktor. Proses fotohidrogen dilakukan selama kurang lebih 2 jam. Untuk menghindari adanya ledakan, maka ke dalam reaktor sebelumnya dialiri gas helium untuk membuang udara yang terdapat dalam reaktor. Gas hidrogen yang dihasilkan dianalisis dengan GC (Shimadzu GC-2025) dengan detektor TCD.

Karakterisasi Fotokatalis

Karakterisasi fotokatalis meliputi: (a) band gap menggunakan DR UV Vis Perkin Elmer lambda 900 spektrofotometer, panjang gelombang 190-800 nm, digunakan untuk pengukuran band gap fotokatalis Zn-Ni/TiO₂, (b) kristalinitas menggunakan XRD (*X-Ray powder diffraction*, Shimadzu XRD-6000) dengan radiasi CuK α (40 kV, 40 mA) pada sudut 2 θ dari 100 sampai 800, dengan kecepatan scan 40min⁻¹, morfologi permukaan dengan SEM menggunakan Zeiss supra 35VP dengan 80 kX magnification dan pengoperasian pada 10 kV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan energi *band gap* dilakukan dengan menggunakan persamaan Kubelka-Munk. Energi *band gap* (Eg) diperoleh dengan membuat grafik hubungan antara [F(R)h.v]² terhadap (h.v) atau energi (eV). Dalam hal ini besarnya nilai Eg semikonduktor adalah nilai h.v pada saat [F(R)h.v]²=0, yang diperoleh dari perpotongan garis lurus yang ditarik memotong sumbu x pada kurva. Penarikan garis lurus terhadap kurva didasarkan pada kurva yang membentuk garis linear pada kenaikan kurva yang pertama (Jiang *et al.*, 2015). Energi yang diperoleh dalam penelitian ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Liao *et al.* (2012), bahwa energi gap TiO₂ berkisar antara 3-3,2 eV (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai *band gap* material menurut kadar logam dopan (Zn dan Ni)

No	Komposisi Material	Temperatur Kalsinasi (°C)	Eg (eV)
1	TiO ₂	400	3,21
2	Ni(1%)-TiO ₂	400	2,51
3	Ni(2%)-TiO ₂	400	2,95
4	Ni(5%)-TiO ₂	400	3,31
5	Zn(1%)-TiO ₂	400	3,12
6	Zn(2%)-TiO ₂	400	3,24
7	Zn(5%)-TiO ₂	400	3,22

Masuknya logam dopan Zn ke dalam TiO₂ berbeda efeknya terhadap kecenderungan perubahan energi gap yang dihasilkan dibandingkan dengan masuknya logam dopan Ni ke dalam TiO₂. Pada logam dopan Zn, penambahan konsentrasi Zn tidak secara linear mempengaruhi besarnya band gap. Dalam Tabel 1 terlihat bahwa peningkatan kadar Zn dari 1% menjadi 2% menaikkan band gap, tetapi kemudian sedikit turun pada konsentrasi 5%. Hal ini diduga terkait dengan penyebaran partikel Zn dalam struktur anastase TiO₂ yang mana pada saat konsentrasi Zn 5%, pori-pori TiO₂ sebagian besar tertutup rapat oleh partikel Zn, sehingga yang terukur adalah band gap logam Zn. Sebagaimana diketahui band gap ZnO sebenarnya hampir sama dengan TiO₂ yakni sekitar 3,2 eV. Doping logam ini sebenarnya dimaksudkan untuk meningkatkan kinerja aktivitas fotokatalis yang terbentuk dalam produksi H₂ dari H₂O. Dengan demikian, konsentrasi dopan Zn optimal yang dapat mengurangi band gap TiO₂ adalah sebesar 1%.

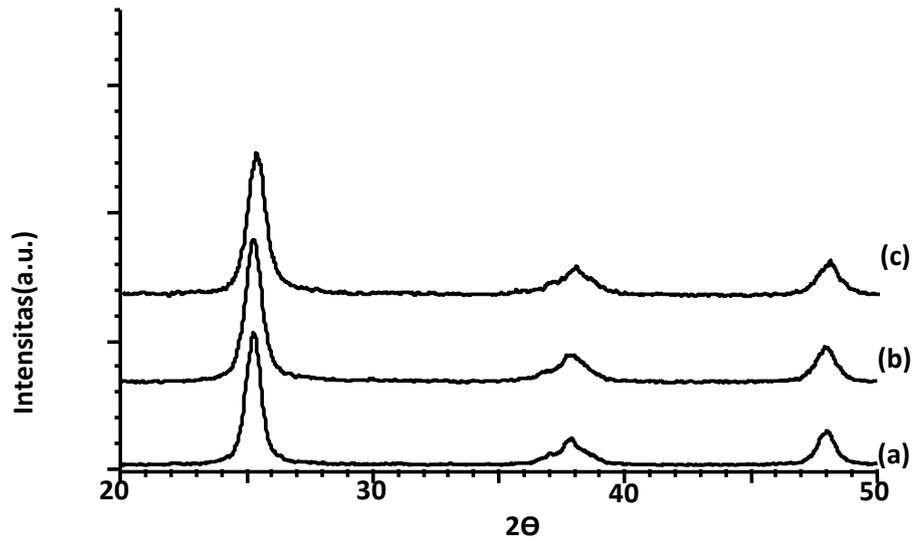
Berbeda dengan fotokatalis Zn-TiO₂, peningkatan dopan Ni ke dalam TiO₂ berhasil menurunkan nilai *band gap* TiO₂ pada konsentrasi 1%, tetapi kembali meningkat pada konsentrasi Ni 2% dan 5%. Peningkatan nilai band gap TiO₂ setelah didoping Ni antara 2-5% diduga disebabkan makin bertambahnya partikel Ni yang menutupi TiO₂ sehingga ada kemungkinan *band gap* yang terukur adalah band gap Ni yang jika dalam keadaan oksidanya memiliki nilai *band gap* sebesar 3,98 eV. Dengan demikian konsentrasi optimal Ni untuk menurunkan *band gap* TiO₂ adalah sebesar 1%.

Selanjutnya, berdasarkan Tabel 2 tampak bahwa pada konsentrasi dopan 1%, baik dopan Zn maupun Ni memberikan nilai *band gap* rendah, dimana untuk logam Ni memberikan *band gap* 2,51 eV sedangkan untuk logam Zn memberikan *band gap* 3,12 eV. Fotokatalis yang terdoping logam Zn dan Ni kemudian dikalsinasi pada temperatur yang divariasi, yakni 300°C, 400°C dan 500°C selama 4 jam. Energi *band gap* untuk tiap fotokatalis disajikan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut tampak bahwa peningkatan temperatur kalsinasi tidak berarti menurunkan *band gap* yang dihasilkan. Temperatur optimal yang dapat menghasilkan *band gap* terendah baik untuk Zn maupun Ni adalah pada temperatur 400°C. Kenaikan suhu dari 400°C menjadi 500°C diduga hanya meningkatkan kristalinitas padatan tetapi tidak menurunkan *band gap* fotokatalis. Material fotokatalis yang didapatkan kemudian diuji aktivitasnya terhadap reaksi dekomposisi air menjadi gas H₂ dan O₂.

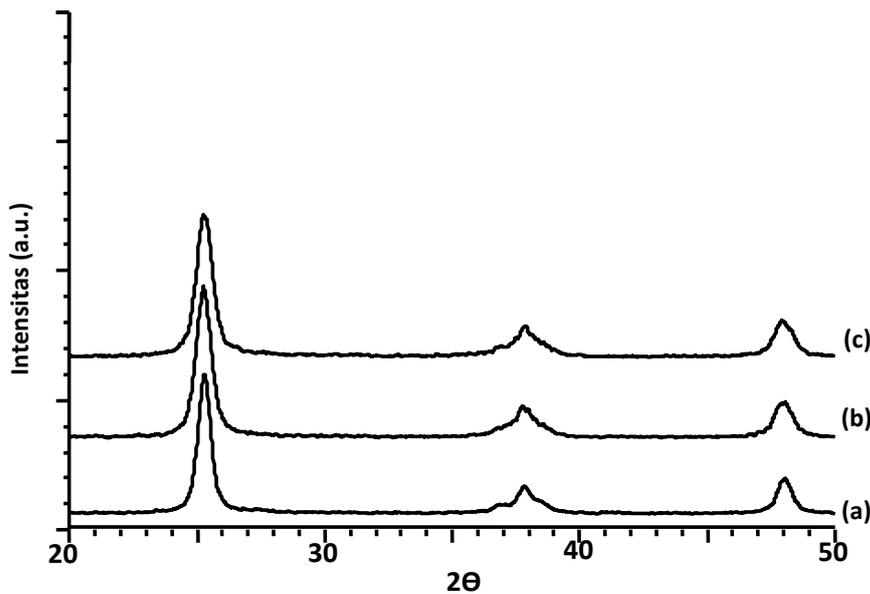
Tabel 2. Nilai *band gap* dan temperatur kalsinasi fotokatalis

No	Jenis Fotokatalis	Temperatur Kalsinasi (°C)	Eg (eV)
1	TiO ₂	500	3,13
2	Ni(1%)-TiO ₂	300	2,96
3	Ni(1%)-TiO ₂	400	2,51
4	Ni(1%)-TiO ₂	500	3,32
5	Zn(1%)-TiO ₂	300	3,31
6	Zn(1%)-TiO ₂	400	3,11
7	Zn(1%)-TiO ₂	500	3,22

Karakterisasi XRD dari powder Zn/Ni-TiO₂ yang disintesis melalui kalsinasi pada suhu 500 °C selama 2 jam memperlihatkan struktur anatase. Ini dapat dibuktikan dengan puncak yang muncul pada spektrum XRD seperti yang terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2. Hasil ini identik dengan puncak TiO₂-anatase yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya (Yan *et al.*, 2013) dan referensi dari JCPDS Card no. 21-1272. Puncak anatase dengan intensitas tertinggi muncul pada $2\theta = 25,28^\circ$. Hasil XRD ini juga memperlihatkan bahwa puncak-puncak TiO₂-anatase yang dihasilkan tidak mengalami perubahan yang mencolok dengan variasi konsentrasi Zn/Ni-TiO₂. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan logam dopant tidak mengubah struktur fasa kristalin TiO₂.



Gambar 1. Spektrum XRD powder Ni-TiO₂ dengan kadar Ni (a) 1%, (b) 2%, dan (c) 5%.



Gambar 2. Spektrum XRD powder Zn-TiO₂ dengan kadar Zn (a) 1%, (b) 2% dan (c) 5%

Berdasarkan persamaan Scherrer diperkirakan bahwa puncak yang lebar dengan intensitas yang rendah akan cenderung menghasilkan ukuran kristalin yang lebih kecil (Yan *et al.*, 2013). Lebar puncak dapat diukur berdasarkan lebar pada tinggi setengah puncak (Full Width at Maximum High/FWHM). Ukuran kristalin TiO₂ yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan dengan persamaan Scherrer's yaitu sebesar 20 nm, sedangkan untuk ukuran kristalin Zn/Ni-TiO₂ dapat dilihat pada Tabel 3. Berikut ini adalah persamaan Scherrer's yang digunakan untuk menentukan ukuran kristal (t).

$$t = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Dalam hal ini: K merupakan konstanta (0,89); λ , Panjang gelombang sinar-X untuk Cu K α (0,15405 nm); β , FWHM pada $2\theta \times (\pi / 180)$; dan θ adalah Sudut Bragg.

Tabel 3. Ukuran kristal Zn/Ni-TiO₂ dihitung berdasarkan persamaan Scherrer

Kadar logam (Zn/Ni) dalam TiO ₂ (mol %)	Ukuran kristal Ni-TiO ₂ (nm)	Ukuran kristal Zn-TiO ₂ (nm)
1	12	14
3	10	12
5	9	10

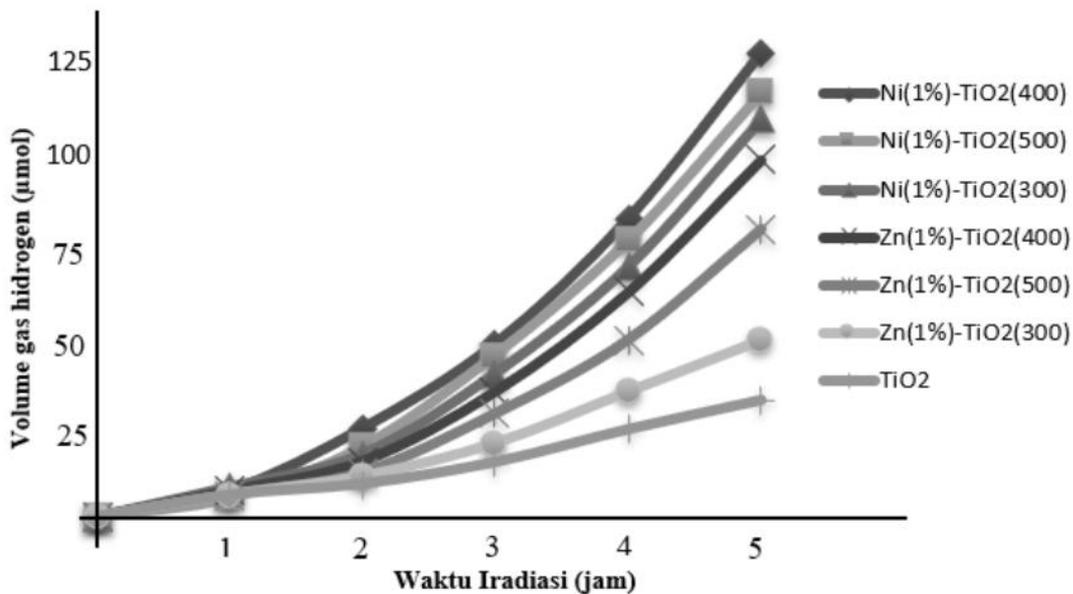
Uji Aktivitas Katalitik Powder Zn/Ni-TiO₂ untuk Dekomposisi H₂O

Ukuran kristalin dan jumlah logam dopant dapat mempengaruhi tingkat aktivitas katalitik dari Zn/Ni-TiO₂. Ukuran kristal yang kecil akan memberikan area permukaan yang semakin luas, sehingga permukaan yang aktif akan semakin banyak. Ukuran kristalin yang kecil dapat menyebabkan transfer muatan pada permukaan TiO₂ berlangsung dengan cepat sehingga dapat meningkatkan aktivitas katalitik sekaligus juga memungkinkan rekombinasi elektron-hole terjadi dengan cepat. Dengan adanya logam dopant, proses katalitik dapat ditingkatkan dengan cara menghambat rekombinasi antara elektron dan *hole*, tergantung pada besarnya konsentrasi logam dopant (Khan & Swati, 2016).

Jumlah gas hidrogen hasil dekomposisi air untuk beberapa fotokatalis hasil optimasi disajikan dalam Gambar 3. Pada gambar tersebut tampak bahwa jenis logam dopan mempengaruhi jumlah gas hidrogen yang dihasilkan. Untuk fotokatalis dengan dopan logam Ni kadar 1% yang dikalsinasi pada temperatur 400°C, menghasilkan jumlah gas hidrogen yang diukur pada kondisi RTP, yakni 126 μ mol.

Pada temperatur kalsinasi yang lebih tinggi yakni 500°C, jumlah hidrogen yang dihasilkan berkurang. Hal ini diduga akibat bertambahnya band gap Ni-TiO₂. Sebagaimana diketahui, besar nilai band gap fotokatalis berkaitan erat dengan kemampuan dekomposisinya dalam menguraikan air menjadi gas hidrogen dan oksigen. Sementara untuk temperatur kalsinasi 300°C diperoleh jumlah gas hidrogen paling rendah, yakni 108 µmol.

Untuk jenis logam dopan Zn, produksi gas hidrogen yang dihasilkan dalam uji aktivitas katalitik untuk dekomposisi air lebih rendah dibanding jenis logam dopan Ni pada semua temperatur kalsinasi. Hal ini mudah dipahami karena band gap dopan Zn yang lebih rendah dibanding Ni, sehingga produksi gas hidrogennya juga lebih sedikit. Jumlah gas hidrogen terbanyak dihasilkan oleh dopan logam Zn ke dalam TiO₂ yang kadar logam Zn 1% dan dikalsinasi pada temperatur 400 °C yakni sebesar 78 µmol. Sementara fotokatalis TiO₂ tanpa diberi dopan, menghasilkan jumlah gas hidrogen paling rendah. Hal ini berarti, adanya dopan logam Ni dan Zn berpengaruh terhadap jumlah gas hidrogen yang dihasilkan.



Gambar 3. Pengaruh dopan Ni dan Zn terhadap kinerja fotokatalis TiO₂ dalam memproduksi gas hidrogen (Volume air 250 mL, massa katalis 0,3 gram, volume gas diukur pada RTP)

SIMPULAN

Karakteristik fotokatalis Zn/Ni-TiO₂ untuk menghasilkan gas hidrogen paling optimal, adalah: a). Pada penambahan dopan logam Zn, kristalinitas TiO₂ tidak berubah, celah energi 3,11 eV, profil permukaan padatan relatif homogen dan ukuran partikel 14 nm, b). Pada penambahan dopan logam Ni, kristalinitas TiO₂ tidak berubah, celah energi 2,51 eV, profil permukaan padatan relatif homogen dan ukuran partikel 12 nm. Penambahan dopan Zn maupun Ni ke dalam TiO₂ mempengaruhi volume produksi hidrogen hasil dekomposisi air menggunakan foton pada panjang gelombang sinar tampak. Fotokatalis Zn-TiO₂ yang optimal menghasilkan gas hidrogen adalah pada kadar Zn 1% dan dikalsinasi pada temperatur 400°C. Fotokatalis Ni-TiO₂ yang optimal menghasilkan gas hidrogen adalah pada kadar Ni 1% dan dikalsinasi pada temperatur 400°C.

DAFTAR PUSTAKA

- Chiarello, G.L, Aguirre, M.H., & Selli, E. (2010). Hydrogen production by photocatalytic steam reforming of methanol on noble metal-modified TiO₂. *Journal of Catalysis*, 273(2), 182-190.
- Guo, Y., Zu, B., & Dou, X. (2013). Zeolite-based photocatalyst: a promising strategy for efficient photocatalysis. *Journal of Thermodynamics & Catalysis*, 4(2).
- Gupta, N., & Pal, B. (2013). Photocatalytic activity of transition metal ions impregnated TiO₂ nanostructures for Iodide oxidation to Iodine formation. *Molecular Catalysis*, 371, 48-55.

- Jafari, S. (2016). Investigation of adsorption of dyes onto modified titanium dioxide, *Dissertation*, Mikkeli University Consortium, Mikkeli, Finland.
- Jiang, C., Lee, K.Y., Parlett, C.M.A., Bayazit, M.K., Lau, C.C., Ruan, Q., Moniz, S.J.A., Lee, A.F., & Tang, J. (2015). Size-controlled TiO₂ nanoparticles on porous hosts for enhanced photocatalytic hydrogen production. *Applied Catalysis: A: General*, 521, 133-139.
- Khan, H., & Swati, I.K. (2016). Fe³⁺-doped anatase TiO₂ with d-d transition, oxygen vacancies and Ti³⁺ centres: synthesis, characterization, UV/vis photocatalytic and mechanistic studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55(23), 2-23.
- Liao, C.-H., Huang, C.-W. & Wu, J.C.S. (2012). Review hydrogen production from semiconductor-based photocatalysis via water splitting. *Catalysis*, 2, 490-516.
- Yan, H., Wang, X., Yao, M. & Yao, X. (2013). Band structure design of semiconductors for enhanced photocatalytic activity: the case of TiO₂. *Nature, Science Progress*, 23(4), 402-407.