



# COMPLETE

Journal of Computer, Electronic,  
and Telecommunication

Vol. 1 No.2 December 2020



## JURNAL

KEMAJUAN TEKNIK  
KOMPUTER, ELEKTRO, & TELEKOMUNIKASI

ISSN: 2723-4371 E-ISSN: 2723-5912

Website: [journal.ittelkom-sby.ac.id/complete](http://journal.ittelkom-sby.ac.id/complete) | E-mail: [complete@ittelkom-sby.ac.id](mailto:complete@ittelkom-sby.ac.id)

COMPLETE | Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication | Vol. 1 No.2 December 2020



Institut Teknologi Telkom Surabaya  
Ketintang Str. No. 156, Surabaya, 60231,  
East Java, Indonesia  
E-mail: [complete@ittelkom-sby.ac.id](mailto:complete@ittelkom-sby.ac.id);  
Web: [journal.ittelkom-sby.ac.id/complete](http://journal.ittelkom-sby.ac.id/complete)

# **EDITORIAL TEAM**

## **Editor in Chief:**

Dr. Purba Daru Kusuma, ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

## **Editorial Members:**

Isa Hafidz., ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Billy Montolalu, S.Kom., M.Kom., *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

## **Peer Reviewers:**

Dr. Purba Daru Kusuma, ST, MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Dr. Susijanto Tri Rasmana, S.Kom., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Dimas Adiputra, ST., M.Phil, PhD, *Universiti Teknologi Malaysia*

Muhsin, ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Ardiansyah Al Farouq, S.ST., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Anifatul Faricha, ST., M.Sc, *Tokyo Institute of Technology*

Risdillah Mimma Untsa, S.ST., M.T, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Hamzah U. Mustakim, ST., MT, *Institut Teknologi Telkom Surabaya*

Mohamad Yani, S.ST., M.Phil, *Tokyo Metropolitan University*

## **Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication**

Faculty of Electrical Engineering - Institut Teknologi Telkom Surabaya

Ketintang Str. No. 156, Surabaya, 60231, East Java, Indonesia

Phone. +6285 234852155; E-mail: [complete@ittelkom-sby.ac.id](mailto:complete@ittelkom-sby.ac.id);

Web: [journal.ittelkom-sby.ac.id/complete](http://journal.ittelkom-sby.ac.id/complete)

# TABLE OF CONTENTS

## COVER PAGE

<b>EDITORIAL TEAM</b> .....	i
<b>TABLE OF CONTENTS</b> .....	ii
<b>ABOUT THE JOURNAL</b> .....	iii
<b>PREFACE</b> .....	iv

## ARTICLES

1. Analisa Kinerja Teknik Reduksi PAPR Metode SLM dan HPA Predistorsi dengan Pemodelan Hammerstein pada Sistem OFDM..... 1-10
2. Analisis Kualitas Model Proses dalam Implementasi Process Mining : Literature Review.....11-20
3. Preprosesing serta Normalisasi pada Dataset Kupu-Kupu untuk Ekstraksi Fitur Warna, Bentuk dan Tekstur..... 21-28
4. Estimasi Kanal Sistem OFDM pada Kanal Fading Rayleigh dengan Metode Piecewise Linear..... 29-36
5. Algoritme Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Optimasi Perencanaan Produksi Agregat Multi-Site pada Industri Tekstil Rumahan..... 37-45

## ABOUT THE JOURNAL

COMPLETE : Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication is an official journal of Faculty Electrical Engineering, Institut Teknologi Telkom Surabaya. It publishes research or review articles in the field of Computer, Electronic, and Telecommunication technology. This journal provides platform for research lecturers, the reviewer, practitioners, industry, and observers across Indonesia and overseas to promote, share, and discuss new issues and development of technology. Scope of the journal include :

- Technology utilization of maritime resources
- Strengthening infrastructure maritime
- Technology and management safety transportation
- Industrial strengthening technology transportation
- Supporting infrastructure and transportation system
- Operational efficiency
- Electronics Technology
- Telecommunication Technology
- Computer Technology
- System Security
- Advanced Robotics Technology
- Technology and disaster management
- Advanced Power Electronics
- Application of Power System
- Renewable Energy
- Chips Technology
- Smart IoT Devices
- 5G Technology and Ecosystems
- Technology and management environment

COMPLETE published twice a year. Editors invite research lecturers, the reviewer, practitioners, industry, and observers to contribute to this journal. The language used in the form of Indonesian and English. All accepted manuscripts will receive individual digital object identifier (DOI) and indexed by Google Scholar. The online PDF version of the journal is open access from [journal.ittelkom-sby.ac.id/complete](http://journal.ittelkom-sby.ac.id/complete). Subscription of the hard copy can be requested by email to [complete@ittelkom-sby.ac.id](mailto:complete@ittelkom-sby.ac.id).

## **PREFACE**

Welcome to the Journal of Computer, Electronic, and Telecommunication, Vol. 1, Issue No. 2. It is my privilege and pleasure to present the second volume of this peer-reviewed journal, the second published journal under Institut Teknologi Telkom Surabaya. The aim of this journal is to accommodate the results of research publications through journals, from national to worldwide, as part of continuous improvement.

As the chairman of COMPLETE, I would like to thank many people who supported to this journal, especially Research and Community Service Units (LPPM). Furthermore, as the editor in chief, I would like to extend my sincere thanks to all members of the editorial and the advisory boards from Institut Teknologi Telkom Surabaya, whose service, dedication, and commitment have made the creation of this journal possible. We work together trying to continuously improve the quality and excellence of articles published.

It is our hope that COMPLETE could deliver valuable and interesting information and stimulate further research to the telecommunications, electrical, and computer engineering communities throughout the world.

Surabaya, December 2020

Dr. Purba Daru Kusuma ST., MT  
Editor in Chief

# Analisa Kinerja Teknik Reduksi PAPR Metode SLM dan HPA Predistorsi dengan Pemodelan Hammerstein pada Sistem OFDM

Ida Anisah<sup>1</sup>, Yoedy Moegiharto<sup>2</sup>, Mohamad Ridwan<sup>3</sup>, Ikatya Hana Idfira<sup>4\*</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya;

\* Correspondence: [ida@pens.ac.id](mailto:ida@pens.ac.id);

**Abstrak:** Teknik OFDM mempunyai kelemahan, salah satunya adalah tingginya PAPR yang akan menyebabkan distorsi non-linear pada *Power Amplifier* (PA), dikarenakan PA membatasi keluaran dengan nilai tertentu yang dapat mengurangi efisiensi daya amplifier. Dalam mengatasi masalah tersebut maka diperlukan teknik reduksi PAPR. Untuk teknik reduksi PAPR efisien yang digunakan adalah *Selective Mapping* (SLM). Teknik Reduksi PAPR SLM sendiri tidak dapat digunakan untuk memperbaiki daerah non-linear pada Power Amplifier, oleh karena itu diterapkan teknik pemodelan HPA Predistorsi untuk meningkatkan efisiensi dari PA dengan memperluas jangkauan linear dan mencegah sinyal jatuh ke wilayah saturasi PA. Untuk pemodelan HPA yang digunakan yaitu pemodelan Hammerstein. Model Hammerstein ini sederhana namun efektif untuk menggambarkan kinerja PA dan kinerja predistorter non-linear akan berlawanan dengan PA dengan menggunakan efek memori. Hasil kerja dari teknik gabungan tersebut dapat dianalisa berdasarkan kurva BER dan kurva CCDF yang dihasilkan. Performansi BER dapat diperbaiki ketika menggunakan teknik reduksi SLM yang dikombinasikan dengan Teknik Predistorsi, dimana pada nilai SNR sebesar 15 dB sudah mampu mengatasi probabilitas BER. Namun, ketika tanpa Teknik Predistorsi baru bisa mengatasi probabilitas BER pada nilai SNR sebesar 22 dB. Untuk teknik reduksi SLM dan Teknik Predistorsi dengan subblok 16 mampu menghasilkan nilai lebih baik daripada saat menggunakan subblok 4 dan 8 yaitu dapat mencapai probabilitas BER hingga  $10^{-6}$  dengan nilai SNR 14 dB, dan sudah dapat mengatasi probabilitas BER pada SNR 15 dB. Dengan Teknik Predistorsi ini mampu meningkatkan linearisasi pada PA. Sehingga dapat dibuktikan untuk dapat melewati HPA, sinyal dengan reduksi menggunakan subblok 4 sudah dapat melewati HPA yang mempunyai linearisasi tinggi.

**Kata Kunci:** OFDM; PAPR; Pemodelan Hammerstein, Predistorsi, *Selective Mapping*;

---

## 1. Pendahuluan

Saat ini komunikasi menjadi kebutuhan yang sangat penting. Para pengguna jasa telekomunikasi berharap untuk dapat melakukan komunikasi dan pengiriman data dengan jumlah besar yang berlangsung cepat dan berkualitas tinggi dengan teknologi nirkabel. Teknologi nirkabel membutuhkan kemampuan pengiriman data yang berukuran besar dengan kecepatan yang tinggi dan membutuhkan bandwidth yang besar, namun bandwidth yang tersedia hanya terbatas. Oleh karena itu dalam pengiriman data pada sistem komunikasi diterapkan teknik transmisi multi-carrier yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Pada system OFDM *subcarrier-subcarrier* akan di IDFT/IFFT sehingga dapat saling tegak lurus satu sama lain sehingga efisiensi *bandwidth* dapat terpenuhi. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) diketahui sangat tahan terhadap kanal multipath dan hemat bandwidth. Dengan harapan, bila terjadi distorsi pada sistem komunikasi yang menyebabkan *Intersymbol Interference* (ISI) atau *Intercarrier Interference* (ICI) pada penerima masih dapat dipisahkan pada sub kanal dengan menggunakan DFT/FFT.

Di dalam sistem OFDM ini terdapat beberapa kelemahan yaitu salah satunya tingginya nilai Peak Average Power Ratio (PAPR) pada sinyal yang dikirimkan, yang dapat menyebabkan penyebaran spektral yang signifikan dan distorsi in-band ketika sinyal OFDM melewati penguat daya non-linear (PA). Tingginya nilai PAPR ini dapat menurunkan efisiensi daya dari high power amplifier, menyebabkan rentan terhadap distorsi sehingga sinyal yang dikirimkan menjadi non-linear, dan dapat meningkatkan kompleksitas Analog to Digital (A/D) maupun sebaliknya Digital to Analog (D/A) [1]. Pada penelitian ini digunakan teknik reduksi PAPR Selective Mapping (SLM). Teknik ini mempunyai skema yang sangat fleksibel dan memiliki kinerja efektif dalam pengurangan PAPR tanpa distorsi sinyal [2]. Namun, teknik tersebut hanya berkonsentrasi pada pengurangan PAPR dan tidak mempertimbangkan model non-linear PA.

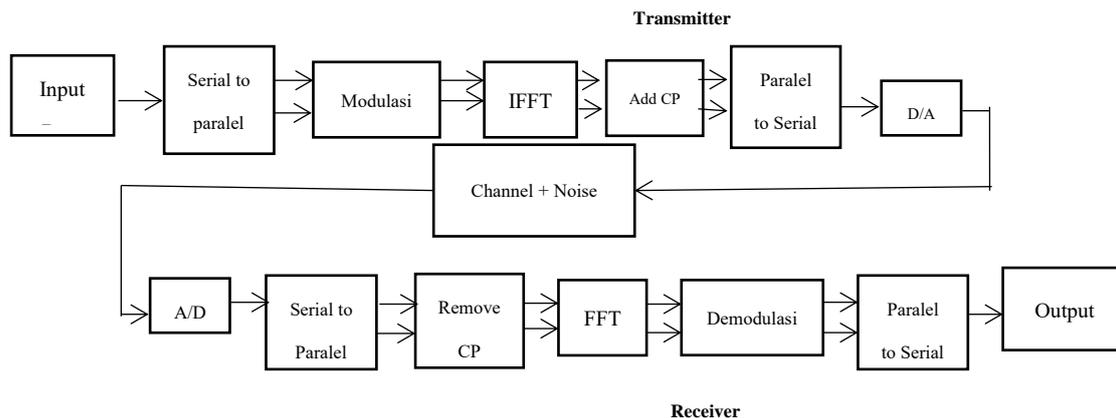
Teknik Predistorsi dalam hal ini merupakan teknik yang dapat memperluas jangkauan linear dan juga meningkatkan efisiensi dari PA. Dalam Teknik Predistorsi dipelajari untuk membuat kompensasi untuk karakteristik non-linear dari PA [3]. Teknik Predistorsi ini mempunyai karakteristik yang berlawanan dari PA. Untuk Teknik Predistorsi yang digunakan yaitu Teknik Predistorsi dengan pemodelan HPA Hammerstein. Input dari Pemodelan Hammerstein ini berupa non-linear statik dengan output dari PA Hammerstein adalah linear dinamik. Hasil menunjukkan bahwa PA menggunakan model Hammerstein lebih mudah untuk memperkirakan, membutuhkan lebih sedikit parameter untuk mengidentifikasi dan mencapai hasil yang lebih baik ketika pemodelan Hammerstein dapat relatif sederhana [4].

Dalam penelitian ini, peneliti mengusulkan analisa hasil performansi kinerja teknik reduksi SLM yang dikombinasikan dengan Teknik Predistorsi Hammerstein yang dapat ditunjukkan dengan kurva CCDF, kurva AM/AM dan kurva BER yang dihasilkan. Metode teknik reduksi SLM diterapkan untuk mengurangi PAPR sinyal OFDM, yang mencegah sinyal jatuh ke wilayah saturasi PA dan Teknik Predistorsi untuk memperluas jangkauan linear PA, sehingga dapat memperbaiki performansi pada sistem.

## 2. Model Sistem

### 2.1. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada sisi pengirim (*transmitter*), informasi yaitu  $x(t)$  yang berbentuk serial diubah menjadi data paralel sebelum masuk ke dalam proses modulasi [5].



Gambar 1. Blok Diagram Sistem OFDM

Sinyal hasil modulasi tersebut masuk ke dalam IFFT (*Inverse Fast Fourier Transform*) untuk membuat frekuensi data saling tegak lurus atau *orthogonal* sehingga didapatkan  $x(n)$  pada persamaan 2.1 berikut :

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (2.1)$$

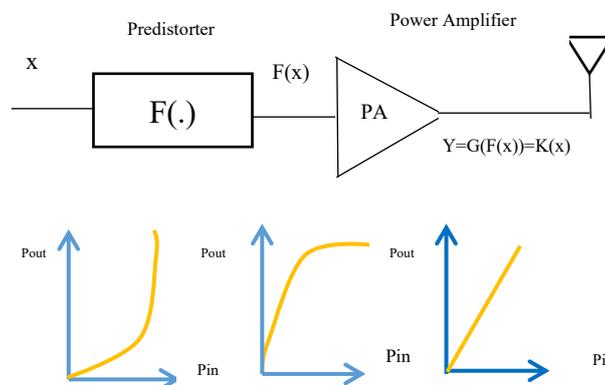
Output dari IFFT akan ditambahkan *cyclic prefix* sebagai pemisah frekuensi pembawa yang saling tumpang tindih. *Cyclic Prefix* didapatkan dari salinan bagian akhir simbol OFDM yang ditambahkan pada awal simbol. Dengan menggunakan *cyclic prefix* akan mengurangi ISI (*inter-symbol interference*) dan ICI (*inter-carrier interference*). Setelah proses penambahan *cyclic prefix*, data/informasi kemudian diubah lagi ke dalam bentuk serial dan melalui proses konversi dari data digital ke analog sebelum data tersebut dikirimkan melalui udara. Sinyal yang dikirim oleh *transmitter* berupa sinyal yang saling *overlapping* sehingga dapat menghemat *bandwidth*. Pada OFDM kondisi *overlapping* ini tidak menimbulkan interferensi antar kanal.

Proses pada penerima (*receiver*) merupakan kebalikan dari proses yang terjadi pada *transmitter*. Sinyal analog yang baru diterima oleh *receiver* dikonversi menjadi sinyal digital untuk diproses. Sinyal tersebut diubah dari serial ke parallel. Setelah itu dilakukan pembuangan *cyclic prefix* dan dilakukan proses FFT. FFT berfungsi sebagai pengurai simbol OFDM yaitu memisahkan antara frekuensi *carrier* dengan simbol OFDM, sehingga dapat dihasilkan  $x(k)$  yang dapat ditulis pada persamaan 2.2 sebagai berikut. Setelah proses FFT sinyal didemodulasi dan diubah terlebih dahulu dari parallel ke serial, kemudian didapatkan sinyal yang diterima dalam bentuk  $y(n)$ .

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \tag{2.2}$$

## 2.2. Predistorsi

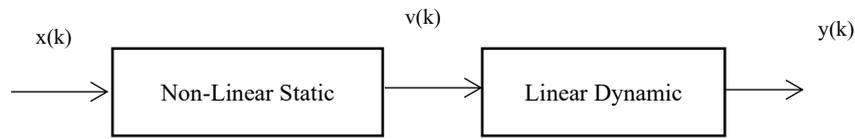
Jika PA ideal, perbedaan antara input dan output dari PA hanya akan mendapatkan gain yang hanya perkalian dengan nomor skalar. Terlebih lagi jika PA ideal, gain dari penguat daya akan sama untuk semua tingkat input, namun karena mendapatkan kompresi yang juga menyebabkan non-linearitas; gain tidak konstan untuk semua level input. Untuk mengkompensasi non-linearitas dan efek memori dari PA, algoritma predistorsi digital diperlukan. Predistorsi adalah teknologi linearisasi PA yang efektif [6][7]. Model predistorsi memiliki karakteristik terbalik dari PA. Namun cascade predistorter dan PA membuat output PA menjadi linear sehubungan dengan input predistorter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Sementara itu kita dapat melihat bahwa untuk sinyal besar, hasil keluarannya dibatasi pada level tertentu. Meskipun predistorter diterapkan sebelum PA, output linear daerah saturasi kecil. Ketika berada pada daerah saturasi, predistorter tidak akan bekerja [8].



Gambar 2. Dasar Linearisasi Predistorsi

### 2.3. Model Hammerstein

Model Hammerstein terdiri dari sistem non-linear tanpa memori (memoryless) diikuti oleh sistem *linear time-invariant* (LTI). Dimana Masukan struktur Hammerstein,  $x(k)$  adalah input model linear dan  $y(k)$  adalah model linear yang menjadi output struktur Hammerstein. Pemodelan Hammerstein dapat digambarkan pada Gambar 3 [9] :



**Gambar 3.** Pemodelan Hammerstein

$$v(k) = \sum_{p=0}^p \gamma_p \cdot x(k) \cdot |x(k)|^p \quad (2.3)$$

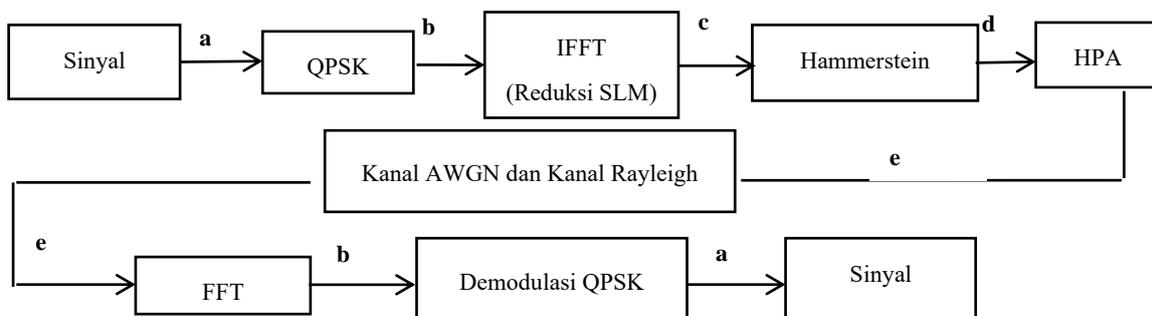
$$y(k) = \sum_{d=1}^D a_d \cdot y(k-d) + \sum_{n=0}^N \beta_n \cdot v(k-n) \quad (2.4)$$

Dengan  $y(k)$  keluaran PA atau predistorer dan  $v(k)$  keluaran blok *memoryless non-linear*,  $p$  adalah urutan dari polinomial *memoryless*, sementara  $n$  dan  $d$  adalah urutan *pole / zero* umum masing-masing. Dengan menggabungkan persamaan 2.3 dan 2.4 maka diperoleh persamaan :

$$y(k) = \sum_{d=1}^D a_d \cdot y(k-d) + \sum_{n=0}^N \beta_n \cdot \sum_{p=0}^p \gamma_p \cdot x(k-n) \cdot |x(k-n)|^p \quad (2.5)$$

### 2.4. Teknik Gabungan Reduksi PAPR SLM dan Model Hammerstein

Blok diagram pada Gambar 2 merupakan sistem yang dirancang pada penelitian ini. Pertama, data dibangkitkan secara acak sejumlah simbol input yang ditentukan berbentuk serial (a). Data input yang dibangkitkan secara acak selanjutnya akan dimodulasi menggunakan modulasi QPSK (b). Setelah itu, hasil dari modulasi akan diteruskan untuk direduksi menggunakan teknik reduksi Selective Mapping (c). Pada SLM, blok data input disalin menjadi U data blok yang disusun secara paralel. Kemudian output sinyal setiap blok, akan diolah menggunakan proses IFFT yaitu mengubah sinyal dari domain frekuensi menjadi domain waktu.



**Gambar 2** Diagram Teknik Gabungan Reduksi SLM dan Hammerstein Model

Setelah itu sinyal yang telah di IFFT akan dipilih output yang memiliki nilai PAPR terendah. Hasil nilai PAPR terendah dipilih untuk ditransmisikan dan digunakan sebagai input dari Teknik Predistorsi Hammerstein untuk memperluas jangkauan linear dari PA (d). Teknik Predistorsi Hammerstein ini digunakan untuk menghindari terjadinya distorsi non-linear, sehingga saat masuk menuju HPA sinyal akan lebih sedikit distorsinya (e). Kemudian dikirimkan melalui kanal ideal AWGN dan Rayleigh.

Pada sisi penerima dilakukan konversi dari serial ke paralel, selanjutnya diubah ke domain waktu dengan FFT (b), dan dilakukan konversi lagi dari paralel ke serial. Terakhir dilakukan proses demodulasi QPSK (a). Sehingga didapatkan bentuk sinyal OFDM sama pada saat dikirim. Selanjutnya akan dilakukan pengeplotan kurva CCDF untuk mengetahui kinerja dari teknik reduksi PAPR SLM dan akan dilakukan pengeplotan kurva BER untuk mengetahui perbandingan kinerja sistem dengan menggunakan Teknik Predistorsi dan ketika tanpa menggunakan Teknik Predistorsi.

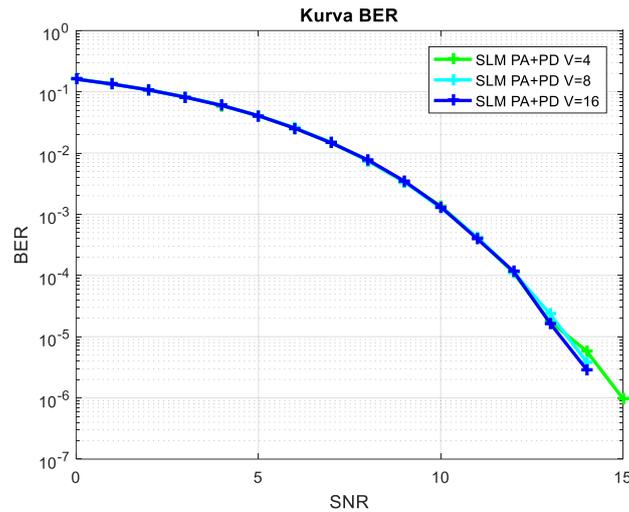
### 3. Hasil

#### 3.1. Hasil Simulasi dan Analisa Sistem OFDM dengan Teknik Reduksi SLM dan Predistorsi Hammerstein

Pada pengujian ini dilakukan plot kurva BER antara sistem OFDM dengan teknik reduksi yang mempunyai subblok berbeda yaitu subblok 4, subblok 8, dan subblok 16 . Untuk warna hijau yaitu kurva BER untuk teknik reduksi SLM dan predistorsi subblok 4, untuk kurva berwarna biru muda yaitu kurva BER untuk teknik reduksi subblok 8, untuk kurva berwarna biru tua yaitu kurva BER untuk teknik reduksi subblok 16. Jumlah bit yang dibangkitkan adalah 1.024.000 bit , untuk modulasi yang digunakan QPSK, dan subcarrier yang digunakan berjumlah 512. Untuk kurva BER SLM dan Teknik Predistorsi beda subblok dapat ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Pada Tabel 1 dapat dianalisa, saat ketiga kondisi pada nilai SNR 6 dB, memiliki probabilitas BER  $10^{-2}$ . Pada saat SNR bernilai 13 dB, probabilitas BER sudah mencapai  $10^{-5}$ . Pada saat SNR 14 dB untuk subblok 4, subblok 8, dan subblok 16 probabilitas BER sudah mencapai  $10^{-6}$ . Namun, pada subblok 8 dan subblok 16 pada saat SNR 15 dB sudah dapat mengatasi probabilitas BER. Sedangkan, untuk subblok 4 baru bisa mengatasi probabilitas BER saat berada pada SNR 16 dB dengan data yang dikirim sebanyak 1.024.000 bit.

Dari penggunaan 3 subblok yang berbeda hasilnya tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Tetapi untuk nilai probabilitas BER terbaik terdapat pada subblok 16 jika dibandingkan dengan subblok 4 dan subblok 8. Untuk nilai BER terhadap SNR dengan 3 subblok yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Kurva BER dengan Subblok Berbeda

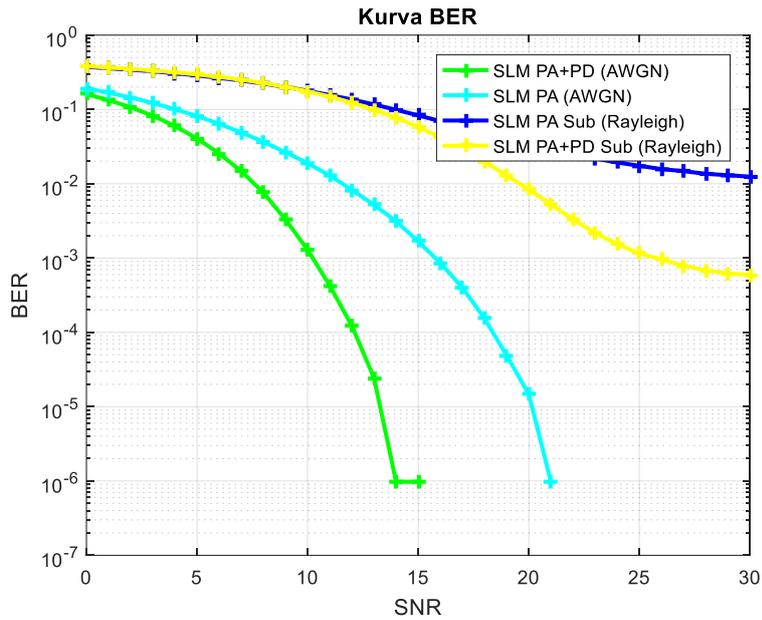
Tabel 1. Nilai BER terhadap SNR hasil simulasi kinerja teknik reduksi PAPR SLM dengan subblok yang berbeda.

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)		
	Subblok V=4	Subblok V=8	Subblok V=16
6	2x10 <sup>-2</sup>	2x10 <sup>-2</sup>	2x10 <sup>-2</sup>
7	1x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-2</sup>
8	7x10 <sup>-3</sup>	7x10 <sup>-3</sup>	7x10 <sup>-3</sup>
9	3x10 <sup>-3</sup>	3x10 <sup>-3</sup>	3x10 <sup>-3</sup>
10	1x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-3</sup>
11	4x10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-4</sup>	4x10 <sup>-4</sup>
12	1x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>	1x10 <sup>-4</sup>
13	1x10 <sup>-5</sup>	2x10 <sup>-5</sup>	1x10 <sup>-5</sup>
14	6x10 <sup>-6</sup>	4x10 <sup>-6</sup>	3x10 <sup>-6</sup>
15	1x10 <sup>-6</sup>	-	-

### 3.2. Hasil Simulasi dan Analisa Teknik Reduksi PAPR SLM dengan Teknik Predistorsi dan Tanpa Teknik Predistorsi Menggunakan Subcarrier 512 dengan Kurva BER

Pada pengujian ini dilakukan pada sistem OFDM menggunakan teknik reduksi PAPR SLM dengan Teknik Predistorsi pemodelan HPA Hammersrtein dan tanpa Teknik Predistorsi pemodelan Hammerstein yang ditampilkan dengan menggunakan kurva BER. Dalam pengujian menggunakan jumlah subcarrier 512. Subblok yang digunakan berjumlah 4 dengan data yang dibangkitkan 1.024.000 bit. Untuk hasil kurva BER ditunjukkan dengan Teknik Predistorsi dan tanpa Teknik Predistorsi dengan subcarrier 512 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Dari Tabel 3.2 diatas dapat dianalisa bahwa nilai BER yang dihasilkan untuk Teknik gabungan Reduksi SLM dengan Teknik Predistorsi Hammerstein dan tanpa menggunakan Teknik Predistorsi



**Gambar 4.** Kurva BER dengan Teknik Predistorsi dan Tanpa Teknik Predistorsi dengan Subcarrier 512

**Tabel 2.** Nilai BER Terhadap SNR dengan Menggunakan Teknik Predistorsi dan Tanpa Teknik Predistorsi dengan Subcarrier 512

SNR (dB)	Bit Error Rate (BER)			
	Subcarrier PA+PD AWGN	Subcarrier 512 PA AWGN	Subcarrier 512 PA Rayleigh	Subcarrier 512 PA+PD
6	$2 \times 10^{-2}$	$6 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-1}$
7	$1 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-1}$
8	$7 \times 10^{-3}$	$3 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-1}$
9	$3 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$	$2 \times 10^{-1}$
10	$1 \times 10^{-3}$	$2 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
11	$4 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
12	$1 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
13	$2 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
14	$10 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{-3}$	$7 \times 10^{-2}$	$10 \times 10^{-2}$
15	-	$1 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-2}$	$8 \times 10^{-2}$

Hammerstein. Saat nilai SNR 6 dB, nilai probabilitas BER dari sistem yang menggunakan Teknik Predistorsi dan tidak menggunakan Teknik Predistorsi melalui kanal AWGN sama yaitu  $10^{-2}$ . Saat nilai SNR bertambah, sistem yang menggunakan Teknik Predistorsi Hammerstein mengalami perbaikan nilai probabilitas BER lebih baik. Ketika dengan menggunakan Predistorsi melalui kanal AWGN pada SNR bernilai 14 dB sudah mempunyai nilai probabilitas BER sebesar  $10^{-7}$ , sehingga pada nilai SNR 15 dB sudah dapat mengatasi nilai probabilitas BER dengan jumlah data input

1.024.000 bit. Ketika tanpa menggunakan Teknik Predistorsi baru dapat mengatasi probabilitas BER sebesar  $10^{-7}$  pada nilai SNR 21 dB dengan data input 1.024.000 bit. Dapat dianalisa bahwa Teknik Predistorsi dapat memperbaiki kinerja BER dengan baik. Untuk hasil pengamatan dari kurva BER dapat ditampilkan pada Tabel 2.

Untuk teknik gabungan Reduksi SLM dengan Teknik Predistorsi Hammerstein dan tanpa menggunakan Teknik Predistorsi Hammerstein melalui kanal Rayleigh. Saat data dikirim melalui kanal Rayleigh sistem mempunyai nilai probabilitas BER lebih besar dari pada saat data dikirim melalui kanal AWGN. Tidak seperti saat melalui kanal AWGN, pada kurva BER dengan Teknik Predistorsi melalui kanal Rayleigh pada SNR 30 dB bisa mengatasi probabilitas error sebesar  $10^{-4}$ , sedangkan saat tanpa Teknik Predistorsi melalui kanal Rayleigh hanya mampu mengatasi probabilitas error sebesar  $10^{-2}$ . Dapat dianalisa bahwa saat menggunakan kanal AWGN mampu mengatasi nilai BER lebih baik daripada saat menggunakan kanal Rayleigh. Walaupun menggunakan kanal Rayleigh, sistem dengan menggunakan Teknik Predistorsi tetap menghasilkan kinerja lebih baik daripada sistem tanpa menggunakan Teknik Predistorsi.

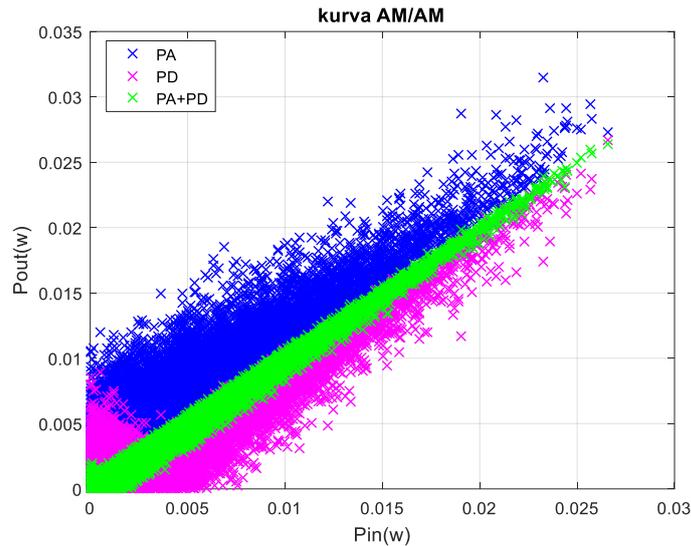
### 3.3. Hasil Simulasi dan Analisa Kurva Linearisasi AM/AM pada Teknik Predistorsi Pemodelan HPA Hammerstein

Pada pengujian ini dilakukan pada kurva linearisasi AM/AM yang dihasilkan dari teknik reduksi SLM dan Teknik Predistorsi pemodelan HPA Hammerstein. Pada kurva linearisasi ini menunjukkan, jika sebelum dilakukan Teknik Predistorsi sebuah PA mempunyai linearitas yang kecil, sehingga setelah dilakukannya Teknik Predistorsi ini, PA menghasilkan linearitas yang lebih besar, sehingga tidak terjadi distorsi non-linear yang akan terjadi di HPA dan juga dengan Teknik Predistorsi ini dapat meningkatkan daerah linear pada amplifier. Pada kurva berwarna biru menunjukkan kurva setelah melewati PA, kemudian pada kurva berwarna merah muda menunjukkan kurva predistorsi yang mempunyai karakteristik berlawanan dengan PA, dan kurva berwarna hijau menunjukkan kurva linearitas setelah dilakukan Teknik Predistorsi. Ketiga kurva tersebut dapat digabungkan menjadi kurva AM/AM seperti pada Gambar 3.

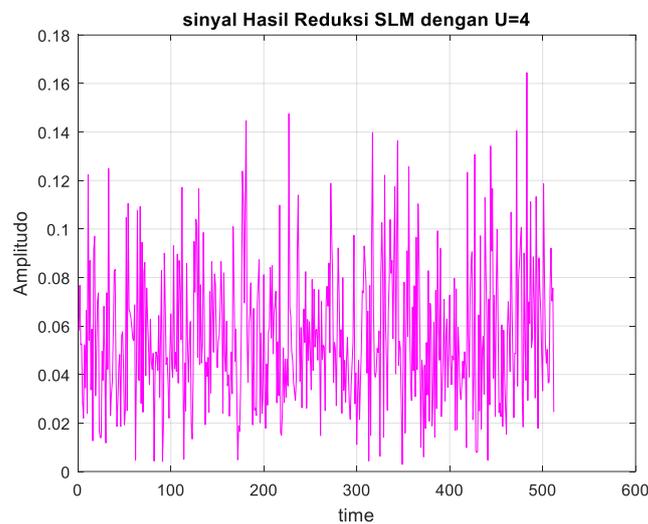
Pada pengujian ini dapat dianalisa bahwa berdasarkan hasil kurva AM/AM dari teknik reduksi dan Teknik Predistorsi pemodelan Hammerstein menghasilkan PA yang linear. Dimana, dapat diketahui bahwa daya output maksimumnya yaitu sebesar 0,289 watt. Untuk keluaran tertinggi pada amplitudo sinyal setelah dilakukannya reduksi yaitu sebesar 0,17 V, yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sehingga apabila dikonversikan ke amplitudo dalam volt dapat dituliskan :

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R} \quad (3.1)$$

dengan R dianggap 1, maka  $V_{out} = \sqrt{0,289} \text{ watt}$ , dan  $V_{out} = 0,17 \text{ V}$ . Dapat dianalisa bahwa sinyal dengan hasil teknik reduksi Subblok 4 yang sebelumnya tidak dapat melewati batas HPA kelas AB ZHL100+6W karena masih memiliki PAPR yang tinggi yang melebihi batas HPA, dengan dilakukannya Teknik Predistorsi sinyal hasil reduksi dengan Subblok 4 ini sudah mampu digunakan untuk melewati HPA dengan tidak merusak sinyal yang melewatinya karena HPA masih mampu bekerja secara linear dengan nilai keluaran tertinggi amplitudo sinyal yang dimiliki sinyal hasil reduksi Subblok 4.



Gambar 3 Kurva AM/AM



Gambar 4 Sinyal Hasil Reduksi Subblok 4

Dengan menggunakan sinyal hasil reduksi pada Subblok 4 sudah dapat digunakan untuk melewati HPA tanpa harus menggunakan subblok yang lebih banyak lagi, karena dengan semakin banyaknya jumlah subblok yang digunakan dapat meningkatkan komputasi sistem dan membutuhkan waktu yang lama dalam memprosesnya.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sistem dan analisa pada *software* MATLAB, dapat disimpulkan bahwa Pada teknik reduksi SLM yang dikombinasikan dengan Teknik Predistorsi pemodelan HPA Hammerstein mempunyai probabilitas BER yang paling baik dibanding saat menggunakan subblok 4 dan 8, dimana saat menggunakan subblok 8 dimana pada SNR 14 dB sudah mampu mengatasi probabilitas sebesar  $10^{-6}$ . Pada teknik reduksi SLM yang dikombinasikan dengan Teknik Predistorsi pemodelan HPA menghasilkan performansi BER yang lebih baik daripada saat tidak menggunakan Teknik Predistorsi pemodelan HPA, dimana nilai BER yang didapat saat menggunakan Teknik Predistorsi mampu mengatasi probabilitas BER sebesar  $10^{-7}$  pada SNR 15 dB, ketika tidak menggunakan Teknik Predistorsi baru bisa mengatasi probabilitas BER  $10^{-7}$  pada SNR 21 dB. Dengan Teknik

Predistorsi ini mampu meningkatkan linearitas pada PA, dimana sebelumnya sinyal dengan reduksi menggunakan subblok 4 tidak dapat melewati HPA, ketika dilakukan Teknik Predistorsi linearitas HPA bertambah dan sinyal dengan teknik reduksi subblok 4 bisa melewati HPA

## Referensi

1. Agustana Prasetia M., Rina Puji Astuti, Nachwan Mufti, "Reduksi PAPR Pada Sinyal OFDM Dengan Selective Mapping Menggunakan Turbo Coding", Tugas Akhir Universitas Telkom Bandung, 2008.
2. S. H. Han and J. H. Lee, "An Overview of peak-to-average power ratio reduction techniques for multicarrier transmission," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, pp. 56-65, Apr. 2005.
3. Gang Tong, Qiang Wang, Guixin Wang. "A Performance Controllable PA linearization Scheme of Joint PAPR Reduction and Predistortion". IEEE. Wireless Technology Innovation Institute, Beijing University of Posts and Telecommunications. Beijing, China. 2012.
4. P.L. Gilabert, G. Montoro and E. Bertran. "On the Wiener and Hammerstein Models for Power Amplifier Predistortion". IEEE. Department of Signal Theory and Communications. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Spain. 2005.
5. F. Ouyang. "Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)". *Digital Communication for Practicing Engineers*. John B. Anderson, Ed. Canada: John Wiley & Sons, 2020.
6. G. Montoro, P. L. Gilabert, E. Bertran, "A New Digital Predictive Predistorter for Behavioral Power Amplifier Linearization", *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 17, No. 6, June 2007.
7. Jessica Chani-Cahuana, "Digital Predistortion for the Linearization of Power Amplifiers", *Communication Systems and Information Theory Group Department of Signals and Systems Chalmers University of Technology G`oteborg, Sweden*, 2015.
8. Emanuele Tolomei. "Design and implementation of a software predistorter for amplifier linearization in OFDM-based SDR systems". Department of Information Engineering. Anno Accademico: 2016.
9. A. Rahati Belabad, E. Iranpour and S. Sharifian "FPGA Implementation of a Hammerstein Based Digital Predistorter for Linearizing RF Power Amplifiers with Memory Effects", Vol. 47, No. 2, 2015.

# Analisis Kualitas Model Proses dalam Implementasi Process Mining : Literature Review

Afina Lina Nurlaili <sup>1\*</sup>, Agung Mustika Rizki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Informatika, UPN Veteran Jawa Timur; afina.lina.if@upnjatim.ac.id

<sup>2</sup> Informatika, UPN Veteran Jawa Timur; agung.mustika.if@upnjatim.ac.id

\* Correspondence: afina.lina.if@upnjatim.ac.id;

**Abstrak:** Proses bisnis memiliki peran dalam mengatur pola kerja suatu organisasi. Kerumitan dalam membuat proses bisnis menjadi tantangan tersendiri, terutama jika pekerjaan yang dicakup relatif banyak. *Process mining* menjadi salah satu solusi yang paling handal dengan secara otomatis dapat menemukan model proses, menganalisis kualitas model proses hingga dapat meningkatkan kualitas model proses dari data *event log* yang tersimpan pada sistem informasi. Penelitian ini mengevaluasi tiga algoritma process mining, yaitu Alpha, Alpha++, dan Heuristic Miner dalam hal pembuatan model proses dan kualitasnya. Berdasarkan evaluasi yang dilakukan, algoritma Alpha, Alpha++, dan Heuristic Miner memiliki kecocokan tersendiri untuk kasusnya masing-masing.

**Kata Kunci:** Alpha; Alpha ++; Event Log Process mining; Heuristic Miner.

---

## 1. Pendahuluan

Proses bisnis berfungsi mengatur pola kerja suatu organisasi. Namun, membuat proses bisnis yang baik merupakan pekerjaan yang sulit dan rumit. Dalam menangani permasalahan tersebut *process mining* menjadi solusi. [1]. *Process mining* mampu memodelkan proses bisnis secara otomatis, dengan menggunakan data yang direkam pada system informasi[2]. Secara umum, *process mining* adalah disiplin ilmu baru yang menyediakan teknik yang dapat digunakan untuk menemukan, mengukur kualitas dan meningkatkan proses bisnis [3].

Data yang digunakan sebagai masukan *process mining* disebut dengan *event log*, yaitu kumpulan aktivitas yang direkam secara berurutan yang terjadi selama pelaksanaan proses tertentu [4]. Setiap *event* mengacu pada aktivitas (yaitu langkah yang didefinisikan dalam proses bisnis) dan terhubung dengan *case* tertentu (mis.sebuah contoh proses bisnis) [5]. Urutan aktivitas yang termasuk dalam satu *case* disebut dengan *trace*. Event log juga dapat menyimpan informasi tambahan, seperti *resource* atau sumber daya (yaitu orang atau perangkat) yang menjalankan atau memulai suatu kegiatan, waktu suatu peristiwa atau atribut lain yang terkait dengan suatu proses bisnis [6].

Terdapat tiga jenis *process mining*. Jenis pertama adalah penemuan model proses, di mana model proses dibuat hanya dengan menggunakan perilaku yang diamati dalam *event log* [7]. Jenis kedua dari *process mining* adalah pemeriksaan kesesuaian kualitas, di mana model proses yang ada dibandingkan dengan *event log* dari proses yang sama [8]. Jenis ketiga adalah peningkatan model proses, di mana model proses ditingkatkan menggunakan informasi yang diperoleh dari event log. Dengan menggabungkan ketiga jenis tersebut, *process mining* dapat digunakan untuk memeriksa kepatuhan, menganalisis kemacetan, dan memprediksi penundaan, dan merekomendasikan tindakan untuk meminimalkan waktu pengerjaan yang diharapkan.

Tujuan dari penelitian ini melakukan studi komparasi efektivitas algoritma penemuan model proses dalam *process mining*. Algoritma yang digunakan untuk diuji adalah algoritma Alpha, Alpha++, dan Heuristic Miner. Selanjutnya dari ketiga algoritma tersebut dievaluasi dan dihitung kualitas tiap model proses yang terbentuk.

Paper ini disusun dengan susunan sebagai berikut: Bagian 1 merupakan pendahuluan berisi tentang latar belakang masalah. Bagian 2, tinjauan beberapa studi literatur dari beberapa peneliti

sebelumnya dan metode penelitian yang dilakukan. Kemudian Bagian 3 membandingkan hasil percobaan menggunakan studi kasus dan Bagian 4 menyajikan kesimpulan.

## 2. Bahan dan Metode

### 2.1. Bahan

Penyusunan paper ini menggunakan proses studi literatur. Berikut ini akan dijelaskan studi literatur yang telah dilakukan.

#### 2.1.1. Event Log

Paper ini menggunakan *event log* untuk proses analisis. Event log dapat menyimpan berbagai macam jenis informasi. *Event log* merupakan hasil dari rekaman aktivitas setiap kali seseorang mengerjakan sesuatu pada sistem informasi. *Event log* yang telah dikumpulkan lalu dianalisis sehingga dapat dijadikan sebagai pedoman pembuatan model proses bisnis dari suatu perusahaan untuk masa mendatang [9].

Untuk dapat menerapkan teknik *process mining*, hal yang pertama kali dilakukan adalah mengambil *event log* dari sumber data (misalnya: basis data, log transaksi, jejak audit, dll.). XES adalah format standar untuk *process mining* yang didukung oleh sebagian besar kakas bantu *process mining*. XES dibuat pada tahun 2010 oleh *IEEE Task Force on Process Mining*. Di samping XES (eXtensible Event Stream), format lain yang didukung oleh kakas bantu ProM adalah file MXML (Mining eXtensible Markup Language).

*Event log* memiliki beberapa istilah yang sering digunakan untuk dijadikan sebagai dasar analisis, yaitu *case*, *trace*, aktivitas, waktu, sumber daya. *Case* adalah satu rangkaian aktivitas yang saling terhubung dimulai dari aktivitas awal sampai aktivitas akhir untuk menyelesaikan masalah tertentu. *Trace* adalah kumpulan *case* yang memiliki jalur yang sama atau kesamaan rangkaian aktivitas. Aktivitas adalah pekerjaan yang telah dilaksanakan pada suatu proses bisnis. Waktu adalah waktu pelaksanaan yang dicatat pada setiap aktivitas. Sumber daya adalah orang atau perangkat yang bertugas menyelesaikan setiap aktivitas. Gambar 1 merupakan contoh event log dari sebuah perusahaan karaoke.

#### 2.1.2. Penemuan Model Proses

Jenis pertama dan termasuk proses yang paling penting pada *process mining* adalah penemuan model proses. Penemuan model proses merupakan teknik pengambilan event log dari sistem informasi sebagai masukan dan menghasilkan model proses [10]. Analisis menggunakan kemampuan penemuan model proses dengan mengumpulkan data event log dari sistem informasi dan membuat visualisasi alur kerja melalui sistem. Analisis dilakukan dengan memeriksa seluruh pola proses untuk mengungkap situasi yang menyebabkan kesalahan dan inefisiensi atau memperburuk risiko.

Penemuan model proses diawali dengan memeriksa seluruh aktivitas dan hubungan antar aktivitas yang paling sering muncul [11]. Analisis dapat memeriksa varian proses atau *trace* yang dinotasikan dalam subset data *event log* dan menganalisis bagaimana *trace* dalam *event log* ini berbeda satu dengan yang lain.

Trace ID	Case ID	Activity	Time	Resource
1	1	memesan ruangan	13/12/2015 08.00	Kirana
1	1	mengisi formulir	13/12/2015 08.01	Kirana
1	1	menghitung biaya	13/12/2015 08.02	Kirana
1	1	menghitung diskon	13/12/2015 08.03	Kirana
1	1	bersiap membayar	13/12/2015 08.04	Kirana
1	1	melakukan pembaya	13/12/2015 08.05	Kirana
2	2	memesan ruangan	13/12/2015 08.06	Paul
2	2	mengisi formulir	13/12/2015 08.07	Kirana
2	2	mengisi formulir	13/12/2015 08.08	Kirana
2	2	menghitung biaya	13/12/2015 08.09	Kirana
2	2	bersiap membayar	13/12/2015 08.10	Kirana
2	2	melakukan pembaya	13/12/2015 08.11	Paul
1	3	memesan ruangan	13/12/2015 08.00	Mila
1	3	mengisi formulir	13/12/2015 08.01	Gina
1	3	menghitung biaya	13/12/2015 08.02	Gina
1	3	menghitung diskon	13/12/2015 08.03	Gina
1	3	bersiap membayar	13/12/2015 08.04	Gina
1	3	melakukan pembaya	13/12/2015 08.05	Mila

**Gambar 1.** Contoh event log yang memiliki *case*, *trace*, aktivitas, waktu, sumber daya (actor)

Empat perspektif utama yang dicakup oleh *process mining* selama penemuan model proses meliputi [12]:

1. Perspektif *control-flow* yang berfokus pada urutan aktivitas. Tujuan dari perspektif ini adalah untuk menemukan gambaran komprehensif dari semua kemungkinan urutan aktivitas. Hasil dari perspektif ini biasanya dinyatakan dalam bentuk notasi pemodelan proses (misalnya, diagram BPMN, Petri net, EPC atau UML).
2. Perspektif organisasi berfokus pada informasi sumber daya dalam suatu aktivitas, yaitu aktor (misalnya, orang, sistem, peran atau departemen) yang terlibat dan bagaimana mereka terkait. Tujuannya adalah untuk menyusun organisasi dengan mengatur orang dalam hal peran dan unit organisasi atau untuk menunjukkan jaringan sosial.
3. Perspektif *case* berfokus pada karakteristik *case*. Sebuah *case* bisa ditentukan dengan melihat alur model proses atau oleh aktor yang mengerjakannya.
4. Perspektif waktu berkaitan dengan waktu dan frekuensi kejadian. Saat peristiwa terjadi pada suatu waktu, dimungkinkan untuk menemukan kemacetan, mengukur tingkat layanan, memantau pemanfaatan sumber daya, dan memprediksi waktu pemrosesan yang tersisa dari *case* yang berjalan.

### 2.1.3. Pengukuran Kualitas Model Proses

Jenis kedua dari *process mining* adalah pengukuran kualitas model proses. Di sini, model proses yang ada dibandingkan dengan event log dari proses yang sama [13]. Pemeriksaan kesesuaian kualitas dapat digunakan untuk memeriksa apakah data *real-time*, seperti yang tercatat di log, sesuai dengan model dan sebaliknya.

Algoritma *process mining* menganalisis tingkat kesesuaian antara model proses dan data event log. Beberapa kaskas bantu *process mining* menyediakan fitur untuk memeriksa dan menganalisis kinerja model proses berdasarkan identitas individu dan tim yang melaksanakan aktivitas.

Terdapat setidaknya dua jenis pengukuran model proses yang digunakan pada penelitian ini, yaitu fitness dan presisi. Pengukuran fitness memiliki nilai tinggi (atau setara dengan satu) apabila trace yang ada pada event log semakin banyak ditampilkan dalam model proses. Begitu juga sebaliknya nilai fitness akan semakin turun apabila trace yang ada pada event log semakin sedikit ditampilkan dalam model proses. Pengukuran presisi memiliki nilai tinggi apabila kemungkinan trace dari model proses yang terbentuk semakin sedikit dimana trace tersebut tidak terdapat pada event log. Begitu juga sebaliknya nilai presisi akan semakin turun apabila kemungkinan trace dari model proses yang terbentuk semakin banyak dimana trace tersebut tidak terdapat pada event log.

Nilai kualitas fitness dapat dilihat dinyatakan sebagai

$$Qf = \frac{CCE + LCE}{2} \quad (1)$$

dimana nilai LCE merupakan hasil perhitungan nilai kesesuaian *trace*, sedangkan nilai CCE merupakan hasil perhitungan nilai kesesuaian aktivitas. Nilai LCE dapat dihitung menggunakan

$$LCE = \frac{tmp}{tel} \quad (2)$$

dimana tmp merupakan jumlah *trace* dari *event log* yang muncul dalam model proses sedangkan tel merupakan jumlah keseluruhan *trace* yang terdapat pada *event log*. Nilai CCE dapat dihitung menggunakan

$$CCE = \frac{1}{2} \frac{(ael-amp)}{ael} + \frac{1}{2} \frac{(ael-atel)}{ael} \quad (3)$$

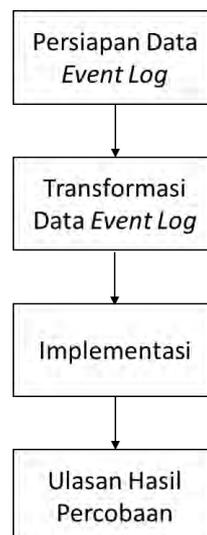
dimana ael merupakan total aktivitas yang terdapat pada event log, amp adalah jumlah aktivitas yang terdapat pada *event log* yang tidak muncul dalam model proses yang terbentuk, atel merupakan jumlah aktivitas yang ada pada *trace* yang terdapat pada event log setelah aktivitas terakhir yang muncul dalam model proses yang terbentuk. Nilai kualitas presisi dapat dinyatakan dengan

$$Qp = \frac{tmp}{tmp + ttmp} \quad (4)$$

dimana tmp merupakan trace yang terdapat pada event log dapat muncul dalam model proses yang terbentuk sedangkan ttmp merupakan trace yang terbentuk dari model proses yang tidak terdapat di *event log*.

## 2.2. Metode

Penelitian ini memiliki empat tahapan dasar: persiapan data event log, transformasi data event log dari CSV menjadi bentuk MXML menggunakan kakas bantu Disco, implementasi menggunakan kakas bantu ProM [14], dan ulasan hasil percobaan. Secara garis besar, tahapan proses yang dilaksanakan pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart pengerjaan penelitian

### 2.2.1. Persiapan Data Event Log

Tahapan penting yang perlu disiapkan sebelum melakukan percobaan penemuan model proses yaitu persiapan data. Persiapan data dilakukan dengan mengambil data event log yang telah disimpan dalam sistem informasi. Event log yang baik apabila terdapat aktivitas, waktu, dan resource. Event log yang dijadikan sebagai masukan model proses terdiri dari tiga puluh case.

### 2.2.2. Transformasi Data Event Log

Transformasi data event log dilakukan agar saat proses implementasi ke dalam kakas bantu ProM dapat terbaca. Sebuah kakas bantu seperti Disco milik Fluxicon dapat secara otomatis mengubah data event log berupa CSV menjadi bentuk MXML. Bentuk MXML dapat dilihat pada Gambar 3. Tidak terdapat perbedaan mencolok pada bentuk MXML hanya saja bentuk ini merupakan bentuk narasi dari bentuk CSV dan terdapat penulisan complete untuk setiap aktivitas yang telah dikerjakan.

```

<!-- MXML version 1.0 -->
<!-- Created by Fluxicon Disco (fluxicon.com/disco) -->
<!-- (c) 2020 by Fluxicon BV, Boshenshof 250, 5611 NS Eindhoven, The Netherlands -->
<WorkflowLog xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://is.tn.tue.nl/research/processmining/WorkflowLog.xsd">
  <Source program="Fluxicon Disco"/>
  <Process id="case.Sheet1.mxml.gz" description="Converted to MXML by Fluxicon Disco"/>
  <ProcessInstance id="1">
    <Data>
      <Attribute name="Variant" value="Variant 1"/>
      <Attribute name="Variant index" value="1"/>
    </Data>
    <AuditTrailEntry>
      <WorkflowModelElement name="ordering"/>
      <EventType>complete</EventType>
    </AuditTrailEntry>
    <AuditTrailEntry>
      <WorkflowModelElement name="input_transaction"/>
      <EventType>complete</EventType>
    </AuditTrailEntry>
    <AuditTrailEntry>
      <WorkflowModelElement name="calculating_cost"/>
      <EventType>complete</EventType>
    </AuditTrailEntry>
    <AuditTrailEntry>
      <WorkflowModelElement name="calculating_discount"/>
      <EventType>complete</EventType>
    </AuditTrailEntry>
  </ProcessInstance>
</WorkflowLog>

```

Gambar 3. Contoh hasil transformasi event log dalam bentuk MXML

### 2.2.3. Implementasi

Tahap implementasi dilakukan dengan melakukan ekstraksi event log menjadi sebuah model proses. Kakas bantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah ProM 5.2.

Data event log yang telah disiapkan seperti pada Gambar dan Gambar selanjutnya dimasukkan ke dalam ProM untuk dianalisis kualitas model proses. Berikut merupakan algoritma yang digunakan:

- Algoritma Alpha

Algoritma Alpha mengurutkan aktivitas berdasarkan hubungan antar aktivitas satu dengan yang lain [7]. Maka dari itu, akan didapatkan informasi proses mana yang merupakan relasi berurutan dan proses mana yang memiliki relasi paralel. Alpha dalam penggambaran model proses menggunakan Petri net. Petri net adalah grafik dua arah yang terdiri dari place, transisi, dan garis panah yang menghubungkan keduanya [15]. Fungsi dari place adalah sebagai penanda input atau output suatu transisi sedangkan transisi merupakan aktivitas yang ada pada proses bisnis. Beberapa relasi pada Petri net dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Follows ( $\succ$ ) apabila terdapat tuple aktivitas (A,B) saling terhubung
2. Causal ( $\rightarrow$ ) apabila terdapat aktivitas  $A \succ B$  dan  $B! \succ A$

3. Parallel (||) apabila terdapat aktivitas  $A > B$  dan  $B > A$
4. Unrelated (#) apabila terdapat aktivitas  $B! > B$  dan  $B! > A$

- Algoritma Alpha ++

Algoritma Alpha ++ dibuat dengan tujuan menangani kekurangan algoritma Alpha dan Alpha + [16]. Pada algoritma Alpha memiliki kelemahan tidak dapat menemukan length-one-loop, length-two-loop, aktivitas tersembunyi, aktivitas ganda, ketergantungan implisit, dan keterikatan pemilihan aktivitas.

- Algoritma Heuristic Miner

Algoritma Heuristic Miner adalah algoritma penemuan model proses yang menangani permasalahan *spaghetti processes* dengan berfokus pada jumlah kemunculan relasi antar aktivitas satu dengan lain pada *event log* dalam membentuk model proses [17]. *Spaghetti processes* merupakan event log yang memiliki relasi terlalu banyak dan rumit sehingga sulit untuk dibaca [5]. Relasi antar aktivitas dengan jumlah sedikit tidak akan dimunculkan pada model proses yang dibentuk oleh algoritma Heuristic Miner. Berikut merupakan langkah-langkah yang digunakan dalam pembentukan model proses oleh Algoritma Heuristic Miner:

1. Membuat matrik dependency graph untuk menyimpan jumlah relasi kebergantungan antar dua aktivitas.
2. Menentukan Dependency threshold, Positive Observation threshold, Relative to best threshold sebagai dasar pemilihan relasi kebergantungan yang akan dimunculkan dalam model proses.
3. Memeriksa jika terdapat short loop (length-one-loop atau length-two-loop).
4. Menentukan relasi parallel (XOR atau AND) antar aktivitas.
5. Model proses dapat terbentuk.

Kelebihan Algoritma Heuristic Miner yaitu mampu menampilkan aktivitas berulang berupa length-one-loop dan length-two-loop apabila dalam event log terdapat relasi tersebut serta hasil model proses dapat diubah ke dalam bentuk Petri net. Petri net dapat menampilkan relasi paralel seperti XOR dan AND. Kekurangan dari algoritma Heuristic Miner adalah jumlah relasi antar aktivitas yang tingkat kemunculannya sedikit pada event log dapat dianggap sebagai gangguan sehingga relasi tersebut tidak dapat tampil pada model proses.

#### 2.2.4. Ulasan Hasil Percobaan

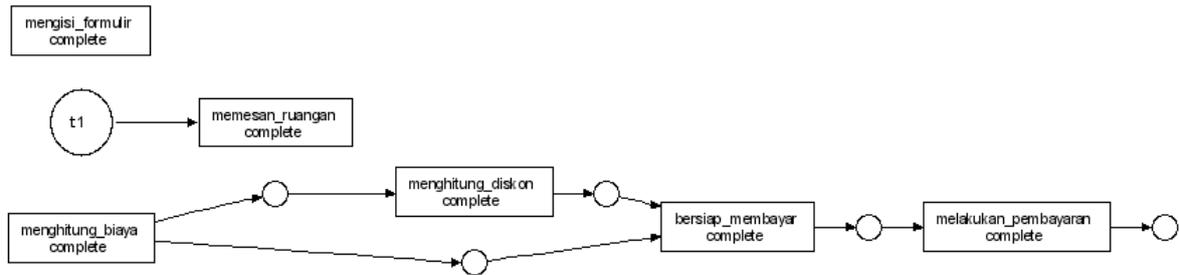
Tahap akhir dari penelitian ini adalah mengulas hasil dari setiap hasil percobaan penggunaan algoritma. Pengukuran kualitas model proses menjadi parameter penilaian yang dikaji dan dibandingkan, sehingga diketahui perbedaan pengukuran kualitas model proses mana yang lebih unggul dari setiap algoritma yang digunakan pada percobaan penelitian.

### 3. Hasil

#### 3.1. Model Proses

##### 3.1.1. Alpha

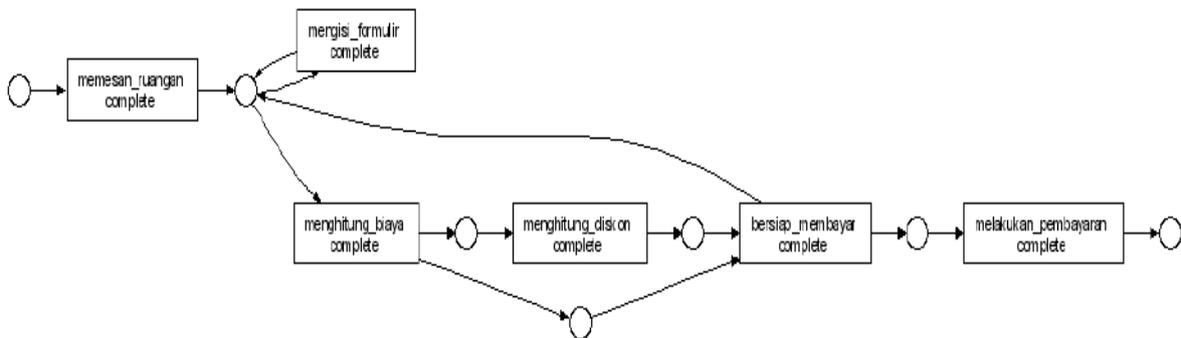
Model proses yang terbentuk dengan *event log* penelitian menghasilkan relasi perulangan length-one-loop ditampilkan pada Gambar 4. Berdasarkan model proses tersebut, kekurangan utama dari algoritma Alpha adalah tidak mampu menampilkan relasi perulangan seperti length-one-loop dan length-two-loop.



Gambar 4. Hasil penemuan model proses algoritma Alpha

### 3.1.2. Alpha ++

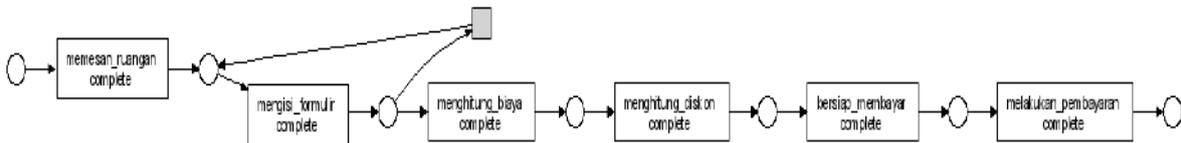
Algoritma Alpha ++ adalah pengembangan dari algoritma Alpha. Keunggulan Algoritma Alpha ++ adalah kemampuan menampilkan relasi perulangan seperti length-one-loop dan length-two-loop. Hasil dari penemuan model proses terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil penemuan model proses algoritma Alpha ++

### 3.1.3. Heuristic Miner

Meskipun algoritma Heuristic Miner dapat menangani kasus *spaghetti processes* akan tetapi relasi yang memiliki frekuensi kecil dalam event log tidak tergambar pada model proses yang dibentuk. Model proses yang dibentuk oleh algoritma Heuristic Miner ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil penemuan model proses algoritma Heuristic Miner

## 3.2. Kualitas Model Proses

Kualitas model proses yang terbentuk dihitung dari nilai fitness, didapatkan bahwa algoritma Alpha dan Heuristic Miner memiliki nilai fitness yang lebih tinggi karena karena tidak terdapat relasi perulangan. Sehingga banyak kemungkinan *trace* yang terbentuk. Nilai presisi Alpha lebih rendah dibanding Alpha ++ dan Heuristic Miner karena trace yang terbentuk tidak sesuai dengan *event log* yang ada. Tabel perbandingan nilai kualitas model proses ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel perbandingan nilai kualitas model proses

	Alpha	Alpha ++	Heuristic Miner
Fitness	0.96	0.94	0.96
Presisi	0.66	0.84	0.93

Pada penemuan model proses, algoritma Alpha ++ memiliki keunggulan dalam menangani proses perulangan baik length-one-loop maupun length-two-loop dibandingkan algoritma Alpha dan Heuristic Miner. Tetapi, dalam hal nilai fitness, algoritma Alpha dan Heuristic Miner lebih unggul dibandingkan algoritma Alpha++. Kemudian, dalam hal presisi, algoritma Heuristic Miner paling unggul dibandingkan algoritma Alpha dan Alpha++.

#### 4. Kesimpulan

Algoritma Alpha, Alpha++, dan Heuristic Miner memiliki kecocokan tersendiri untuk kasusnya masing-masing. Heuristic miner lebih cocok digunakan untuk *spaghetti processes* karena *trace* yang memiliki frekuensi kecil dapat dianggap sebagai gangguan. Alpha dan Alpha ++ lebih cocok untuk kasus yang kecil. Kemudian, dalam hal terdapat perulangan, algoritma Alpha++ adalah alternatif terbaik.

#### Referensi

1. W. Van Der Aalst, T. Weijters, and L. Maruster, "Workflow mining: Discovering process models from event logs," *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 16, no. 9, pp. 1128–1142, 2004, doi: 10.1109/TKDE.2004.47.
2. L. Wen, W. M. P. van der Aalst, J. Wang, and J. Sun, "Mining process models with non-free-choice constructs," *Data Min. Knowl. Discov.*, vol. 15, no. 2, pp. 145–180, 2007, doi: 10.1007/s10618-007-0065-y.
3. M. Song and W. M. P. van der Aalst, "Towards comprehensive support for organizational mining," *Decis. Support Syst.*, vol. 46, no. 1, pp. 300–317, 2008, doi: 10.1016/j.dss.2008.07.002.
4. A. K. Alves de Medeiros, A. J. M. M. Weijters, and W. M. P. van der Aalst, "Genetic process mining: A basic approach and its challenges," *Bus. Process Manag. Work. (BPM 2005)*, vol. 3812, no. task C, pp. 203–215, 2006, doi: 10.1007/11678564\_18.
5. A. K. A. De Medeiros et al., "Process mining based on clustering: A quest for precision," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 4928 LNCS, pp. 17–29, 2008, doi: 10.1007/978-3-540-78238-4\_4.
6. A. Rozinat, R. S. Mans, M. Song, and W. M. P. van der Aalst, "Discovering colored Petri nets from event logs," *Int. J. Softw. Tools Technol. Transf.*, vol. 10, no. 1, 2008, doi: 10.1007/s10009-007-0051-0.
7. D. Informatika, F. Teknik, U. T. Madura, and D. Informatika, "a More Efficient Deterministic Algorithm in Process," vol. 14, no. 3, pp. 971–995, 2018.
8. A. Burattin, F. M. Maggi, and A. Sperduti, "Conformance checking based on multi-perspective declarative process models," *Expert Syst. Appl.*, vol. 65, pp. 194–211, 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2016.08.040.
9. W. M. P. Van Der Aalst, *Process Mining Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Germany: Springer, 2011.
10. Y. A. Effendi and R. Sarno, "Discovering process model from event logs by considering overlapping rules," *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, vol. 2017-Decem, no. September, pp. 19–21, 2017, doi: 10.1109/EECSI.2017.8239193.
11. S. J. J. Leemans, D. Fahland, and W. M. P. van der Aalst, "Discovering block-structured process models from event logs containing infrequent behaviour," *Lect. Notes Bus. Inf. Process.*, vol. 171, pp. 66–78, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-06257-0\_6.
12. M. Weske, "Business Process Management," *Bus. Process Manag.*, no. Bpm 2007, pp. 24–28, 2015, doi: 10.1007/978-3-642-28616-2.
13. Y. Amelia Effendi and R. Sarno, "Conformance Checking Evaluation of Process Discovery Using Modified Alpha++ Miner Algorithm," *Proc. - 2018 Int. Semin. Appl. Technol. Inf. Commun. Creat. Technol. Hum. Life, iSemantic 2018*, pp. 435–440, 2018, doi: 10.1109/ISEMANTIC.2018.8549770.
14. F. M. Maggi, C. Di Francescomarino, M. Dumas, and C. Ghidini, "Predictive Monitoring of Business Processes," 2013, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1312.4874>.
15. B. Vázquez-Barreiros, M. Mucientes, and M. Lama, "A genetic algorithm for process discovery guided by completeness, precision and simplicity," *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 8659 LNCS, pp. 118–133, 2014, doi: 10.1007/978-3-319-10172-9\_8.

16. D. Rahmawati, M. A. Yaqin, and R. Sarno, "Fraud detection on event logs of goods and services procurement business process using Heuristics Miner algorithm," in 2016 International Conference on Information Communication Technology and Systems (ICTS), 2016, pp. 249–254, doi: 10.1109/ICTS.2016.7910307.
17. R. Sarno, Y. A. Effendi, and F. Haryadita, "Modified Time-Based Heuristics Miner for Parallel Business Processes," IRECOS (International Rev. Comput. Software), vol. 11, no. 3, pp. 249–260, 2016, doi: <https://doi.org/10.15866/irecos.v11i3.8717>.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



# Preprosesing serta Normalisasi pada Dataset Kupu-Kupu untuk Ekstraksi Fitur Warna, Bentuk dan Tekstur

Dhian Satria Yudha Kartika <sup>1</sup>, Hendra Maulana <sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur; dhian.satria@upnjatim.ac.id

<sup>2</sup> Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur; hendra.maulana.if@upnjatim.ac.id

\* Correspondence: dhian.satria@upnjatim.ac.id.

**Abstrak:** Perkembangan penelitian dalam bidang *image processing* atau *citra digital* sangat bermanfaat pada beberapa bidang, diantaranya pertanian, kesehatan ataupun infrastruktur dan tata kelola pemerintahan. Penelitian dalam *citra digital* bisa membantu mendapatkan keputusan terbaik agar hasil yang didapatkan sesuai dengan rencana dan analisa permasalahan. Penelitian dalam bidang *citra digital* yang berkembang salah satunya penelitian dalam hal serangga. Dalam penelitian ini jenis serangga yang digunakan adalah kupu-kupu sebanyak 890 data. Dataset tersebut dibagi menjadi 10 kelas, masing-masing kelas sebanyak 89 data. Dataset akan dilakukan proses ekstraksi fitur warna, fitur tekstur dan fitur bentuk. Sebelum proses ekstraksi fitur hal terpenting adalah melakukan *preprosesing* dan normalisasi ukuran piksel. *Preprosesing* dilakukan untuk menghilangkan *noise* pada gambar. *Noise* dalam penelitian citra digital merupakan hal yang harus dihilangkan agar tidak mengurangi hasil yang akan didapatkan. Selain menghilangkan *noise*, proses normalisasi ukuran setiap objek dataset juga disesuaikan. Ukuran masing-masing dataset disamakan sehingga hasil yang didapatkan juga mempunyai standarisasi nilai. Hasil yang didapatkan pada proses klasifikasi kupu-kupu mempunyai nilai akurasi sebesar 75% penggabungan dari ketiga ekstraksi fitur warna, fitur tekstur dan fitur bentuk pada ukuran piksel 256x160.

**Kata Kunci:** Citra digital; Preprosesing; Normalisasi Piksel, Ekstraksi Fitur, Kupu-Kupu

---

## 1. Pendahuluan

Pengambilan informasi berupa gambar banyak digunakan di berbagai bidang penelitian misalnya di bidang pertanian untuk bidang penyakit pada buah-buahan. Pada buah-buahan, data dapat diambil dan dicocokkan ke dalam dataset untuk menentukan buah mana yang terinfeksi penyakit atau tidak berdasarkan warnanya [1]. Penelitian dalam bidang kesehatan misalnya mendeteksi darah sebelum proses transfusi dari pendonor ke pasien. Aplikasi deteksi darah mampu mendeteksi gambar dengan mudah, cepat, aman, dan memiliki akurasi yang tinggi, sehingga terdeteksi darah yang akan diambil tersebut aman atau berpenyakit [2]. Beberapa peneliti juga menggunakan pengolahan citra untuk identifikasi spesies serangga [3], pengolahan citra juga digunakan untuk mendeteksi secara otomatis jenis dan klasifikasi batik [4] [5], dalam penelitian lain menggunakan pengolahan citra untuk mengidentifikasi jaringan jalan perkotaan menggunakan data dengan resolusi tinggi [6]. Penelitian dalam hal normalisasi dan standarisasi dataset ini merupakan rangkaian dari penelitian sebelumnya terkait klasifikasi warna pada ikan koi dan kupu-kupu [7] [8] [9].

Salah satu studi yang berkembang di bidang pengolahan citra saat ini adalah identifikasi spesies serangga. Lebih dari 170.000 spesies serangga ditemukan oleh para peneliti, berdasarkan warna, bentuk, dan tekstur pada sayapnya. Kupu-kupu merupakan salah satu jenis serangga yang memiliki

keunikan baik dari segi warna, corak, dan tekstur pada bagian fisiknya, keunikan ini semakin menjadi ciri khusus kupu-kupu untuk dibedakan berdasarkan spesiesnya. Beberapa metode umum yang digunakan untuk mendeteksi karakteristik tekstur menggunakan local binary pattern (LBP) kemudian hasilnya diklasifikasikan menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) [3]. Meskipun hasil penelitian sebelumnya [10] [11] menunjukkan LBP sedikit lebih rendah dibandingkan metode lain, namun LBP dianggap mampu menggambarkan citra dengan baik [12] dan banyak digunakan dalam beberapa penelitian misalnya pengolahan citra, computer vision, dan pengambilan citra, penginderaan jauh (satelit), dan analisis citra di bidang medis. Keuntungan menggunakan operator LBP adalah toleransi perubahan iluminasi, komputasi ringan yang memungkinkan analisis gambar secara real-time [13].

Komponen dasar yang biasa digunakan dalam penelitian di bidang pencitraan antara lain fitur warna, bentuk, dan tekstur [7] [9]. Metode yang digunakan untuk proses ekstraksi ciri warna menggunakan histogram warna. Histogram warna merupakan representasi dari sebaran warna pada citra. Distribusi warna pada gambar menunjukkan probabilitas warna sebelum ditentukan. Histogram warna dapat dibangun untuk semua jenis dimensi warna, beberapa diantaranya sering digunakan untuk ruang warna tiga dimensi misalnya RGB, HSV,  $L^*a^*b$ , YCbCr, dan lain-lain [14]. Dalam penelitian ini [5] menyebutkan dalam hal ekstraksi ciri dan warna pada batik yang menggunakan Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT) dan ruang warna HSV untuk ekstraksi warna disebutkan proses ekstraksi ciri warna RGB menjadi HSV ditambah dengan Color Quantization (CQ). Tujuan dari Color Quantization digunakan untuk mengurangi waktu komputasi tanpa mengurangi kualitas gambar. Kombinasi yang bagus untuk mengukur performa dan waktu komputasi dengan menggunakan 72 fitur warna yang terdiri dari 8 komponen Hue, 3 komponen Saturation dan 3 komponen Value [5]. Dalam penelitian terkait, Yousef melakukan pengujian ekstraksi ciri warna hanya dengan menggunakan nilai Hue saja dan membandingkannya dengan menggunakan Hue, Saturation, Value secara bersamaan. Hasil nilai Saturasi dan Nilai memberikan peningkatan pada nilai dimensi dan menambah lebih banyak informasi tentang gambar [15].

Dalam penelitian ini akan dilakukan proses menghilangkan *background* pada objek dataset kupu-kupu. Noise dalam penelitian citra merupakan hal yang harus dihilangkan agar tidak mengurangi hasil yang akan didapatkan. Selain menghilangkan noise, proses normalisasi ukuran setiap objek dataset juga disesuaikan. Ukuran masing-masing dataset disamakan sehingga hasil yang didapatkan juga mempunyai standarisasi nilai.

## 2. Metode dan Dataset

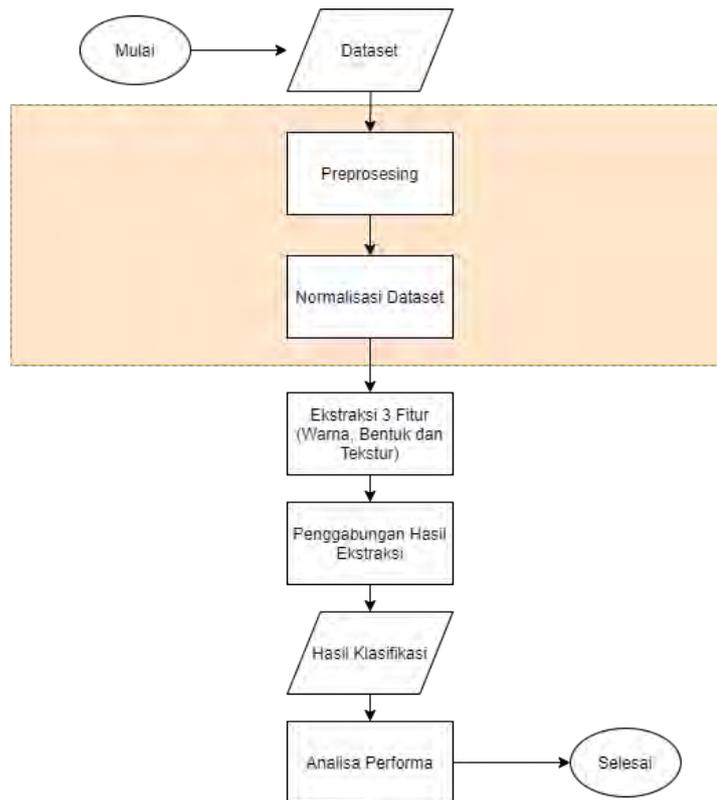
### 2.1. Metode

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode seperti Color Quantization pada HSV Color Space yang digunakan untuk ekstraksi ciri warna, Local Binary Pattern digunakan untuk ekstraksi ciri tekstur dan Region props digunakan untuk ekstraksi ciri bentuk. Proses menggunakan metode tersebut akan dilakukan preprocessing dan normalisasi data. Proses tersebut digunakan untuk menyiapkan data agar siap untuk setiap proses ekstraksi fitur. Metodologi penelitian dijelaskan pada gambar 1.

Penelitian ini fokus pada preprosesing dan normalisasi data. Membersihkan dataset dari noise pada objek kupu-kupu. Noise yang dimaksud seperti daun, bunga, kayu dan lain lain. Sehingga yang didapatkan nantinya fokus pada objek kupu-kupu. Setelah dilakukan preprosesing, gambar akan dilakukan cropping (pemotongan) sesuai dengan ukuran objek. Setelah proses cropping dilakukan, ukuran masing-masing dataset dilakukan standarisasi pixel.

### 2.2. Dataset

Pada tahap ini proses pengumpulan dan analisis data untuk dijadikan dataset. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar kupu-kupu yang diambil dari penelitian [17] yang berjudul Model Pembelajaran Pengenalan Objek dari Deskripsi Bahasa Alami. Gambar kupu-kupu



**Gambar 1.** Flowchart yang Dilakukan dalam Penelitian

				
<i>Danaus plexippus</i>	<i>Heliconius charitonius</i>	<i>Nymphalis antiopa</i>	<i>Papilio cresphontes</i>	<i>Heliconius Erato</i>
				
<i>Pieris rapae</i>	<i>Vanessa atalanta</i>	<i>Junonia coenia</i>	<i>Lycaena phlaeas</i>	<i>Vanessa cardui</i>

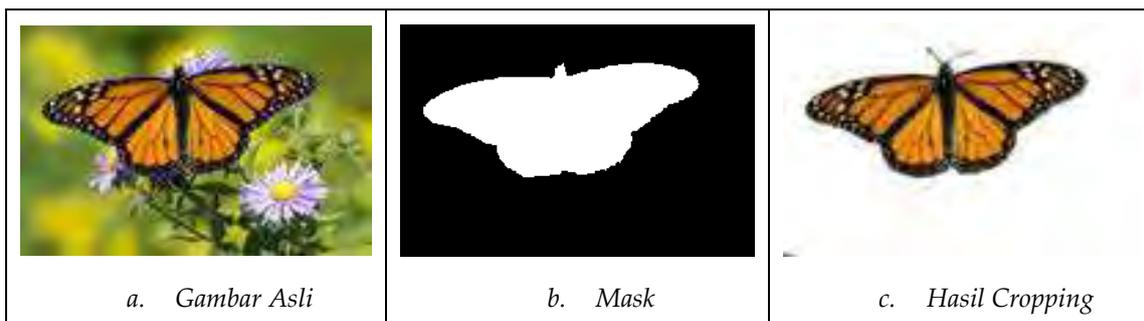
**Gambar 2.** Dataset Foto Kupu Kupu

yang digunakan sebanyak 890 gambar dalam format JPEG dan PNG, masing-masing jenis kupu-kupu berjumlah 89 gambar. Proses pengambilan gambar dataset bervariasi, dari sisi atas, depan, belakang, kanan atau kiri. Dataset yang digunakan dalam penelitian dijelaskan pada gambar 2.

### 3. Preprocessing dan Normalisasi

#### 3.1. Preprocessing

Segmentasi menjadi pembahasan yang sangat penting dalam bidang analisa gambar dan computer vision. Banyak metode yang digunakan untuk proses segmentasi. Beberapa penelitian menjelaskan tujuan dari segmentasi untuk membagi sebuah gambar menjadi beberapa bagian yang



**Gambar 3.** Preprocessing pada Gambar Kupu Kupu

sesuai dengan kebutuhan. Ada 2 syarat dasar melakukan metode segmentasi citra diantaranya : proses segmentasi menghasilkan nilai paling akurat dan kecepatan pemrosesan citra yang paling cepat, kedua hal tersebut akan mendukung proses selanjutnya. Dalam praktiknya kedua syarat itu bertentangan, karena akurasi yang tinggi mungkin membutuhkan komputasi yang lama dan komputasi yang cepat menghasilkan akurasi yang rendah. Sehingga perlu ditambahkan algoritma lagi pada proses segmentasi untuk menyeimbangkannya.

Pada penelitian citra kupu-kupu ini akan melakukan preprocessing dan tidak melakukan segmentasi. Perbedaan antar keduanya yaitu proses segmentasi menggunakan beberapa metode untuk mengaplikasikannya, sedangkan preprocessing adalah teknik untuk memastikan data siap digunakan tanpa menggunakan metode. Peneliti Josiah Wang [17] memanfaatkan kupu-kupu sebagai dataset dan melakukan proses segmentasi. Dataset sebelum dilakukan proses segmentasi masih mempunyai banyak noise. Noise yang dimaksud adalah gambar masih ada background berupa bunga, ranting, atau benda lainnya. Dalam penelitiannya [17] proses segmentasi memberikan hasil berupa masking atau hasil potongan noise berupa background warna hitam. Sehingga perlu dilakukan beberapa tahap untuk menggabungkan antara gambar asli dengan mask untuk mendapatkan gambar kupu-kupu utuh (badan dan sayap) tanpa noise. Karena preprocessing ini sangat menentukan kesuksesan metode berikutnya, oleh karena itu harus dipastikan menghasilkan gambar dengan kualitas dan akurasi yang baik.

Tahap preprocessing bisa dilihat pada gambar 3 berikut ini, yaitu menggabungkan antara gambar (a) gambar asli kupu-kupu (yang masih ada noise, seperti bunga dan background yang lain) dengan gambar (b) mask pada penelitian sebelumnya sehingga didapatkan gambar (c) hasil cropping.

### 3.2. Normalisasi

Proses normalisasi adalah sebuah proses yang digunakan untuk mempersiapkan data agar bisa digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemakai dan mendukung proses berikutnya mendapatkan hasil yang lebih baik. Pentingnya proses normalisasi agar inputan mempunyai nilai yang seragam, nilai yang dimaksud adalah ukuran gambar dengan piksel yang sama.

Inputan data yang tidak sama akan mempengaruhi proses yang dihasilkan dan juga mempengaruhi hasil akhir pada aplikasi. Beberapa skenario proses normalisasi dataset diantaranya, menghilangkan *background* gambar (warna putih), mengubah gambar menjadi *blackwhite*, rekonstruksi citra dengan menambahkan salah satu fungsi, melakukan *cropping* dan *resize* pada gambar sesuai dengan ukuran piksel yang diinginkan. Ada beberapa skenario yang dilakukan pada saat *resize* gambar yaitu ukuran gambar menjadi 256 x 160 piksel, mengubah ukuran menjadi 420 x 315 piksel dan mengubah gambar dengan ukuran 768 x 576 piksel.

Proses normalisasi diatas akan mengubah ukuran gambar yang awalnya beragam ukuran menjadi seragam, dengan 3 ukuran berdasarkan skenario diatas. Hasil normalisasi beberapa dataset bisa dilihat pada gambar 4, gambar 5 dan gambar 6.



a. Fitur Warna

b. Fitur Tekstur

c. Fitur Bentuk

**Gambar** Error! No text of specified style in document. Hasil Normalisasi ukuran 256x160 piksel



a. Fitur Warna

b. Fitur Tekstur

c. Fitur Bentuk

**Gambar 5.** Hasil Normalisasi ukuran 420x315 piksel



a. Fitur Warna

b. Fitur Tekstur

c. Fitur Bentuk

**Gambar 6.** Hasil Normalisasi ukuran 768x576 piksel

#### 4. Hasil Penelitian dan Analisis

Pada tahapan preprosesing dan normalisasi digunakan untuk proses klasifikasi. Setelah ukuran dari masing-masing gambar dataset sudah seragam, maka dilakukan proses ekstraksi fitur warna, bentuk dan tekstur. Tahapan setelah ekstraksi selanjutnya dilakukan proses klasifikasi. Hasil klasifikasi yang sudah dilakukan, selanjutnya dilakukan proses pengujian. Dari proses pengujian didapatkan nilai akurasi masing-masing ukuran piksel, piksel 256x160, piksel 420x315 dan piksel 768x576. Nilai akurasi bisa dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Nilai Akurasi

Ukuran piksel	Fitur Warna (FW)	Fitur Tekstur (FT)	Fitur Bentuk (FB)	FW & FT	FW & FB	FT & FB	FW & FT & FB
256x160	72 %	68 %	49 %	70 %	71%	66 %	75 %
420x315	75 %	60 %	39 %	72 %	74 %	64 %	70 %
768x576	78 %	60 %	39 %	71 %	74 %	64 %	71 %

Berdasarkan tabel 1 nilai akurasi. Hasil ekstraksi fitur warna terbaik pada ukuran piksel 768x576. Sedangkan hasil ekstraksi fitur tekstur pada ukuran piksel 256x160. Dan untuk hasil ekstraksi fitur bentuk rata-rata dibawah 50%.

## 5. Kesimpulan

Nilai akurasi pada proses penggabungan dari ketiga ekstraksi fitur warna, bentuk dan tekstur didapatkan nilai sebesar 75% dengan piksel 256x160. Nilai akurasi sebesar 75% dikatakan baik dibandingkan dengan hasil pengujian yang lain pada ukuran piksel yang berbeda. Nilai akurasi yang baik ini, tidak lepas dari tahapan preprosesing dan normalisasi yang dilakukan sebelum ekstraksi fitur.

## Referensi

1. Bhange, M., & Hingoliwala, H. A. (2015). Smart Farming: Pomegranate Disease Detection Using Image Processing. *Procedia Computer Science*, 58, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.022>
2. Ferraz, A., Carvalho, V., & Machado, J. (2016). Determination of Human Blood Type Using Image Processing Techniques. *Measurement*, 97. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.015>
3. Kaya, Y., Kayci, L., & Uyar, M. (2015). Automatic identification of butterfly species based on local binary patterns and artificial neural networks. *Applied Soft Computing Journal*, 28, 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2014.11.046>
4. Kurniawardhani, A., Suciati, N., & Arieshanti, I. (2014). Klasifikasi Citra Batik Menggunakan Metode Ekstraksi Ciri yang Invariant Terhadap Rotasi. *JUTI: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 12(2), 48. <https://doi.org/10.12962/j24068535.v12i2.a322>
5. Suciati, N., Kridanto, A., Naufal, M. F., Machmud, M., & Wicaksono, Y. (2015). Fast Discrete Curvelet Transform And HSV Color Features For Batik Image Classification, 99–104.
6. Herumurti, D., Uchimura, K., & Koutaki, G. (2013). Urban Road Network Extraction Based on Zebra Crossing Detection From a Very High-Resolution RGB Aerial Image and DSM Data. <https://doi.org/10.1109/SITIS.2013.24>
7. Kartika, D. S. Y., & Herumurti, D. (2016, October). Koi fish classification is based on HSV color space. In *2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS)* (pp. 96–100). IEEE.
8. Kartika, D. S. Y., Herumurti, D., & Yuniarti, A. (2018). Local binary pattern method and feature shape extraction for detecting butterfly image. *International Journal*, 15(50), 127–133.
9. Satria, D., Kartika, Y., & Herumurti, D. (2016). Koi Fish Classification based on HSV Color Space. *International Conference on Information, Communication Technology, and System (ICTS)*, 5, 96–100. <https://doi.org/10.1109/ICTS.2016.7910280>
10. Kaya, Y., Kayci, L., & Tekin, R. (2013). A Computer Vision System for the Automatic Identification of Butterfly Species via Gabor- Filter-Based Texture Features and Extreme Learning Machine : GF + ELM. *TEM Journal*, 2(1).
11. Kayci, L., & Kaya, Y. (2014). A vision system for automatic identification of butterfly species using a grey-level co-occurrence matrix and multinomial logistic regression. *Zoology in the Middle East*, 60(1), 57–64. <https://doi.org/10.1080/09397140.2014.892340>
12. Ojala, T., Pietikäinen, M., & Mäenpää, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(7), 971–987. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2002.1017623>
13. Burçin, K., & Vasif, N. V. (2011). Down syndrome recognition using local binary patterns and statistical evaluation of the system. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8690–8695. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.01.076>
14. Singh, C., & Preet Kaur, K. (2016). A fast and efficient image retrieval system based on color and texture features. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 41, 225–238. <https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.10.002>
15. Youssef, S. M. (2012). ICTEDCT-CBIR: Integrating curvelet transform with enhanced dominant color extraction and texture analysis for efficient content-based image retrieval. *Computers and Electrical Engineering*, 38(5), 1358–1376. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2012.05.010>

16. VijayaLakshmi, B., & Mohan, V. (2016). Kernel-based PSO and FRVM: An automatic plant leaf type detection using texture, shape, and color features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 125, 99–112. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.033>
17. Wang, J., Markert, K., & Everingham, M. (2009). Learning models for object recognition from natural language descriptions. *Learning*, 2.1-2.11. Retrieved from <http://eprints.pascal-network.org/archive/00006257/>
18. Junhua, C., & Jing, L. (2012). Research on Color Image Classification Based on HSV Color Space. 2012 Second International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication, and Control, 255(3), 944–947. <https://doi.org/10.1109/IMCCC.2012.226>.
19. Kartika, D. S. Y., Herumurti, D., & Yuniarti, A. (2018). Butterfly image classification using color quantization method on hsv color space and local binary pattern. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, (1), 78-82.
20. Khotimah, W. N., Arifin, A. Z., Yuniarti, A., Wijaya, A. Y., Navastara, D. A., & Kalbuadi, M. A. (2015, October). Tuna fish classification using decision tree algorithm and image processing method. In 2015 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA) (pp. 126-131). IEEE.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



# Estimasi Kanal Sistem OFDM pada Kanal Fading Rayleigh dengan Metode Piecewise Linear

Walid Maulana Hadiansyah\*

Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom Surabaya;

\* Correspondence: walid@ittelkom-sby.ac.id

**Abstrak:** Transmisi data kecepatan tinggi menjadi sorotan masyarakat saat ini karena semakin banyak masyarakat menggunakan teknologi nirkabel pita lebar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. *Long Term Evolution* (LTE) masih menjadi teknologi eksisting yang memanfaatkan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) sebagai solusi penghematan *bandwidth*. Untuk mempertahankan kualitas data dari distorsi, maka dibutuhkan teknik estimasi kanal. Dengan mengetahui hasil estimasi kanal, maka akan didapatkan solusi untuk meminimalisasi efek distorsi. Respon impuls diasumsikan berupa kanal fading Rayleigh. Estimasi kanal yang dipakai adalah metode estimasi *Piecewise Linear* dengan 2 *slope*. Serangkaian penelitian yang bisa dilakukan setelah estimasi kanal adalah estimasi efek doppler, minimalisasi interferensi antar-simbol, dan efisiensi serta optimalisasi sistem. Dari hasil simulasi menggunakan program Matlab dengan 100 kali iterasi, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar *Signal to Noise Ratio* (SNR), semakin kecil error yang terjadi. Nilai rata-rata error estimasi dari SNR=9-40 dB adalah 2.4%-38.2%.

**Kata Kunci:** Estimasi Kanal, LTE, Matlab, OFDM, SNR.

---

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi telekomunikasi nirkabel pita lebar semakin lama semakin banyak diperbincangkan. Kebutuhan akan transmisi data kecepatan tinggi begitu dibutuhkan dalam melayani kebutuhan masyarakat sehari-hari. Teknologi telekomunikasi yang sudah dipakai sejak lima tahun terakhir di Indonesia ini adalah teknologi LTE, di mana memanfaatkan sistem OFDM yang memungkinkan untuk melipatgandakan kecepatan transmisi data hingga beberapa puluh Mbps dengan tetap mempertahankan *Quality of Service* (QoS) tetap baik [1]. OFDM distandarisasikan sebagai skema untuk *Digital Audio Broadcasting* (DAB) dan *Digital Video Broadcasting* (DVB) [2]. DAB merupakan standar penyiaran radio digital yang banyak digunakan di negara Eropa dan Asia. Sedangkan DVB merupakan standar sistem televisi digital yang sudah diakui secara internasional dan dikelola oleh konsorsium industri. OFDM diklaim jauh lebih tangguh daripada generasi sebelumnya, termasuk dalam efisiensi penggunaan *bandwidth* disebabkan penggunaan *multi-carrier* yang saling ortogonal [3]. Dengan *multi-carrier* yang saling ortogonal tersebut, juga membuat sistem lebih tahan terhadap interferensi antar frekuensi.

Untuk mentransmisikan data yang berukuran besar, diperlukan kecepatan data yang tinggi sehingga didapatkan QoS yang baik. Namun, apabila data ditransmisikan dengan kecepatan tinggi, maka akan menyebabkan delay sebagai akibat dari adanya multipath fading. Multipath fading merupakan fluktuasi level sinyal di penerima yang terjadi karena ada lebih dari satu kanal propagasi. Akibatnya, ada error antara sinyal yang diterima dengan sinyal yang dikirim. Sistem OFDM menjadi solusi dari adanya efek multipath fading karena multi-carrier yang saling ortogonal sebagaimana dijelaskan pada paragraf sebelumnya [4]. Di awal pengenalan OFDM, para peneliti masih memakai penggunaan *Discrete Fourier Transform* (DFT) dan *Inverse Discrete Fourier Transform* (IDFT) sebagai pengganti bank generator sinyal sinusoidal dan demodulator. Untuk mengurangi kompleksitas algoritma, maka para peneliti menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dan *Inverse Fast Fourier*

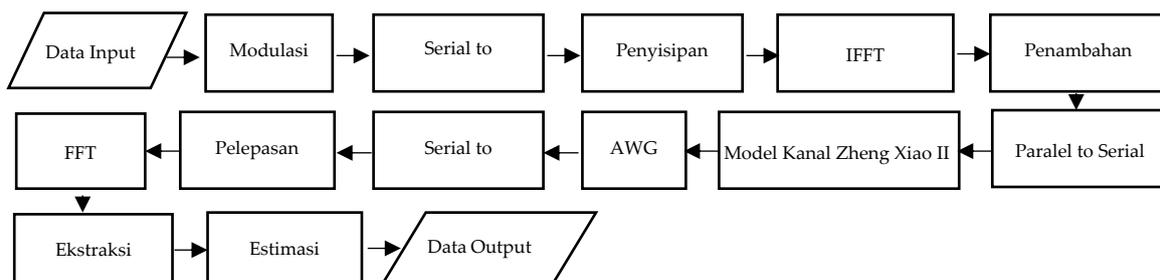
Transform (IFFT). Penggunaan FFT dan IFFT pada OFDM akan mempermudah dalam implementasi pada perangkat keras [5].

Kendala yang ditemui dalam transmisi data kecepatan tinggi adalah kesalahan atau error deteksi simbol di penerima. Error ini diakibatkan oleh simbol-simbol yang berdekatan mengalami interferensi antar simbol atau *Inter Symbol Frequency* (ISI). Untuk bisa memprediksi bahkan mereduksi dampak ISI, maka diperlukan penambahan *Guard Interval* (GI) pada pemancar, serta channel estimator atau equalizer pada penerima dengan harapan bisa mengkompensasi distorsi kanal tersebut [6]. Oleh karena itu, pada jurnal ini akan dijelaskan tentang performansi estimasi kanal pada sistem OFDM melalui simulasi program Matlab pada kanal fading Rayleigh. Beberapa peneliti telah mencoba untuk melakukan estimasi kanal. D.V. Bhimsing menjelaskan filter Wiener bisa menghasilkan estimasi lebih baik di kanal fading Rayleigh daripada Rician [7]. A. Farzamia menggunakan metode *Least Square* (LS) dan *Minimum Mean Square Error* (MMSE) untuk mendapatkan estimasi kanal, dan menunjukkan bahwa metode MMSE lebih baik daripada LS [8]. Pada jurnal ini, peneliti menggunakan metode *Piecewise Linear* dengan 2 *slope* sebagai metode alternatif untuk melakukan estimasi kanal.

## 2. Metode

Modulasi digital yang sering digunakan pada sistem OFDM adalah BPSK, QAM, dan QPSK [9]. Pada pemodelan sistem OFDM sebagaimana pada Gambar 1, data input biner yang dibangkitkan dimodulasi QPSK. Kemudian masuk ke blok serial to paralel dan disisipkan simbol pilot di setiap jalur paralel-nya. Setiap jalur paralel akan diawali oleh 1 baris pilot dan beberapa baris data. Sebelum dipancarkan, sinyal masuk ke IFFT sehingga *sub-carrier* menjadi saling ortogonal. CP ditambahkan untuk menghindari terjadinya ISI karena CP berperan sebagai ruang penahan antara 2 simbol yang saling berurutan. Selain itu, CP mengubah konvolusi linear menjadi konvolusi *cyclic*, sehingga *subcarrier* akan tetap ortogonal dan tidak terjadi *Inter Carrier Interference* (ICI) [10]. Data diubah menjadi paralel to serial, masuk ke transmitter dan melewati kanal multipath fading Rayleigh *mobile-to-fixed* Zheng Xiao II [11]. Sebelum masuk ke penerima, data terkena noise AWGN. Untuk mengekstraksi pilot, maka data diubah dari serial to paralel, harus melepaskan CP, dan masuk ke blok FFT. Setelah simbol pilot didapatkan, maka proses terakhir adalah mengestimasi kanal dengan metode *Piecewise Linear 2 slope*.

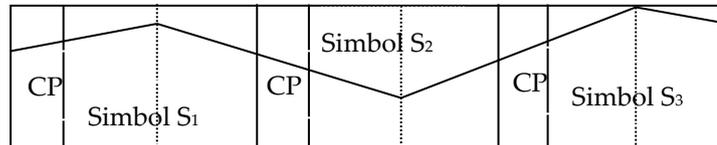
Proses terakhir pada penelitian ini adalah menganalisis hasil estimasi kanal. Estimasi kanal menyatakan prediksi analisis untuk mengetahui karakteristik kanal berdasarkan data seragam yang pancarkan oleh transmitter. Estimasi kanal nantinya akan dipakai oleh peneliti untuk proses penelitian selanjutnya. Jadi respon impuls yang didapatkan adalah respon impuls hasil estimasi, bukan respon impuls yang sebenarnya. Analisis terhadap ICI dan ISI biasanya dilakukan setelah selesai mengestimasi kanal. Susunan pilot yang telah disisipkan ke simbol-simbol OFDM menjadi petunjuk bagi peneliti untuk melakukan estimasi kanal. *Piecewise Linear* dengan 2 *slope* merupakan salah satu algoritma estimasi kanal yang sering digunakan pada sistem OFDM [12]. Gambar 2 menunjukkan bagaimana metode estimasi ini bekerja. *Slope* ada di dalam setiap simbol pilot OFDM. Respon impuls hasil estimasi dapat didekati berbentuk garis dengan konstanta yang konstan sepanjang respon impuls kanal pada *h middle*.



Gambar 1. Flowchart Estimasi Kanal

$$h_i(k) = h_{(N/2)-1}(k) + (i+1 - N/2) \cdot l_k \cdot T_s \tag{1}$$

di mana  $h_i(k)$  merupakan respon impuls kanal hasil estimasi,  $T_s$  adalah periode simbol *subcarrier*,  $l_k$  adalah konstanta slope,  $h_{(N/2)-1}(k)$  adalah *h middle*, dan  $i$  adalah contoh satu simbol pilot OFDM yang diambil.

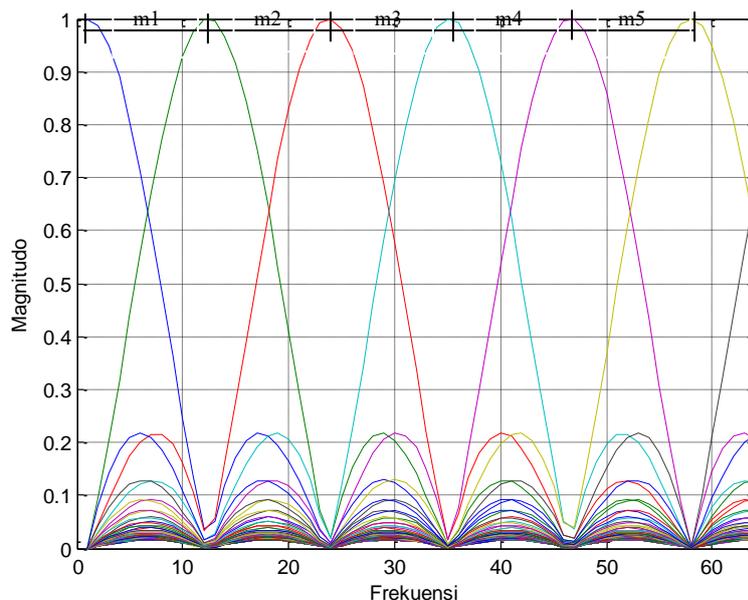


Gambar 2. Piecewise Linear dengan 2 Slope [12]

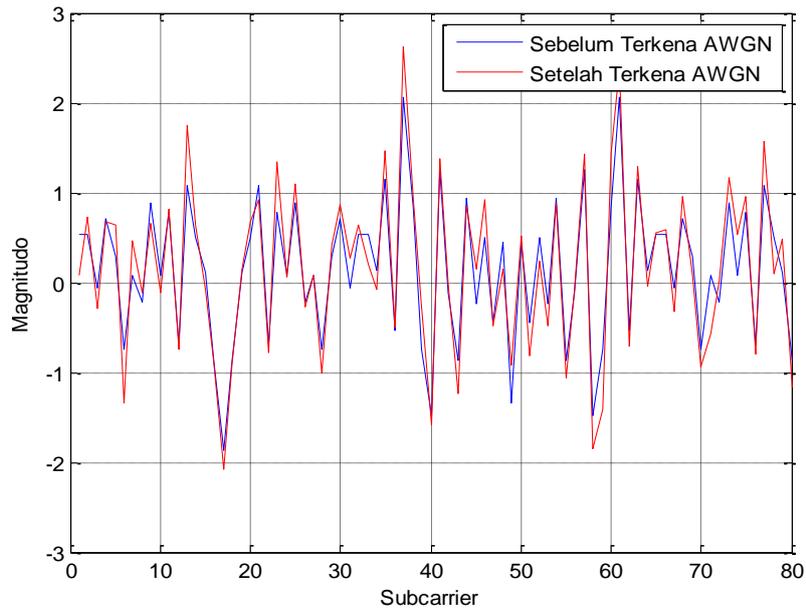
### 3. Hasil

Pada bab ini dijelaskan hasil penelitian yang dilakukan pada simulasi. Gambar 3, dapat dilihat bahwa sinyal setelah melalui proses IFFT, antar *subcarrier* akan saling ortogonal. Gambar tersebut merepresentasikan ortogonalitas pada domain frekuensi. Dikatakan saling ortogonal karena *sub-carrier*  $m1 = m2 = m3, \dots, m63$ .

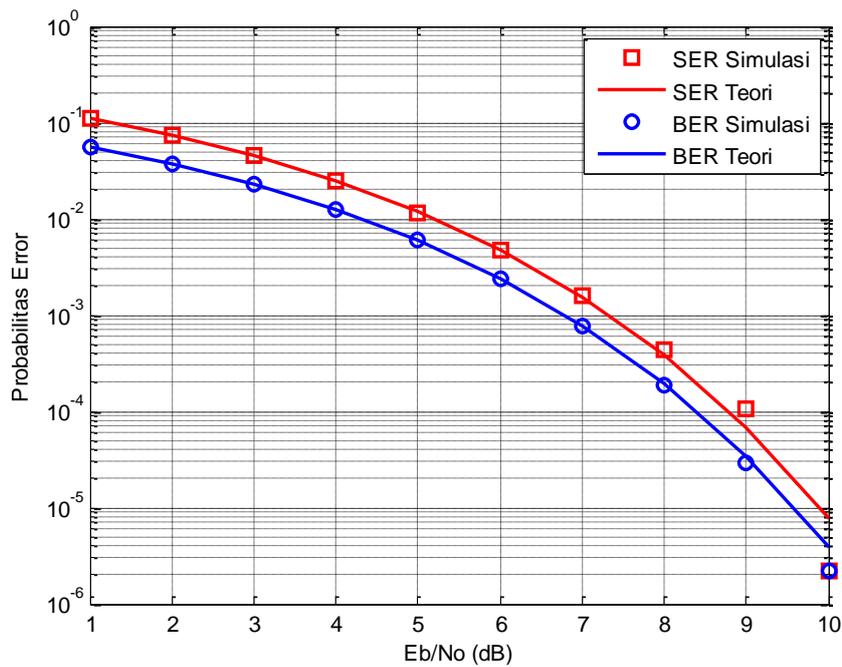
Gambar 4 menunjukkan sinyal informasi yang mengandung CP, sebelum dan sesudah terkena AWGN pada 1 simbol OFDM. Dengan adanya noise tersebut, maka mulai terjadi error sinyal antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima. Gambar 5 merupakan grafik probabilitas error modulasi QPSK pada kanal AWGN. Dari grafik tersebut tampak bahwa SER selalu lebih besar daripada BER, dengan selisih yang konstan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun simbol modulasi-nya error, 1 bit dalam 1 simbol modulasi belum tentu salah. Sebagaimana dijelaskan dalam teori bahwa dalam setiap simbol modulasi diwakili oleh 2 bit. Sehingga energi 1 simbol sama dengan 2 kali energi bit. Jika dihitung, maka selisih energi simbol dan energi bit adalah sebesar  $\log 2$  dalam logaritmik. Sedangkan pada modulasi BPSK, 1 simbol modulasi diwakili oleh 1 bit, sehingga energi simbol sama dengan energi bit.



Gambar 3. Ortogonalitas Antar *Sub-carrier* Dalam Domain Frekuensi

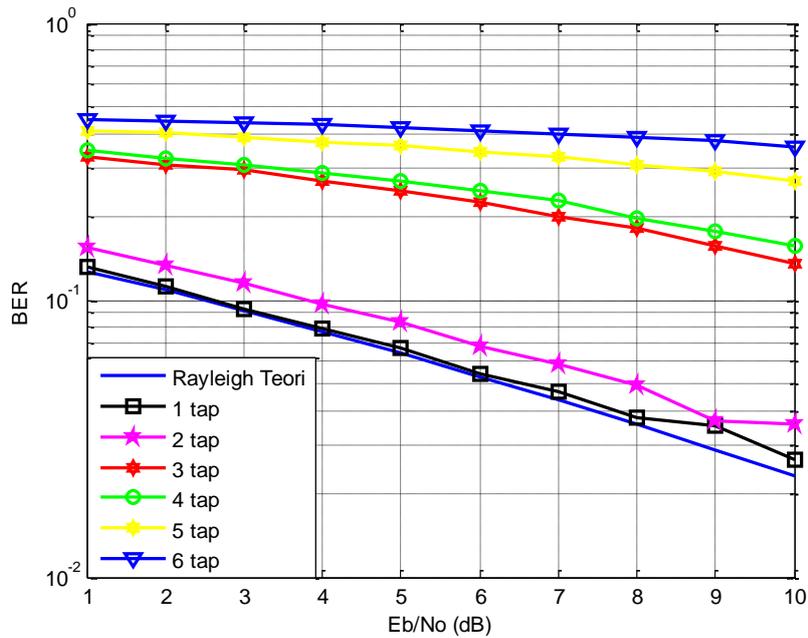


Gambar 4. Proses Penambahan CP pada 1 Simbol OFDM



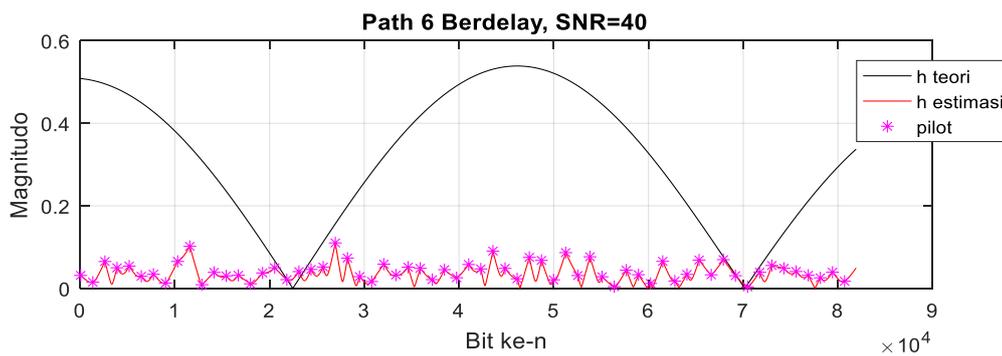
Gambar 5. Probabilitas Error Modulasi QPSK Kanal AWGN

Simulasi yang dilakukan untuk kanal multipath fading menggunakan model kanal ITU-R Vehicular M. 1225, 1997. Pada model tersebut, terdapat 6 tap dengan delay spread dan gain kanal yang berbeda-beda. Gambar 6 menunjukkan grafik BER kanal multipath fading Rayleigh dengan variasi jumlah tap, dan modulasi QPSK. Dari gambar tersebut terlihat bahwa grafik Rayleigh teori segaris dengan grafik 1 tap, di mana grafik 1 tap belum terdapat multipath dan tanpa delay. Tampak pula bahwa semakin banyak jumlah tap, maka semakin besar nilai probabilitas bit error-nya. Karena selisih gain kanal antar tap yang berbeda-beda, maka jarak antar tap pada grafik juga berbeda-beda. Dari grafik tersebut juga dapat disimpulkan bahwa semakin besar delay spread, semakin besar pula probabilitas bit error-nya.

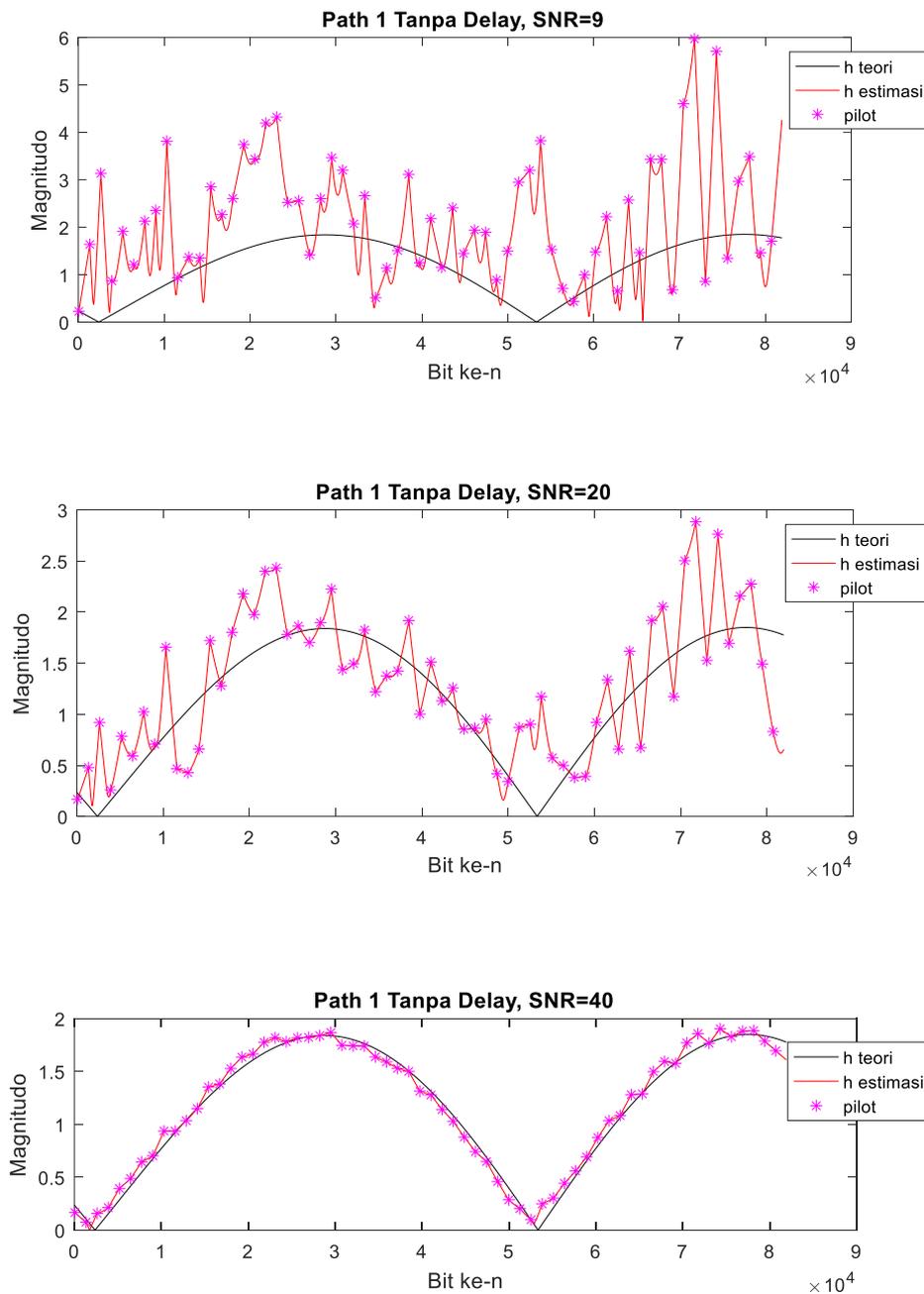


Gambar 6. BER Kanal Multipath Fading Rayleigh

Estimasi kanal pada jurnal ini, diasumsikan penerima mampu selektif memilih kanal yang paling dominan dan tanpa delay. Seperti ditunjukkan pada Gambar 7 berikut, estimasi *Piecewise Linear* belum dapat digunakan pada respon impuls yang memiliki delay, meskipun dengan SNR yang bagus (SNR=40). Maka dari itu, pada jurnal ini, hanya difokuskan pada path 1 tanpa delay. Gambar 8 ini menunjukkan performansi estimasi *Piecewise Linear* dengan beberapa nilai SNR yang berbeda. Dari hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa dari 81920 bit pilot yang diterima, semakin besar nilai SNR, semakin bagus pula performansi estimasi kanal *Piecewise Linear 2 slope*. Jika simulasi ini dianalisis lebih lanjut, maka didapatkan perbandingan rata-rata error dengan SNR=9, 20, dan 40 sebagaimana pada Gambar 9.

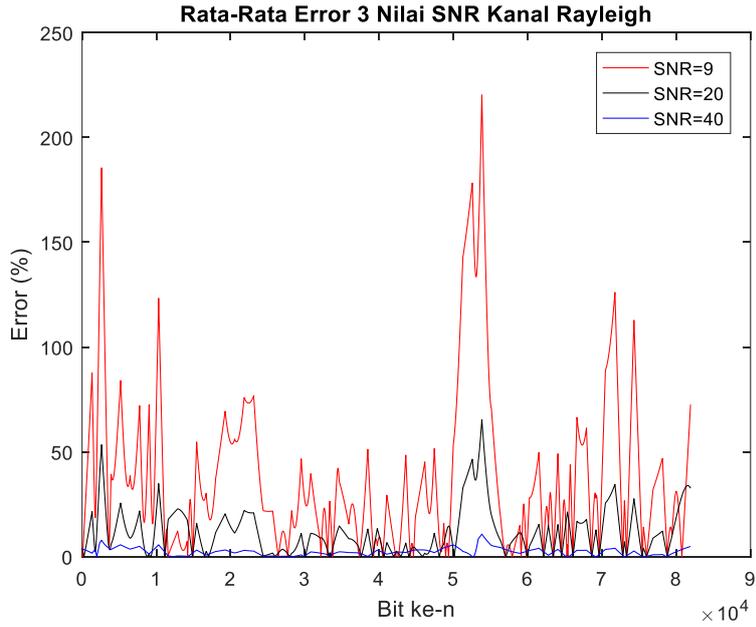


Gambar 7. Estimasi Kanal pada Path 6 Berdelay, SNR=40

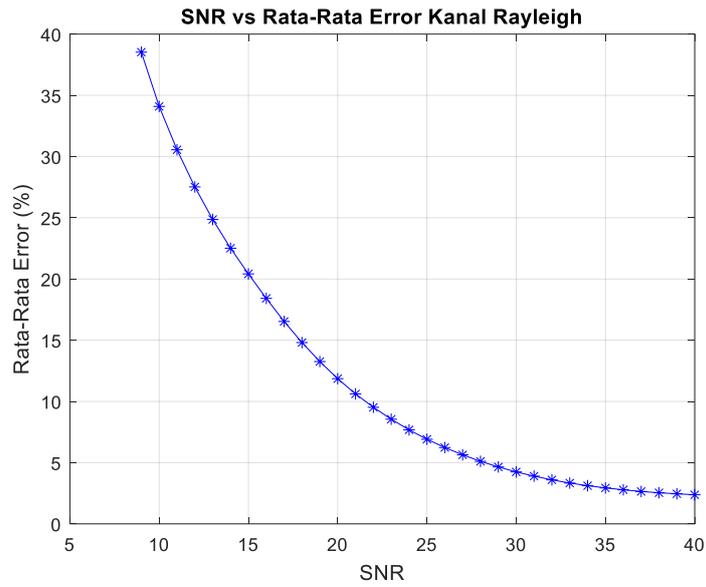


**Gambar 8.** Estimasi Kanal pada Path 1 dengan SNR yang Berbeda

Gambar 9 menunjukkan bahwa dari 81920 bit pilot yang diterima, error respon impuls teori (yang dibangkitkan) dengan respon impuls hasil estimasi, dengan 3 nilai SNR yang berbeda. Kesimpulan yang dapat diambil adalah semakin besar SNR, maka semakin kecil error-nya. Dengan iterasi 100 kali, peneliti mencoba mencari besaran error setiap nilai SNR, dari SNR=9 sampai SNR=40, sebagaimana pada Gambar 10 di bawah ini, dengan detail angka seperti pada Tabel 1. Simulasi diawali dari SNR=9 karena hasil estimasi untuk SNR tersebut sudah >38%. Jika lebih kecil dari nilai SNR tersebut, maka komunikasi sudah tidak layak lagi dipertahankan karena error-nya semakin besar. Simulasi diakhiri dengan SNR=40 karena jika diperbesar akan menghasilkan estimasi yang semakin mendekati 0.



Gambar 9. Rata-Rata Error 3 Nilai SNR



Gambar 10. Grafik Perbandingan Rata-Rata Error Terhadap SNR

Tabel 1. Rekapitulasi Error dan SNR

SNR	Error (%)						
9	38.17905694	17	15.18604463	25	6.379344254	33	3.242376671
10	33.60407007	18	13.62057985	26	5.781381081	34	3.054456267
11	29.73366575	19	12.20200333	27	5.25558596	35	2.899030503
12	26.39113394	20	10.92431881	28	4.79448012	36	2.765782638
13	23.48235012	21	9.773611737	29	4.390129352	37	2.660805587
14	20.96825586	22	8.751677739	30	4.041622051	38	2.564018247
15	18.80630264	23	7.848628961	31	3.734252694	39	2.485044166
16	16.90887801	24	7.062459779	32	3.470325258	40	2.416995496

#### 4. Kesimpulan

Dengan melakukan simulasi pada Matlab, dapat diambil kesimpulan bahwa estimasi kanal *Piecewise Linear* dengan 2 slope memiliki keakuratan yang baik. Dari 100 kali iterasi setiap SNR, tampak bahwa semakin besar nilai SNR, maka semakin kecil error estimasi kanalnya. Dengan menguji pada SNR=40, rata-rata error yang terjadi hanya 2,4%. Penelitian ke depannya adalah bisa menguji kehandalan estimasi tersebut pada respon impuls yang lain seperti model kanal *mobile-to-mobile*, maupun kanal fading Rician.

#### Referensi

1. F. Ouyang. "Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)". *Digital Communication for Practicing Engineers*. John B. Anderson, Ed. Canada: John Wiley & Sons, 2020.
2. W.M. Hadiansyah, M. Hikmiyah, Y. Moegiharto, I. Anisah. "Analisis Pengaruh Reduksi Peak to Average Power Ratio (PAPR) dengan Teknik Selected Mapping (SLM) Terhadap Efisiensi Spektrum pada Sistem OFDM". *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, Vol. 4(2), 2019.
3. M.N. Drakshayini, A.V. Singh. "A Review on Reconfigurable Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) System for Wireless Communication". *2nd International Conference on Applied and Theoretical Computing and Communication Technology (iCATccT)*, 2016.
4. M. He, M. Jin, Y. Li. Youming. "Blind Spectrum Sensing of OFDM Signals Under Multipath Fading Channels". *24th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, 2018.
5. G. Waichal, A. Khedkar. "Performance Analysis of FFT Based OFDM System and DWT Based OFDM System to Reduce Inter-carrier Interference". *International Conference on Computing Communication Control and Automation*, 2015.
6. A. Bannour, M. A. Matin. "Algebraic Space-Time (ST) Codes: An Overview". *Coding for MIMO-OFDM in Future Wireless Systems*, London: Springer International Publishing, 2015.
7. D.V. Bhimsing, A.C. Bhagali. "Performance of Channel Estimation and Equalization in OFDM System". *IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, 2017.
8. A. Farzamia, N.W. Hlaing, M.K. Haldar, J. Rahebi. "Channel Estimation for Sparse Channel OFDM Systems using Least Square and Minimum Mean Square Error Techniques". *International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, 2017.
9. A.M Jaradat, J.M. Hamamreh, H. Arslan. "Modulation Options for OFDM-Based Waveforms: Classification, Comparison, and Future Directions". *IEEE Access*, 2019.
10. M.S. El-Bakry, H.A. El-Shenawy, A.E.A. Ammar. "A Symbol Time Compression for ICI Reduction in High Mobility OFDM Systems". *29th International Conference on Microelectronics (ICM)*, 2017.
11. Y.R. Zheng, C. Xiao. "Simulation Model with Correct Statistical Properties for Rayleigh Fading Channels". *IEEE Transactions on Communications*, 2003.
12. Xu. K, "Project Report: Piecewise Linear Models for ICI Reduction in OFDM Channel Estimation", 2003.

# Algoritme Particle Swarm Optimization (PSO) untuk Optimasi Perencanaan Produksi Agregat Multi-Site pada Industri Tekstil Rumahan

Agung Mustika Rizki <sup>1\*</sup>, Afina Lina Nurlaili <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Informatika, UPN Veteran Jawa Timur; [agung.mustika.if@upnjatim.ac.id](mailto:agung.mustika.if@upnjatim.ac.id)

<sup>2</sup> Informatika, UPN Veteran Jawa Timur; [afina.lina.if@upnjatim.ac.id](mailto:afina.lina.if@upnjatim.ac.id)

\* Correspondence: [agung.mustika.if@upnjatim.ac.id](mailto:agung.mustika.if@upnjatim.ac.id)

**Abstrak:** Dalam dunia industri, perusahaan perlu mengelola area produksinya dengan baik. Salah satu caranya adalah dengan menerapkan perencanaan produksi agregat. Hal ini bertujuan agar biaya produksi yang dikeluarkan perusahaan dapat terkontrol dengan baik. Namun, perencanaan produksi tidak dapat dirumuskan dengan cepat. Problem tersebut akan bertambah jika perusahaan memiliki beberapa lokasi produksi. Perbedaan lokasi juga mempengaruhi acuan produksi dan standar yang diterapkan di setiap lokasi. Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis mengusulkan untuk menerapkan algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) untuk menyelesaikan masalah perencanaan produksi agregat sehingga didapatkan solusi yang optimal untuk setiap lokasi produksi. Hasilnya, algoritma yang diajukan penulis dapat menghasilkan solusi yang optimal dan efisien untuk 6 lokasi produksi. Hal ini dibuktikan dengan waktu yang dibutuhkan relatif lebih singkat dibandingkan dengan perencanaan sebelumnya yang dilakukan oleh perusahaan.

**Kata Kunci:** Aggregate Production Planning; Particle Swarm Optimization; Multi-site Industry

---

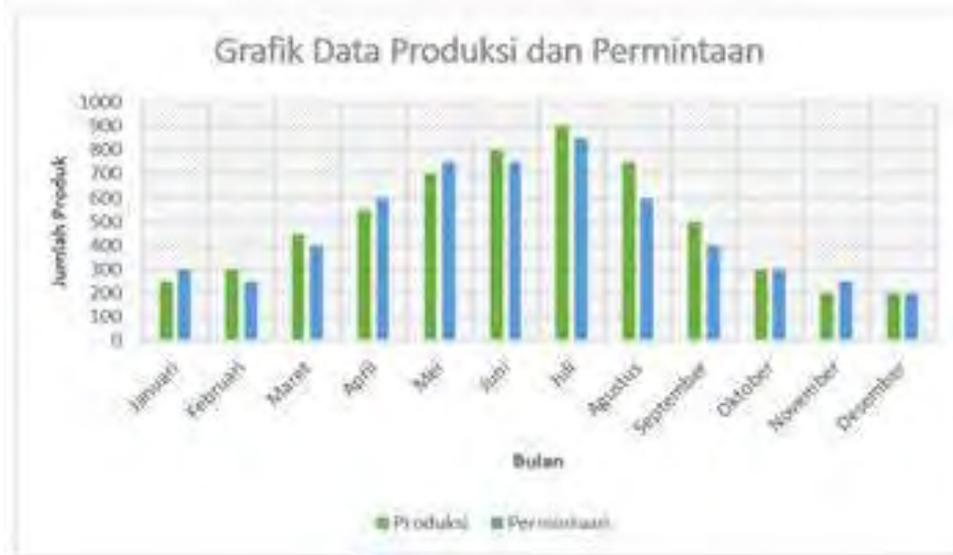
## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan ekonomi yang berkembang pesat di kawasan Asia Tenggara. Hal ini tidak lepas dari banyaknya perusahaan/industri melihat pasar di Indonesia cukup menjanjikan. Disamping itu pemerintah juga berperan aktif dalam mendukung pergerakan industri dalam negeri. Salah satu industri yang terus berkembang saat ini adalah industri tekstil. Hal ini disebabkan karena industri tekstil merupakan bagian pokok dari kebutuhan hidup manusia. Namun di bidang industri terdapat beberapa kendala rumit. Salah satu dari permasalahan tersebut adalah pelaku industri harus merencanakan proses produksi dengan tepat untuk menghadapi permintaan pasar yang sering berubah-ubah. Fluktuasi permintaan ini terjadi karena beberapa faktor diantaranya daya beli masyarakat, perkembangan ekonomi dan munculnya pelaku industri baru pada bidang tekstil. Dengan demikian pelaksanaan produksi harus dilakukan dengan efisien agar tidak berlebihan atau kekurangan. Untuk itu dibutuhkan perencanaan produksi agar permintaan konsumen terpenuhi dengan baik. Dalam hal ini perencanaan produksi agregat dapat dilakukan untuk menghasilkan proses produksi yang efisien tersebut.



**Gambar 1** Data Produksi Stabil

Berdasarkan data yang diperoleh dari tempat penelitian, ada 2 skema produksi yang diterapkan. Pada Gambar 1 dapat dilihat pelaksanaan proses produksi stabil tanpa mempertimbangkan permintaan pasar. Strategi ini memaksimalkan produksi selama satu tahun dengan menitikberatkan pada proses penyimpanan. Namun dalam strategi ini biaya penyimpanan harus dipertimbangkan karena dapat menyebabkan pembengkakan biaya sehingga perusahaan tidak dapat memperoleh keuntungan yang maksimal. Disamping itu daya tahan suatu produk dalam penyimpanan juga harus diperhatikan.



**Gambar 2** Data Produksi Sesuai Permintaan

Strategi produksi lain dijelaskan pada Gambar 2, strategi ini lebih mempertimbangkan permintaan pasar sebagai acuan dalam melaksanakan proses produksi. Pada prakteknya strategi ini memiliki beberapa kendala diantaranya pemaksimalan pegawai dan waktu kerja. Ketika permintaan melonjak ataupun turun maka perusahaan harus melakukan efisiensi pekerja dan waktu kerja dengan penambahan pegawai, pengurangan pegawai ataupun penambahan waktu lembur. Hal tersebut tentu saja dapat merugikan perusahaan dalam hal jika tidak ada kebijakan yang tepat.

Dari beberapa strategi tersebut, setiap perusahaan memiliki kebijakannya sendiri. Dalam hal ini industri tekstil rumahan sebagai objek penelitian memiliki permasalahan dalam proses produksinya. Industri ini memiliki beberapa tempat produksi yang tersebar di area Jawa Timur. Dengan lokasi

yang berbeda tentu saja strategi produksi yang digunakan akan semakin rumit karena harus mempertimbangkan biaya di beberapa daerah tersebut. Untuk perencanaan produksi agregat multi-site diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Perencanaan produksi agregat adalah perencanaan yang bertujuan untuk menentukan jumlah produksi, persediaan, karyawan, tingkat lembur, dan tingkat kepuasan permintaan yang berujung pada biaya minimum atau keuntungan maksimal [1]. Pada tahap awal perencanaan produksi agregat adalah memperkirakan permintaan konsumen sebagai masukan dari proses perencanaan. Selanjutnya diperhitungkan juga ketersediaan bahan, pekerja, waktu produksi dan biaya yang dibutuhkan. Seperti masalah kombinatorial pada umumnya penyelesaian permasalahan ini cukup rumit. Disamping itu penyelesaian dengan cara biasa membutuhkan tenaga, pikiran dan waktu yang tidak sebentar untuk mendapatkan hasil yang paling optimal. Saat ini pelaku industri cenderung menggunakan perencanaan produksi dengan metode sederhana seperti *Linier Programming* dan *Goal Programming* [2]. Metode tersebut dianggap cukup efektif namun terkadang kesalahan kecil karena faktor manusia dapat menyebabkan kerugian bagi pihak perusahaan. Untuk itu dibutuhkan sebuah sistem yang dapat merencanakan agregat produksi sehingga dapat dicapai keuntungan optimal.

Sebelumnya terdapat penelitian perencanaan produksi agregat pada perusahaan penghasil tembakau rajang yang memiliki permintaan berfluktuasi. Beberapa strategi yang dipakai diantaranya *Chase Strategy*, *Level Strategy* dan *Hybrid Strategy* yang kemudian menghasilkan strategi agregat terpilih adalah *Hybrid Strategy*. Strategi ini menunjukkan total biaya produksi paling minimum sebesar Rp 34.309.781.219, dimana biaya produksi mengalami penghematan sebesar Rp 234.376.086 dari biaya produksi awal perusahaan [3]. Beberapa algoritme meta-heuristik dapat dijadikan solusi untuk menyelesaikan masalah ini. Salah satunya adalah algoritme *Particle Swarm Optimization*.

*Particle Swarm Optimization* adalah algoritme berbasis populasi yang memiliki sejumlah  $n$  partikel. Setiap hipotesis solusi dari permasalahan akan diwakili oleh partikel-partikel tersebut. Masing-masing partikel mengubah posisi terhadap waktu. Pada sistem PSO, partikel terbang mengitari ruang pencarian multi dimensional dan menyesuaikan posisinya berdasarkan pengalaman pribadinya dan pengalaman partikel kelompok [4]. Selanjutnya terdapat penelitian lain yang dilakukan oleh Mahmudy dkk. membahas penyelesaian permasalahan pada *Flexible Manufacturing System* (FMS). Yang pertama menggunakan *Improved Particle Swarm Optimization*. Dari penelitian tersebut membuktikan bahwa algoritme yang dipakai efektif untuk menyelesaikan permasalahan kombinatorial [5].

Berdasarkan pemaparan yang telah dibahas sebelumnya, disimpulkan bahwa dengan memanfaatkan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dapat menyelesaikan permasalahan sejenis yang terstruktur. Oleh karena itu, dengan keadaan dan permasalahan yang ada seperti pada studi kasus mendorong penulis untuk membuat sebuah gagasan yakni merancang suatu sistem guna mendapatkan solusi yang optimal. Solusi dapat dikatakan optimal ketika biaya produksi dapat mencapai nilai seminimal mungkin. Hal tersebut menjadi latar belakang penulis untuk menyajikan studi kasus ini dengan menerapkan algoritme *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada permasalahan perencanaan produksi agregat guna mengoptimalkan jumlah produksi pada industri tekstil rumahan. Studi kasus ini diharapkan mampu memberikan dampak yang positif pada bidang industri sehingga mampu menghasilkan perencanaan produksi agregat yang optimal dan sesuai dengan kebutuhan industri saat ini.

## 2. Metodologi

*Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan metode yang terinspirasi dari sifat alami sekelompok binatang seperti burung, rayap, lebah atau semut. Algoritme PSO mencontoh sifat alami beberapa organisme tersebut. Sifat ini terdiri dari kebiasaan yang dilakukan dalam kegiatan sehari-hari dan juga pengaruh individu satu terhadap individu-individu lainnya dalam suatu populasi. Kata "partikel" merujuk pada individu, contohnya seekor burung dalam populasi burung. Setiap

individu atau partikel tersebut saling terhubung dengan kecerdasannya (*intelligence*) masing-masing dan juga dipengaruhi oleh perilaku kelompok lain dalam populasinya. Dengan adanya kondisi tersebut, jika salah satu partikel mendapatkan jalur yang efektif atau lebih pendek menuju ke sumber makanan, maka partikel lainnya juga akan mengikuti jalur tersebut meskipun lokasi awal mereka jauh dari kelompok tersebut [6].

Metode untuk optimasi berbasis kecerdasan partikel ini juga disebut sebagai algoritme *behaviorally inspired* yang dapat menjadi salah satu alternatif selain algoritme genetika, yang memang populer dengan *evolution-based procedures*. Untuk pertama kali algoritme PSO ini diusung oleh J. Kennedy dan R. C. Eberhart pada tahun 1995. Terkait dengan optimasi *multi-variable*, kelompok tersebut dapat diartikan memiliki ukuran tertentu atau tetap dimana setiap partikel posisi awalnya terdapat pada suatu lokasi secara acak dalam ruang multi dimensi. Setiap partikel memiliki dua karakteristik yakni posisi dan kecepatan.

Pada PSO terdapat tiga komponen penting antara lain: partikel, komponen kognitif dan komponen sosial, serta kecepatan partikel. Pada setiap partikel tersebut mewakili solusi dari suatu permasalahan yang dihadapi. Pembelajaran untuk partikel terdiri dari dua faktor yakni pengalaman partikel (*cognitive learning*) dan kombinasi pembelajaran dari keseluruhan *swarm* (*social learning*). *Cognitive learning* sebagai pBest yaitu posisi terbaik yang pernah dicapai suatu partikel, sedangkan *social learning* sebagai gBest yaitu posisi terbaik dari keseluruhan partikel dalam *swarm*. Parameter pBest dan gBest berfungsi untuk menghitung kecepatan partikel dan juga kecepatan untuk menghitung posisi partikel selanjutnya [6].

Terdapat beberapa factor penyusun pada algoritme PSO menurut Cholissodin dan Riyandani (2016), antara lain sebagai berikut:

- a) *Swarm*, merupakan jumlah partikel dalam suatu populasi. Ukuran *swarm* bergantung pada seberapa kompleks permasalahan yang akan diselesaikan. Secara umum, ukuran *swarm* pada algoritme PSO cenderung lebih kecil jika dibandingkan dengan algoritme evolusioner lainnya dalam melakukan pencarian solusi terbaik.
- b) Partikel, merupakan suatu individu dalam suatu *swarm* yang merepresentasikan solusi untuk menyelesaikan permasalahan. Setiap partikel memiliki posisi dan kecepatan yang ditentukan oleh representasi solusi tersebut.
- c) *Personal best* (pBest), merupakan posisi terbaik yang pernah dicapai oleh partikel dengan membandingkan nilai fitness pada posisi partikel saat ini dengan sebelumnya. *Personal best* dipersiapkan untuk mendapatkan solusi terbaik.
- d) *Global Best* (gBest), merupakan posisi terbaik partikel yang diperoleh dengan membandingkan nilai fitness terbaik dari keseluruhan partikel dalam *swarm*.
- e) Kecepatan (*velocity*),  $v$  merupakan vektor yang menentukan arah perpindahan posisi partikel. Perubahan *velocity* dilakukan setiap iterasi dengan tujuan memperbaiki posisi partikel semula.
- f) Bobot inersia (*inertia weight*),  $w$  digunakan untuk mengontrol dampak dari perubahan *velocity* yang diberikan oleh partikel.
- g) Koefisien akselerasi, merupakan faktor pengontrol sejauh mana partikel berpindah dalam satu iterasi. Secara umum nilai koefisien akselerasi C1 dan C2 adalah sama yaitu dalam rentang 0 sampai 4. Namun demikian, nilai tersebut dapat ditentukan sendiri untuk setiap penelitian berbeda.

Terdapat pseudo-code sebagai struktur umum algoritme PSO seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Selanjutnya rumus yang digunakan pada algoritme PSO disajikan dalam Persamaan berikut

Rumus update kecepatan (*velocity*):

Persamaan 1

$$v_{i,j}^{t+1} = w \cdot v_{i,j}^t + c_1 \cdot r_1 (Pbest_{i,j}^t - x_{i,j}^t) + c_2 \cdot r_2 (Gbest_{g,j}^t - x_{i,j}^t)$$

Rumus update posisi:

Persamaan 2

$$x_{i,j}^{t+1} = x_{i,j}^t + v_{i,j}^t$$

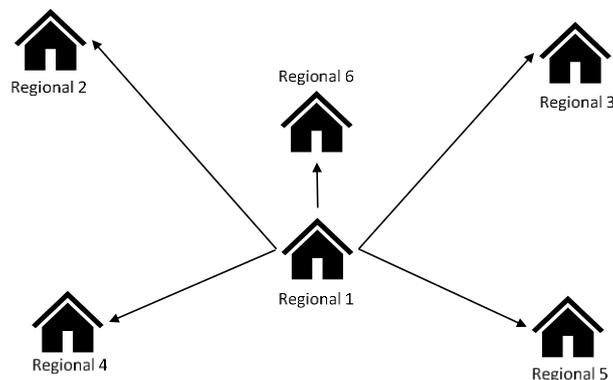
```

procedure AlgoritmaPSO
begin
  t = 0
  inialisasi posisi partikel ( $x_{i,j}^t$ ), kecepatan ( $v_{i,j}^t$ ),  $Pbest_{i,j}^t = x_{i,j}^t$ ,
    hitung fitness tiap partikel, dan  $Gbest_{g,j}^t$ 
  do
    t = t + 1
    update kecepatan  $v_{i,j}(t)$ 
    update posisi  $x_{i,j}(t)$ 
    hitung fitness tiap partikel
    update  $Pbest_{i,j}(t)$  dan  $Gbest_{g,j}(t)$ 
  while (bukan kondisi berhenti)
end
  
```

Gambar 3 Pseudocode Algoritme PSO

### 3. Formulasi Permasalahan

Permasalahan yang terdapat pada studi kasus penelitian ini seperti ditunjukkan Gambar 4, bahwa proses produksi industri tekstil tidak bertumpu pada satu daerah saja melainkan dibagi menjadi beberapa daerah produksi (*region*) atau selanjutnya akan disebut sebagai *multi-site*. Hal ini bertujuan untuk memaksimalkan sumber daya yang ada pada setiap daerah. Namun strategi ini juga menimbulkan permasalahan baru dalam hal perencanaan proses produksi dikarenakan setiap daerah memiliki standar nilai upah yang beragam serta aturan yang berbeda pula. Untuk itu perencanaan produksi agregat *multi-site* diperlukan guna memaksimalkan segala sumber daya sehingga didapatkan keuntungan yang optimal. Dalam hal ini meminimalkan biaya produksi merupakan tujuan utama.



Gambar 4 Skema Produksi Multi-Site

### 4. Results

Dari penyelesaian menggunakan metode PSO didapatkan hasil produksi untuk 6 region. Pada Tabel 1 ditunjukkan *cost* atau biaya produksi untuk masing-masing *region*.

Tabel 1 Biaya Produksi Masing-masing Region

Region ke-	Cost
1	369015000
2	428437000
3	430752000
4	480025000
5	513392000
6	513022500

Selanjutnya Tabel 2 sampai dengan Tabel 7 merupakan rincian dari perencanaan produksi agregat untuk masing-masing *region*. Setiap periode perusahaan akan memperhitungkan biaya produksi *regular time* (rt), biaya produksi *over time* (ot), biaya produksi *subcontract* (st), biaya perekrutan pekerja (ht), biaya pemberhentian pekerja (ft) dan jumlah persediaan (it).

Tabel 2 Perencanaan Produksi Agregat Region 1

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
Agu-16	739	21	740	740	0	0	0	0	1
Sep-16	313	20	674	674	0	0	0	0	362
Okt-16	654	21	565	565	0	0	0	0	273
Nov-16	902	21	1235	1092	143	0	0	0	606
Des-16	475	21	1806	1092	336	378	0	0	1937
Jan-17	711	20	780	780	0	0	0	0	2006
Feb-17	777	22	1579	1144	352	83	0	0	2808
Mar-17	1314	20	1302	1040	262	0	0	0	2796
Apr-17	997	20	1536	1040	320	176	0	0	3335
Mei-17	1269	17	1577	884	272	421	0	0	3643
Jun-17	3396	21	1958	1092	336	530	0	0	2205
Jul-17	4017	22	1791	1144	352	295	0	0	-21

Tabel 3 Perencanaan Produksi Agregat Region 2

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
Agu-16	1439	21	1443	1443	0	0	0	0	4
Sep-16	838	20	1358	1358	0	0	0	0	524
Okt-16	871	21	882	882	0	0	0	0	535
Nov-16	947	21	608	608	0	0	0	1	196
Des-16	671	21	1509	1509	0	0	0	0	1034
Jan-17	911	20	2243	1440	360	443	0	0	2366
Feb-17	562	22	2717	1584	396	737	0	0	4521
Mar-17	952	20	2491	1440	360	691	0	0	6060
Apr-17	1491	20	1406	1406	0	0	0	0	5975
Mei-17	2660	17	1408	1224	184	0	0	0	4723
Jun-17	2660	21	2439	1512	378	549	0	0	4502
Jul-17	6658	22	2158	1144	352	295	0	0	-21

**Tabel 4** Perencanaan Produksi Agregat Region 3

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
<b>Agu-16</b>	2766	21	3419	1365	420	546	5	0	653
<b>Sep-16</b>	1186	20	736	736	0	0	0	0	203
<b>Okt-16</b>	864	21	1231	1231	0	0	0	0	570
<b>Nov-16</b>	944	21	598	598	0	0	0	1	224
<b>Des-16</b>	687	21	624	624	0	0	0	0	161
<b>Jan-17</b>	790	20	991	991	0	0	0	0	362
<b>Feb-17</b>	805	22	1794	1430	364	0	0	0	1351
<b>Mar-17</b>	615	20	1955	1300	400	255	0	0	2691
<b>Apr-17</b>	1676	20	1809	1300	400	109	0	0	2824
<b>Mei-17</b>	2118	17	1854	1105	340	409	0	0	2560
<b>Jun-17</b>	2617	21	3026	1365	420	546	4	0	2969
<b>Jul-17</b>	5727	22	2722	1430	440	572	2	0	-36

**Tabel 5** Perencanaan Produksi Agregat Region 4

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
<b>Agu-16</b>	1808	21	2890	2016	504	370	0	0	1082
<b>Sep-16</b>	1221	20	1252	1252	0	0	0	0	1113
<b>Okt-16</b>	1455	21	1582	1582	0	0	0	0	1240
<b>Nov-16</b>	1312	21	861	861	0	0	0	1	789
<b>Des-16</b>	1129	21	902	902	0	0	0	0	562
<b>Jan-17</b>	1397	20	862	862	0	0	0	1	27
<b>Feb-17</b>	594	22	3419	2112	528	779	0	0	2852
<b>Mar-17</b>	1003	20	1833	1833	0	0	0	0	3682
<b>Apr-17</b>	2006	20	2951	1920	480	551	0	0	4627
<b>Mei-17</b>	3429	17	2635	1632	408	595	0	0	3833
<b>Jun-17</b>	3579	21	3458	2016	504	938	0	0	3712
<b>Jul-17</b>	7069	22	3370	2112	528	730	0	0	13

**Tabel 6** Perencanaan Produksi Agregat Region 5

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
<b>Agu-16</b>	1843	21	2814	1911	588	315	0	0	971
<b>Sep-16</b>	866	20	627	627	0	0	0	2	732
<b>Okt-16</b>	1202	21	728	728	0	0	0	0	258
<b>Nov-16</b>	1327	21	1262	1262	0	0	0	0	193
<b>Des-16</b>	744	21	1833	1833	0	0	0	0	1282
<b>Jan-17</b>	1304	20	829	829	0	0	0	0	807
<b>Feb-17</b>	1393	22	2893	2002	616	275	0	0	2307
<b>Mar-17</b>	1650	20	2579	1820	560	199	0	0	3236
<b>Apr-17</b>	1606	20	2534	1820	560	154	0	0	4164
<b>Mei-17</b>	2367	17	2440	1547	476	417	0	0	4237
<b>Jun-17</b>	4374	21	3316	1911	588	817	0	0	3179
<b>Jul-17</b>	6339	22	3156	2002	616	538	0	0	-4

**Tabel 7** Perencanaan Produksi Agregat Region 6

Periode	Permintaan	Hari Kerja	Produksi	rt	ot	st	ht	ft	it
<b>Agu-16</b>	4047	21	4270	1512	378	756	8	0	223
<b>Sep-16</b>	1582	20	1505	1440	65	0	0	0	146
<b>Okt-16</b>	932	21	841	841	0	0	0	0	55
<b>Nov-16</b>	714	21	2012	1512	378	122	0	0	1353
<b>Des-16</b>	983	21	625	625	0	0	0	0	995
<b>Jan-17</b>	781	20	1402	1402	0	0	0	0	1616
<b>Feb-17</b>	879	22	1932	1584	348	0	0	0	2669
<b>Mar-17</b>	628	20	2309	1440	360	509	0	0	4350
<b>Apr-17</b>	1808	20	2508	1440	360	708	0	0	5050
<b>Mei-17</b>	2344	17	733	733	0	0	0	0	3439
<b>Jun-17</b>	2918	21	2598	1512	378	708	0	0	3119
<b>Jul-17</b>	5305	22	2142	1584	396	162	0	0	-44

Dari hasil yang telah diperoleh dengan menggunakan metode PSO dapat disimpulkan bahwa biaya produksi perusahaan untuk 6 region adalah sebesar Rp2.734.643.500,-. Dengan rincian perencanaan agregat yang juga telah dihasilkan dapat menjadi acuan perusahaan dalam menentukan strategi selama 12 bulan ke depan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terkait solusi atas permasalahan perencanaan produksi agregat *multi-site*, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Representasi solusi dengan menggunakan integer dapat mewakili nilai solusi (jumlah produksi) pada perencanaan agregat produksi. Pada tahap awal, representasi tersebut masuk ke dalam proses PSO dimana setiap satu baris representasi solusi menjadi satu partikel.
2. Mekanisme yang dilakukan oleh penulis terkait algoritme PSO dikatakan berhasil. PSO dapat menentukan nilai produksi yang tepat untuk masing-masing region selama 12 periode .
3. Metode usulan penulis yakni algoritme PSO dapat dikatakan berhasil dalam mencari solusi optimal untuk permasalahan perencanaan produksi agregat. Hal ini terbukti dari hasil algoritme PSO berupa biaya produksi sebesar Rp2.734.643.500,- lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional yang selama ini digunakan yakni sebesar Rp2.817.900.000,-. Disamping itu penelitian ini juga menghasilkan detail perencanaan agregat untuk 6 region yang dapat dipakai sebagai acuan pengambilan keputusan perusahaan di masa mendatang.

#### Referensi

1. O. Saracoglu, M. C. Arslan, and M. Turkay, "Aggregate Planning Problem from Sustainability Perspective," Int. Conf. Adv. Logist. Transp. Aggreg., pp. 181–186, 2015.
2. L. Nafisah, Sutrisno, and Y. E. H. Hutagaol, "Perencanaan Produksi Menggunakan Goal Programming (Studi Kasus di Bakpia Pathuk 75 Yogyakarta)," Spektrum Ind., vol. 14, pp. 109–230, 2016.
3. I. A. Octavianti, N. W. Setyanto, C. Farela, and M. Tantrika, "Perencanaan Produksi Agregat Produk Tembakau Rajang P01 Dan P02 Di PT X," J. Rekayasa dan Manaj. Sist. Ind., vol. 1, no. 2, pp. 264–274, 2012.
4. W. F. Mahmudy, "Improved Particle Swarm Optimization untuk Menyelesaikan Permasalahan Part Type Selection dan Machine Loading pada Flexible Manufacturing System (FMS)," Konf. Nas. Sist. Inf. , Univ. Klabat, Airmadidi, Minahasa Utara, Sulawesi Utara, no. August, pp. 1003–1008, 2015.
5. W. F. Mahmudy, "Optimization of Part Type Selection and Machine Loading Problems in Flexible Manufacturing System Using Variable Neighborhood Search," IAENG Int. J. Comput. Sci., vol. 42:3, no. July, pp. 254–264, 2015.
6. I. Cholissodin and E. Riyandani, SWARM INTELLIGENCE (Teori & Case Study). Malang: Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya, 2016.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).