

P-ISSN : 2356-1297
E-ISSN : 2528-7222

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**

Journal of Industrial and Beverage Crops

Volume 7, Nomor 3, November 2020

Terakreditasi DIKTI No.30/E/KPT/2018
Tanggal 24 Oktober 2018



BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
Indonesian Agency for Agricultural Research and Development
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERKEBUNAN
Indonesian Center for Estate Crops Research and Development
Bogor, Indonesia

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops

Dahulu **Buletin Riset Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri**, terbit pertama kali tahun 2008 memuat karya tulis ilmiah hasil penelitian dan tinjauan hasil penelitian tentang tanaman rempah dan industri. Sejak tahun 2014 berganti nama menjadi **Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar** yang melaporkan hasil penelitian tanaman industri dan penyegar yang belum pernah dipublikasikan. Terbit tiga nomor dalam setahun, setiap bulan Maret, Juli, dan November.

Volume 7, Nomor 3, November 2020

Terakreditasi DIKTI No.30/E/KPT/2018

Tanggal 24 Oktober 2018

PENANGGUNG JAWAB

Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan

DEWAN EDITOR

Ketua

Ir. Edi Wardiana, M.Si. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Agronomi)

Anggota

Dr. Tri Joko Santoso, SP, M.Si. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Biologi Molekuler/Pemuliaan)

Dr. Ir. Rr. Sri Hartati, MP. - Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan (Pemuliaan)

Dr. Ir. Samsudin, M.Si. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Entomologi)

Dr. Rr. Kurnia Dewi Sasmita, SP, M.Si. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Ilmu Tanah)

Dr. Rita Harni, M.Si. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Fitopatologi)

Nur Kholilatul Izzah, SP, MP, Ph.D. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Biologi Molekuler/Pemuliaan)

EDITOR PELAKSANA

Eko Heri Purwanto, S.TP, M.Sc. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Arifa Nofriyaldi Chan - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Intan Nurhayati, S.Sos. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Dewi Nur Rokhmah, SP, M.Sc. - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Khaerati, S.Si., M.Si - Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Alamat Redaksi

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Jl. Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357

Telp. (0266) 6542181 Faks. (0266) 6542087

e-mail: balittri@litbang.pertanian.go.id

<http://balittri.litbang.pertanian.go.id>

Sumber Dana

DIPA 2020 Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

PENERBIT

Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan

MITRA BESTARI

JURNAL TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR

1. **Prof. Dr. Ir. Sudarsono, M.Sc.**
Institut Pertanian Bogor
Biologi Molekuler/Pemuliaan
2. **Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr.**
Institut Pertanian Bogor
Pascapanen Pertanian
3. **Dr. Amzul Rifin, S.P., M.A.**
Institut Pertanian Bogor
Agribisnis
4. **Dr. Ir. Ade Wachjar, M.S.**
Institut Pertanian Bogor
Agronomi
5. **Dr. Ir. Taryono, M.Sc.**
Universitas Gadjah Mada
Genetika dan Biologi Molekuler
6. **Ir. Arifin Noor Sugiharto, M.Sc, Ph.D.**
Universitas Brawijaya
Pemuliaan
7. **Dr. Hagus Tarno, Agr. Sc.**
Universitas Brawijaya
Entomologi
8. **Prof. Ir. I. G. A. Mas Sri Agung, M.Rur.Sc, Ph.D.**
Universitas Udayana
Ekofisiologi
9. **Prof. (R). Dr. Ika Mariska Soedharma**
Masyarakat Kelapa Sawit Indonesia
Bioteknologi Pertanian
10. **Dr. Ir. Isroi, M.Si.**
Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri
Indonesia
Bioteknologi Pertanian
11. **Prof. (R). Dr. Supriadi, M.Sc.**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Fitopatologi
12. **Prof. (R). Dr. Elna Karmawati, M.S.**
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Perkebunan
Entomologi
13. **Prof. (R). Dr. Ir. I Wayan Rusastra, M.S.**
Pusat Sosial Ekonomi dan Analisis Kebijakan
Agroekonomi
14. **Puji Lestari, SP, M.Si, Ph.D.**
Balai Besar Litbang Bioteknologi & SDG
Pertanian
Biologi Molekuler
15. **Prof. (R). Dr. Ir. Rubiyo, M.Si.**
Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan
Teknologi Pertanian
Agronomi
16. **Prof. (R). Dr. Ir. Risfaheri, M.Si.**
Balai Besar Pascapanen
Pascapanen Pertanian
17. **Dr. Ir. Agus Wahyudi, M.S.**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Agroekonomi
18. **Dr. Ir. Oti Rostiana, M.Sc**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Pemuliaan Tanaman
19. **Prof. Dr. Ir. Jajang Sauman Hamdani, MS**
Universitas Padjadjaran
Budidaya Pertanian
20. **Dr. Caspar Chater**
Instituto de Biotecnologia de la UNAM
Genetika dan Biologi Molekuler
21. **Dr. Ir. Maswar, M. Agric. Sc.**
Balai Penelitian Tanah
Hidrologi dan Konservasi Tanah
22. **Prof. (R). Dr. Ir. Joni Munarso, M.S.**
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Pasca Panen Pertanian
Teknologi Pascapanen

- 23. Kuntoro Boga Andri, SP, M.Agr., Ph.D**
Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian
Agroekonomi
- 24. Prof. (R). Dr. Ir. I. Djatnika, MS**
Balai Penelitian Tanaman Hias
Fitopatologi
- 25. Prof. (R) Dr. Ir. Nur Richana, M.Si**
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca
Panen Pertanian
Teknologi Pascapanen
- 26. Prof. (R). Dr. Dra. Endang Gati Lestari, M.Si.**
Balai Besar Penelitian Bioteknologi dan
Sumberdaya Genetik Pertanian
Bioteknologi Pertanian
- 27. Prof (R). Dr. Ir. Hengky Novariant, MS**
Balai Penelitian Tanaman Palma
Pemuliaan dan Genetika Tanaman
- 28. Ir. Octivia Trisilawati, M.Sc**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Budidaya Tanaman
- 29. Prof. (R).Ir. Bambang Heliyanto, M.Sc., Ph.D**
Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Pemuliaan dan Genetika Tanaman
- 30. Dr. Ir. Yulia Pujiharti, M.Si.**
Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Lampung
Sistem Usaha Pertanian
- 31. Dr. Ir. Joko Pitono**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Budidaya Tanaman
- 32. Riza Arief Putranto, Ph.D**
Pusat Penelitian Bioteknologi dan Bioindustri
Indonesia
Budidaya Tanaman
- 33. Dr. Ir. Dono Wahyuno**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Fitopatologi
- 34. Prof. (R). Ir. Nurindah, Ph.D.**
Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat
Entomologi
- 35. Dr. Ir. Muchamad Yusron, M.PHIL**
Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Banten
Budidaya Tanaman
- 36. Prof. (R). Dr. Ir. Fahmuddin Agus, M.Sc**
Balai Penelitian Tanah
Konservasi Tanah dan Air
- 37. Reflinur, SP., MSi., Ph.D**
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik
Bioteknologi
- 38. Dr. Ir. Nurliani Bermawie**
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Pemuliaan Tanaman
- 39. Dr. Ir. I Ketut Ardana, M.Si**
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Perkebunan
Sosial Ekonomi Pertanian
- 40. Dr. Ika Roostika Tambunan, S.P.,b M.Si**
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik
Bioteknologi Pertanian
- 41. Dr. Dra. Dwinita Wikan Utami, M.Si.**
Balai Besar Penelitian dan Pengembangan
Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik
Bioteknologi Pertanian
- 42. Dr. Chaireni Martasari, SP. M.Si**
Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah
Subtropika
Pemuliaan Tanaman dan Bioteknologi
- 43. Dr. Drs. Iwa Mara Trisawa, M.Si**
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Perkebunan
Entomologi
- 44. Afik Hardanto, S.TP., M.Sc., PhD**
Universitas Jenderal Soedirman
Teknik Pertanian

PENGANTAR EDITOR

Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar sebagai media komunikasi penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, menyajikan hasil-hasil penelitian di bidang pemuliaan dan bioteknologi, agronomi, fisiologi, ekologi, entomologi, fitopatologi serta sistem dan usaha agribisnis tanaman industri dan penyegar.

Volume 7 Nomor 3 Tahun 2020 ini menyajikan 6 artikel: 1 artikel kopi di bidang teknologi pasca panen, 1 artikel kopi di bidang pemuliaan tanaman, 1 artikel kopi di bidang proteksi tanaman, 1 artikel kakao di bidang proteksi tanaman, 1 artikel kakao di bidang agronomi, serta 1 artikel teh di bidang teknologi pasca panen.

Semoga Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar ini dapat memberikan sumbangan yang nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta teknologi di bidang perkebunan.

Ketua Dewan Editor

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops

Volume 7, Nomor 3, November 2020

Prediction of Caffeine Content in Liberica Coffee Green Bean by NIR Spectroscopy Using Kubelka-Munk Model <i>(Ei Mon Kyaw, I Wayan Budiastara, Sutrisno, Samsudin, Dheni Mita Mala)</i>	119-126
Efektivitas Nanoemulsi Minyak Serai Wangi Terhadap <i>Phytophthora palmivora</i> Butl. Patogen Busuk Buah Kakao <i>(Rita Harni, Khaerati, Rita Noveriza, Sri Yuliani)</i>	127-136
Pengaruh Iradiasi Sinar Gamma terhadap Pertumbuhan Stek Tunas Apikal dan Aksilar Kopi Arabika <i>(Meynarti Sari Dewi Ibrahim, Enny Randriani)</i>	137-148
Analisis Antropometri dan Biomekanik Penggunaan Mesin Pemetik Daun Teh Tipe GT 120 Ochiai <i>(Andika Herianto Simarmata, Kralawi Sita, Totok Herwanto, Ahmad Thoriq)</i>	149-162
Perubahan Biokimia dan Indikator Vigor Benih Kakao pada Lima Taraf Lamanya Penyimpanan <i>(Iling Sobari, Sumadi, Santi Rosniawaty, Edi Wardiana)</i>	163-178
Kemampuan Blastospora <i>Paecilomyces fumosoroseus</i> , <i>Metarhizium anisopliae</i> dan <i>Lecanicillium decanii</i> dalam Menginfeksi Kumbang <i>Hypothenemus hampei</i> <i>(Samsudin, Khaerati, Gusti Indriati, Arlia Dwi Hapsari)</i>	179-188

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERKEBUNAN
Indonesian Center for Estate Crops Research and Development
Bogor, Indonesia

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 7, Nomor 3, November 2020

**PREDICTION OF CAFFEINE CONTENT IN LIBERICA COFFEE GREEN BEAN BY
NIR SPECTROSCOPY USING KUBELKA-MUNK MODEL**

***PENDUGAAN KANDUNGAN KAFEIN BIJI KOPI LIBERIKA DENGAN SPEKTROSKOPI NIR
MENGUNAKAN MODEL KUBELKA-MUNK***

* Ei Mon Kyaw¹⁾, I W Budiastara²⁾, Sutrisno²⁾, Samsudin³⁾, Dheni Mita Mala⁴⁾

¹⁾ **Postharvest Technology Study Program, Postgraduate, IPB University**
Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²⁾ **Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University**
Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

³⁾ **Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute (BALITRI)**
Jl. Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

⁴⁾ **Center of Agro-based Industry (BBIA), Ministry of Industry Republic of Indonesia**
Jl. Ir. H. Juanda No.11, RT.04 / RW.02, Paledang, Bogor 16122, Indonesia

* *eimonlay.horti@gmail.com*

(Tanggal diterima: 2 Juni 2020, direvisi: 16 Juli 2020, disetujui terbit: 1 September 2020)

ABSTRACT

Liberica is one of coffee species that is becoming popular and increasingly in demand in present days due to its unique characteristics. Caffeine is one of the important coffee quality parameter which determines the coffee flavor, consumer preference and market price. Caffeine content is usually analyzed by chemical method which is destructive, time consuming, expensive and involving a lot of procedures. NIR Spectroscopy is one of the non-destructive techniques to overcome these disadvantages. This study was conducted at the Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University for NIR measurement and the Center of Agro-based Industry (BBIA), Bogor for chemical analysis from August to November 2019. The study aimed to determine the best calibration model for the prediction of caffeine content in Liberica coffee green bean powder. In this study, FT-NIRS in the wavelength of 1000-2500 nm was used for NIR measurement and HPLC tool was used for chemical analysis. Kubelka-Munk (K/S) and Absorbance (Log 1/R) were used as data transformation, whereas Standard Normal Variance (SNV) and Second derivative of Savitzky-Golay (dg2) as data pretreatment. In addition, Partial Least Square (PLS) and Multiple Linear Regression (MLR) were applied for multivariate calibration method. The best calibration model for the prediction of caffeine content of Liberica coffee green bean powder was obtained by the spectral data pretreated with second derivative of Savitzky-Golay (dg2) and Kubelka-Munk data transformation using PLS calibration method with the results of $r = 0.90$, $RPD = 2.24$, $CV = 2.01\%$.

Keywords: Caffeine content; coffee; Kubelka-Munk; Liberica; multivariate calibration

ABSTRAK

Liberika merupakan salah satu varietas kopi yang populer dan semakin diminati pada saat ini karena karakteristiknya yang khas. Kafein adalah salah satu parameter kualitas kopi yang sangat penting dalam memengaruhi rasa kopi, preferensi konsumen dan harga pasar. Kandungan kafein pada umumnya dianalisis dengan menggunakan metode kimia yang dapat merusak produk, memakan waktu, membutuhkan banyak biaya dan prosedur yang rumit. NIR Spectroscopy adalah salah satu teknik non-destruktif yang dapat mengatasi kekurangan dari metode kimia. Penelitian dilakukan di Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University untuk pengukuran NIR dan Balai Besar Industri Agro (BBIA), Bogor untuk analisis kimia, mulai bulan Agustus-November 2019. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan model kalibrasi terbaik dalam memprediksi kadar kafein pada bubuk kopi hijau Liberika. Penelitian menggunakan FT-NIRS pada panjang gelombang 1000-2500 nm untuk mengukur NIR dan HPLC untuk analisis kimia. Kubelka-Munk (K/S) dan Absorbance ($\log 1/R$) digunakan sebagai transformasi data, sedangkan Standard Normal Variance (SNV) dan turunan kedua Savitzky-Golay (dg2) sebagai pretreatment data. Partial Least Square (PLS) dan Regresi Linier Berganda (MLR) digunakan untuk metode kalibrasi multivarian. Model kalibrasi terbaik untuk memprediksi kandungan kafein bubuk kopi hijau Liberika diperoleh dengan data spektral yang diolah dengan turunan kedua Savitzky-Golay (dg2) dan transformasi data Kubelka-Munk menggunakan metode kalibrasi PLS dengan hasil $r=0.90$, $RPD = 2.24$, $CV = 2.01\%$.

Kata kunci: Kadar kafein; kalibrasi multivariate; kopi; Kubelka-Munk; Liberika

INTRODUCTION

Coffee is one of the most traded agricultural products worldwide. There are a lot of coffee species grown throughout the world. However, Arabica (*Coffea arabica* L.) and Robusta (*Coffea canephora* L.) are most commonly found in global trade markets. Meanwhile, Liberica coffee (*Coffea liberica*) species began to gain popularity in recent years. One unique characteristic of Liberica is adapt well to peatlands and more tolerant to disease attacks. Liberica coffee (*Coffea liberica*) is found mostly in Malaysia, Guyana, Liberia, Suriname, Philippines, Equatorial Guinea, Nigeria, Sao Tomé and Comoros (Min, 2016; Old Courthouse, 2019). In Indonesia, Liberica coffee plantations can be found in Sumatra, especially in Tanjung Jabung Barat, Jambi Province (Kirana & Utami, 2018). Sianipar (2017) stated that currently Liberica coffee is better known by consumers and the demand for Liberica coffee beans tends to increase in the present. This is evidenced by the high price of Liberica coffee exports from Indonesia to Malaysia (Rp.33,000 – 40,000/kg at the farm level).

Liberica is also known as jackfruit coffee due to its flavor and aroma. Coffee quality is mainly determined by the flavor and aroma which is influenced by the chemical compounds in the coffee bean, such as caffeine. Caffeine has bitter flavor and physiologically stimulating in human. Buffo & Cardelli-freire (2018) stated that caffeine contributes to the strength, body and bitterness of brewed coffee. Caffeine contents in green bean are different in each coffee species; 1.1-1.3% caffeine in Arabica, 2.4–2.5% in Robusta and 1.1 to 1.3% in Liberica (Farah, 2012; Hulupi & Martini, 2013). Shiferaw & Alemayehu (2018) mentioned that high caffeine content adversely affects the price of coffee and consumer preferences to coffee products

(beans). Therefore it is necessary to determine caffeine contents of coffee beans before they are released into the beans market or exported.

Determining chemical contents is usually carried out by using chemical method which is expensive, time consuming and long procedures. Near Infra-Red (NIR) Spectroscopy is one of the non-destructive methods and widely used for quality assessment of agricultural products due to its rapidity, simplicity, cost effectiveness, and safety. Purningsih (2018) stated that the Kubelka-Munk method showed the relationship between reflectance and absorbance and the scatter of light that occurs. Kubelka-Munk is used for samples with small particles that connect the spectra reflectance of the sample, absorption (K), and scattering characteristics (S) so that the use of the Kubelka-Munk equation is considered more effective to increase the linearity of the spectrum of chemical data especially in samples with small particles (powder).

Numerous NIRS studies predicting chemical contents of coffee products, yet NIRS prediction for Liberica coffee green bean has not been carried out. In this study, the Standard Normal Variance (SNV) and second derivative of Savitzky-Golay (dg2) as data pretreatment was implemented, as well as Kubelka-Munk (K/S) method and Absorbance ($\log 1/R$) as data transformation. Partial Least Square (PLS) method and Multiple Linear Regression (MLR) were used for calibration. This research aimed to predict the caffeine content of Liberica coffee green bean powder by using NIR Spectroscopy and to determine the best calibration model, data transformation and data pretreatment for caffeine content of Liberica coffee.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted at the Department of Mechanical and Biosystem Engineering, IPB University for NIR measurement and the Center of Agro-based Industry (BBIA), Bogor for chemical analysis, from August to November 2019.

Materials and Sample Preparation

The materials used in this study were Liberica coffee green beans from Pakuwon Experimental Station of Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute (BALITTRI) in Sukabumi, which is located at an altitude of 450 meters above sea level, and coordinates at 6 ° 49'58.0 "S and 106 ° 44'28.4" E.

Liberica coffee green beans (9.9% water content) were ground by a disk mill and filtered by using sieve (mesh No.100). Fifty samples of coffee powder were used for NIR spectroscopy measurement. Two third of samples (34 samples) were taken for calibration model development and 1/3 of samples (16 samples) for validation model.

Sample Measurement

Fifty grams of coffee powder were spread into the petri dish until covering 1.2 cm of the petri dish height. NIR measurement was then conducted to these samples by Spectrometer type NIRFlex N-500 with the wavelength of 1000 – 2500 nm and the scan speed of 3 scans per second (temperature at 22 – 25°C). A total of 150 spectral data were obtained.

After NIRS measurement, the caffeine content analysis was executed using HPLC tools (Shimadzu LC-20AD) (Rai et al., 2015). Ten grams of coffee green bean powder for each sample was added to 100 ml of hot purified water at 80°C. After stirring for one minute, the mixture was centrifuged at approximately 240 rpm. The supernatant was filtered with 0.45 µm filter and was applied to HPLC with minor corrections, using an Inert Sustain C18 column at 40°C. A mobile phase consisted of 0.1% phosphoric acid and 20% acetonitrile. Elution was carried out at a flow rate of 1.0 ml/min and the results were detected at 320 nm. The concentration of caffeine in the sample (C_{caf}) was calculated using the regression equation and compared with standard solutions. The percentage of caffeine was calculated by Equation (1):

$$\text{Caffeine (\%)} = \frac{C_{caf} (\%) \times V_{sol} (\text{ml})}{W_{sample}} \text{----- (1)}$$

Where:

C_{caf} = concentration of caffeine in the sample (%)

V_{sol} = volume of solution (ml)

W_{sample} = weight of sample (g)

NIR Data Processing and Analysis

The reflectance spectrums were transformed into absorbance ($\log 1/R$) and Kubelka Munk Model (K/S). In this study, standard normal variance (SNV) and second derivative (dg2) were applied as NIR data pretreatment. The samples were used for calibration (102 samples) and validation (48 samples). The calibration and validation for NIR data processing and chemical contents were carried out using Partial Least Square (PLS) and Multiple Linear Regression (MLR). Accuracy of NIRS method for caffeine content prediction of Liberica coffee was determined by the result of Coefficient of Correlation (r), Standard Error of Calibration (SEC), Standard Error of Validation (SEV), Coefficient of Variation (CV), Ratio of Performance to Deviation (RPD) and its consistency. NIR data processing and analysis were carried out using Unscramble software V10.5 trial version (CAMO, Norwegia).

RESULTS AND DISCUSSION

Original Reflectance Spectrum

The original reflectance spectrum of Liberica coffee green beans powder at the wavelengths of 1000-2500 nm can be seen in Figure 1. There are 1501 spectral data in the wavelength range of 1000-2500 nm and has a lot of peak and valley of the spectra. The existence of peaks and valleys of the spectrum is influenced by the chemical components which are contained in the material being analyzed. Purningsih (2018) mentioned that the spectral peaks of caffeine can be observed at the wavelength 1128 nm, 1298 nm, 1672 nm, 1726 nm and 1934 nm. Moreover, Rosita (2016) stated that there are four main spectral peaks of caffeine at the wavelength of 1128 nm, 1298 nm, 1672 nm and 1726 nm in the NIR spectrum of Arabica Gayo coffee green bean.

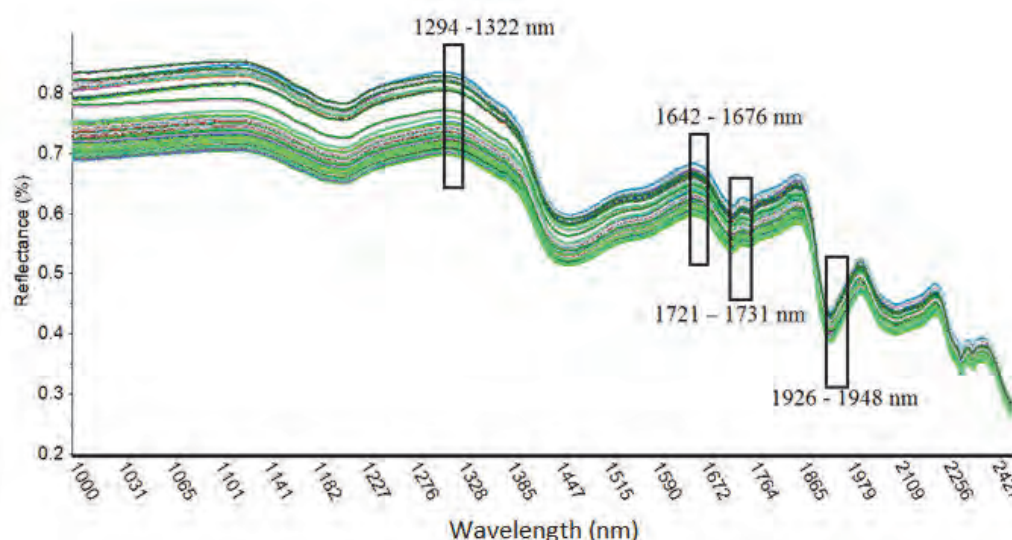


Figure 1. The original reflectance spectral data of Liberica coffee green bean powder
Gambar 1. Data spektral pantulan asli bubuk kopi hijau Liberika

Table 1. Caffeine content of Liberica coffee green bean powder
Tabel 1. Kandungan kafein bubuk kopi hijau Liberika

Process	Number	Minimum (%)	Maximum (%)	Mean (%)	Standard deviation (%)
Calibration	34	1.12	1.35	1.21	0.055
Validation	16	1.14	1.24	1.21	0.021

Figure 1 showed the spectral peak and valley for caffeine content of Liberica coffee green bean powder at 1298 nm and 1672 nm as spectral peak, whereas 1726 nm and 1934 nm as valleys. However, the wavelength of 1128 nm did not appear in this study due to the original spectral data attained from NIR instrument cannot show all information of the material. It also has some interference effect on the relevant information such as noise, background and hidden information due to overlapping information with another (Purningsih, 2018). It is necessary to eliminate or reduce noise, hidden and background information in order to obtain reliable, accurate and stable calibration models. Therefore, spectral data pretreatment prior to modeling is vital.

Caffeine Content of Liberica Coffee Green Bean Powder

The caffeine content of Liberica coffee green bean powder is shown in Table 1. The results of chemical analysis were used as reference data for calibration and validation. Rosita, Budiastira & Sutrisno (2016) mentioned that the highest and the lowest values in the processed NIRS data are intended as calibration data sets in building the calibration model.

The caffeine content of Liberica coffee green beans powder found in this study ranged between

1.12% and 1.35% with the standard deviation of 0.055% for calibration and 0.021% for validation (Tabel 1). Meanwhile previous study conducted by Purningsih (2018) showed that caffeine content in Bondowoso Arabica coffee green bean powder was 1.27% - 1.57% , Arabica Java Preanger coffee bean was 1.18 – 1.41 % (Budiastira, Sutrisno, Widyotomo, & Ayu, 2018) and Arabica Gayo coffee beans was 0.194 to 0.328% (Rosita, Budiastira & Sutrisno, 2016). Hulupi & Martini (2013) stated that caffeine content of Liberica coffee green bean was 1.1% to 1.3%. Therefore, there is no difference in the caffeine content of Liberica coffee green bean and Liberica coffee green bean powder.

Calibration and Validation of Liberica Green Bean Powder

The results of calibration and validation model using PLS method are shown in Table 2. The best calibration model can be found in the spectra, which pretreated with second derivative of Savitzky-Golay (dg2) and by Kubelka-Munk data transformation, shown by the correlation coefficient r (0.90), RPD (2.24), consistency (80%) and CV (2.01%). Savitzky-Golay (dg2) can eliminate background information and increase the resolution of the spectra. Furthermore, Kubelka-Munk data transformation method affects the

relationship between reflectance and absorbance as well as the scatter of light.

All spectral data except dg2 transformed by Absorbance (Log 1/R) in Table 2 also showed good accuracy for the caffeine content prediction in Liberica coffee green bean powder. However, spectral data pretreated with dg2 transformed by Absorbance (Log 1/R) showed poor accuracy because Absorbance (Log 1/R) data transformation method did not affect light scattering of small particles samples (coffee powder). Table 2 exhibited that the best calibration model can be found mostly in the spectral data with Kubelka-Munk data transformation because the method is based on absorption and reduced scattering effect in the spectra of small particles, such as in powder form. This result was in line with the study conducted by Purningsih (2018), which stated that spectral data transformed by Kubelka-Munk method combined with dg2 showed better accuracy than absorbance data (Log 1/R) in predicting caffeine content in green bean powder.

Table 3 showed that the results of calibration and validation using MLR method. MLR is a combination of the wavelength of the main chemical content and several wavelengths that accommodate the

effect of scatter and intercorrelation between chemical components. Furthermore, MLR method determines the wavelength that is dominant in predicting chemical content. According to Athfiah (2017), wavelength selection method can be used to improve model performance without spectra data processing. Therefore, the calibration process was done using reflectance spectral data and the original spectral data transformed by Kubelka-Munk method. The best result was obtained through the use of 10 selected wavelengths in Kubelka-Munk spectral data with r-value of 0.82, consistency of 108%, RPD of 2.10 and CV of 2.14%. This result is better than the previous study done by Budiastara, Sutrisno, Widyotomo, & Ayu (2018), which used 10 selected wavelength with r-value of 0.70, consistency of 90%, RPD of 1.21 and CV of 3.23% in predicting caffeine content in Java Preanger coffee bean. The use of coffee powder in predicting caffeine content showed good accuracy by MLR method. The remaining model could not be used to predict caffeine content accurately. The best mathematical model for caffeine content with the selected wavelength is shown in Equations 2.

Table 2. Result of calibration and validation for caffeine content by PLS (Partial Least Square)

Tabel 2. Hasil kalibrasi dan validasi kandungan kafein menggunakan PLS (Kuadrat Terkecil Parsial)

Data Transformation	Data Pretreatment	Factor	r	SEC (%)	SEV (%)	CV (%)	RPD	Consistency (%)
Absorbance	Original	10	0.89	0.0224	0.0276	1.84	2.15	81
	SNV	8	0.83	0.0266	0.0280	2.19	1.80	95
	Dg2	1/p6	0.65	0.3823	0.4291	3.37	1.32	87
Kubelka Munk	Original	10	0.85	0.0258	0.0314	2.13	1.92	82
	SNV	10	0.84	0.0294	0.0328	2.42	1.86	90
	Dg2	4/p4	0.90	0.0244	0.0305	2.01	2.24	80

Notes : r = coefficient of correlation; SEC = standard error of calibration; SEV = standard error of validation; CV = coefficient of variation; RPD = ratio of performance to deviation; SNV = standard normal variance; dg2 = second derivative of Savitzky-Golay

Keterangan : r = koefisien korelasi; SEC = galat baku kalibrasi; SEV = galat baku validasi; CV = koefisien keragaman; RPD = rasio kinerja terhadap simpangan; SNV = ragam normal baku; dg2 = turunan kedua dari Savitzky-Golay

Table 3. Result of calibration and validation for caffeine content by MLR (Multiple Linear Regression)

Tabel 3. Hasil kalibrasi dan validasi kandungan kafein menggunakan MLR (Regresi Linier Berganda)

Data Transformation	Wavelength number	r	SEC (%)	SEV (%)	CV (%)	RPD	Consistency (%)
Reflectance	10 WL	0.74	0.0335	0.0418	2.76	1.48	80
	5 WL	0.63	0.0388	0.0454	3.20	1.28	85
Kubelka Munk	10 WL	0.82	0.0260	0.0240	2.14	2.10	108
	5 WL	0.79	0.0280	0.0212	2.31	2.01	132

Notes : r = coefficient of correlation; SEC = standard error of calibration; SEV = standard error of validation; CV = coefficient of variation; RPD = ratio of performance to deviation

Keterangan : r = koefisien korelasi; SEC = galat baku kalibrasi; SEV = galat baku validasi; CV = koefisien keragaman; RPD = rasio kinerja terhadap simpangan

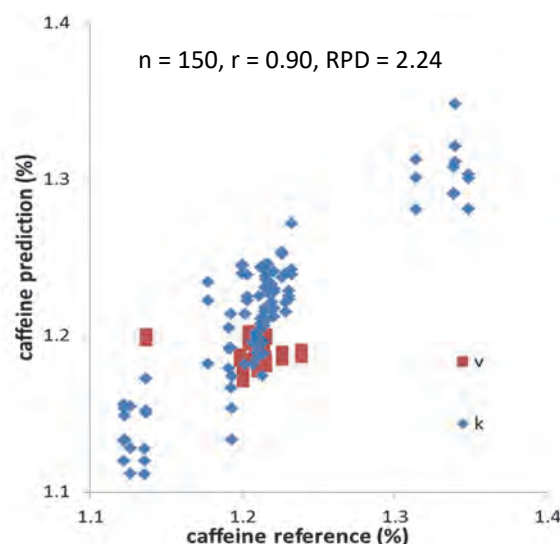


Figure 2. Plot of caffeine content referenced vs. predicted using PLS (Partial Least Square) method
Gambar 2. Plot kandungan kafein referensi vs. prediksi menggunakan metode PLS (Kuadrat Terkecil Parsial)

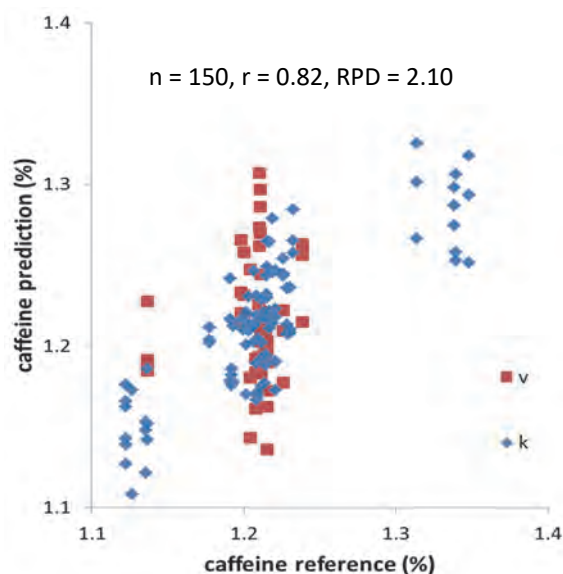


Figure 3. Plot of caffeine content referenced vs. predicted using MLR (Multiple Linear Regression) method
Gambar 3. Plot kandungan kafein referensi vs. prediksi menggunakan metode MLR (Regresi Linier Berganda)

$$Y = 0.38 + 74.19 K/S_{2293.58} - 56.67 K/S_{2242.15} + 137.67 K/S_{2236.14} - 161.01 K/S_{1929.01} + 208.13 K/S_{1926.04} - 551.37 K/S_{1847.75} + 274.66 K/S_{1842.3} - 617.71 K/S_{1786.99} + 202.85 K/S_{1784.44} + 897.636 K/S_{1663.34}$$

Where:

Y = Caffeine content

K/S_n = Kubelka-Munk from wavelength number 'n'

Figure 2 and 3 showed the scatter plot of reference and prediction values of caffeine content by using PLS and MLR method, respectively. These two figures showed a correlation and RPD between caffeine

content predicted using NIRS and caffeine reference using HPLC, indicated by r-value > 0.80 and RPD > 1.5. This result showed that the obtained calibration models using both PLS and MLR method could predict caffeine content in Liberica coffee green bean. However, the calibration model using PLS method showed better accuracy compared to MLR method because MLR method used only the spectral data without any data pretreatment, which reduces baseline shift and interference of the chemical components in coffee.

CONCLUSIONS

This study proved that NIR Spectroscopy determines the caffeine content of Liberica coffee. The best calibration model for the prediction of the caffeine content of Liberica coffee green bean powder was obtained by the spectral data pretreated with second derivative of Savitzky-Golay (dg2) and Kubelka-Munk data transformation using PLS calibration method. The result showed r-value of 0.90, RPD of 2.24, and CV of 2.01%. Kubelka-Munk (K/S) method is more reliable in data transformation of small particles as the coffee powder has a scattering effect. PLS is more recommended in predicting caffeine content in Liberica coffee green beans.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank the Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute, Sukabumi for the coffee processing, Center of Agro-based Industry (BBIA) for caffeine content analysis and TPPHP laboratory, Mechanical and Biosystem Engineering Department, IPB University.

AUTHORS CONTRIBUTION

1. Ei Mon Kyaw (Main contributor)
2. I.W. Budiastra (Member contributor)
3. Sutrisno (Member contributor)
4. Samsudin (Member contributor)
5. Dheni Mita Mala (Member contributor)

REFERENCES

- Athfiyah, S.N. (2017). *Penentuan kandungan kimia utama biji kopi Arabika Bondowoso secara nondestruktif dengan Near Infrared Spectroscopy*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Budiastra, I. W., Sutrisno, Widyotomo, S., & Ayu, P. (2018). Prediction of Caffeine Content in Java Preanger Coffee Beans by NIR Spectroscopy Using PLS and MLR Method, 147 (2018). <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/147/1/012004> 1234567890
- Buffo, R. A., & Cardelli-freire, C. (2018). Coffee flavour : An overview Coffee Flavour : an Overview, (February). <https://doi.org/10.1002/ffj.1325>
- Farah, A. (2012). Coffee: Emerging Health Effects and Disease Prevention (pp. 21–38). Blackwell Publishing Ltd.
- Hulupi, R., & Martini, E. (2013). *Budi Daya dan Pemeliharaan Tanaman Kopi di Kebun Campur*. Bogor, Indonesia.
- Kirana, C. A., & Utami, D. T. (2018). The Effect of Liberica Coffee on Liver Physiology and Histological Appearance of White Mice, (October), 152–159.
- Min, T. H. (2016). Phytochemicals and Antioxidative Properties of Coffea Liberica Green Beans and Comparison with that of Coffea Arabica and Coffea Robusta, (December)
- Old Courthouse, (2019). Liberica Coffee International Roasting Competition 2019, (April), Malaysia
- Purningsih, V., Budiastra, I. W., Sutrisno, & Widyotomo, S. (2018). *Akurasi metode NIRS dalam prediksi kandungan kimia green kopi Arabika Bondowoso dengan model Kubelka-Munk*. DOI: 10.19028/jtep.06.3.271-278, Vol. 6 No. 3, p 271-278
- Rai, K. A., Erashima, H. T., Izawa, S. A., Aga, A. T., Amamoto, A. Y., Sutsumiuchi, K. T., & Odama, S. K. (2015). Simultaneous Determination of Trigonelline, Caffeine, Chlorogenic Acid and Their Related Compounds in Instant Coffee Samples by HPLC Using an Acidic Mobile Phase Containing Octanesulfonate, 31(August), 831–835.
- Rosita, R. (2016). *Penentuan kandungan kimia biji kopi arabika Gayo secara non destruktif dengan Near Infrared Spectroscopy*. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Rosita R, Budiastra IW, Sutrisno. 2016. Prediction of Caffeine Content of Arabica Coffee Bean by Near Infrared Spectroscopy. JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian. Vol. 4 No. 2, p 179-186
- Shiferaw, M., & Alemayehu, I. (2018). Determination of Caffeine Content of Bale Coffee Using HPLC Analysis, 73, 23–32.
- Sianipar, H. (2017). *Keragaman genetik populasi kopi Liberika (Coffea liberica w. Bull ex. Hiern) di Kecamatan Betara berdasarkan karakter buah dan biji*. Universitas Jambi, Jambi.

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 7, Nomor 3, November 2020

**EFEKTIVITAS NANOEMULSI MINYAK SERAI WANGI TERHADAP
Phytophthora palmivora Butl. PATOGEN BUSUK BUAH KAKAO**

**EFFECTIVENESS OF CITRONELLA OIL NANOEMULSION ON
Phytophthora palmivora Butl. BLACK POD PATHOGEN**

* Rita Harni¹⁾, Khaerati¹⁾, Rita Noveriza²⁾, Sri Yuliani³⁾

¹⁾ **Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar**

Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

²⁾ **Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat**

Jalan Tentara Pelajar No. 3, Cimanggu, Bogor 16111 Indonesia

³⁾ **Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian**

Jalan Tentara Pelajar No. 12, Cimanggu, Bogor 16111 Indonesia

* rita_harni@yahoo.co.id

(Tanggal diterima: 25 Mei 2020, direvisi: 17 Juli 2020, disetujui terbit: 20 September 2020)

ABSTRAK

Penyakit busuk buah yang disebabkan oleh *Phytophthora palmivora* merupakan penyakit utama pada tanaman kakao di seluruh dunia. Pengendalian *P. palmivora* dapat menggunakan minyak serai wangi karena mengandung bahan aktif sitronella dan geraniol yang bersifat fungisidal. Bahan aktif dari minyak serai wangi mudah menguap sehingga dapat menurunkan keefektifannya. Stabilitas minyak serai wangi dapat ditingkatkan dengan menggunakan teknologi nano. Tujuan penelitian adalah menganalisis efektivitas formula nanoemulsi minyak serai wangi terhadap *Phytophthora palmivora* patogen busuk buah kakao. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Nanoteknologi Balai Besar Pascapanen, Bogor dan Laboratorium Proteksi Tanaman Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Sukabumi, mulai bulan Januari sampai Desember 2015. Formula nanoemulsi minyak serai wangi dibuat secara difusi spontan dan inversi dengan menambahkan pengemulsi Tween 80. Penelitian menggunakan rancangan acak lengkap dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan. Perlakuannya adalah formula nanoemulsi minyak serai wangi (F1, F2, F3, F4, F5) dan kontrol. Konsentrasi formula yang diuji adalah 0,50% pada percobaan *in vitro* dan 1,00% pada buah kakao. Peubah yang diamati adalah daya hambat formula, *bioassay*, konsentrasi, dan daya hambat pada buah kakao. Hasil penelitian menunjukkan bahwa formula nanoemulsi minyak serai wangi dapat menghambat pertumbuhan *P. palmivora* dengan daya hambat 23,11%–77,78% dibandingkan dengan kontrol. Formula terbaik adalah F5 dengan daya hambat 77,78% *in vitro* dan 31,60% pada buah kakao. Aktivitas nanoemulsi minyak serai wangi memengaruhi laju pertumbuhan jamur, bobot segar dan kering jamur. Untuk aplikasinya pada buah kakao perlu menaikkan konsentrasi agar keefektifannya lebih meningkat.

Kata kunci: Anti jamur; formula; geraniol; nanoteknologi; sitronella

ABSTRACT

Black pod disease caused by *Phytophthora palmivora* is a significant disease on cocoa crops worldwide. Citronella and geraniol are two dominant substances of citronella oil that have fungicidal activity, which is potentially used to control black pod disease. However, those two substances are relatively unstable form volatile. To improve stability can be done using nanotechnology. The study aimed to analyze the effectiveness of citronella-oil-nanoemulsions formulas on the growth of *P. palmivora* in vitro and on cocoa pods. Eight nano formulas were prepared at the Postharvest Center in Bogor; however, the effectiveness was conducted at the Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute in Sukabumi. The nano formula was prepared following spontaneous, simultaneous, and inversion methods. The experiments were designed in a completely randomized design, with five replications. Eight treatments were evaluated, i.e., the inversion formulas (F1, F2, F5 & F7), spontaneous (F3, F6 & F8), and simultaneous (F4). Two concentration levels of the formula were tested, i.e., 0.5% for in vitro and 1.0% in cacao pods. The variables observed were the inhibition rate of formula, bioassay, concentration, and inhibition rate on cacao pods. The nanoemulsion formulas of citronella oil could inhibit 23.13%–77.78% of the growth of *P. palmivora*. Formula F5 was the best, which inhibited 77.78% growth in vitro and 31.60% in cacao pods. The nanoemulsions of citronella oil affected the growth rate, fresh weight, and dry weight of *P. palmivora*. For better effectiveness of the formula on cocoa pods, the concentration should be increased.

Keywords: Antifungal; citronella; formula; geraniol; nanotechnology

PENDAHULUAN

Salah satu kendala dalam budidaya tanaman kakao adalah serangan *Phytophthora palmivora*. Patogen ini penyebab penyakit busuk buah, kanker batang, dan hawar bibit pada tanaman kakao. Di Indonesia kerugian akibat penyakit ini cukup tinggi terutama pada saat musim hujan. Serangan *P. palmivora* dapat menurunkan hasil 20%–40% dan kerugian akan meningkat terutama di daerah dengan curah hujan dan kelembaban yang tinggi (Harni, Amaria, & Supriadi, 2013; Harni, Taufiq, & Amaria, 2014).

Serai wangi merupakan tanaman atsiri yang mengandung bahan aktif sitronella, geraniol, dan sitronelol yang bersifat fungisida terhadap jamur patogen (Nakahara *et al.*, 2003). Penggunaan minyak serai wangi untuk mengendalikan *P. palmivora* telah dilaporkan oleh Nurmansyah (2010), Harni *et al.* (2013) dan Harni *et al.* (2014). Nurmansyah (2010) menggunakan minyak serai wangi dan fraksi sitronella untuk mengendalikan *P. palmivora*. Minyak serai wangi pada konsentrasi 750 ppm mampu menghambat pertumbuhan diameter koloni *P. palmivora* 75,95% dan biomassa koloni 82,61%. Sedangkan fraksi sitronella pada konsentrasi yang sama mampu menghambat pertumbuhan diameter dan biomassa koloni, masing-masing 78,88% dan 88,41%. Selanjutnya Harni *et al.* (2013) menggunakan minyak serai wangi yang telah diformulasi dengan menambahkan senyawa penginduksi ketahanan tanaman seperti asam salisilat dan silicon. Hasil penelitian minyak serai wangi dapat menghambat *P. palmivora* 65%–100% di laboratorium, 66,25% pada bibit kakao di rumah kaca, dan menekan intensitas penyakit busuk buah kakao di lapangan 20,48%–65,62% (Harni *et al.*, 2014).

Kelemahan dari fungisida nabati minyak serai wangi adalah mudah menguap dan tidak stabil sehingga keefektifannya menurun. Salah satu teknologi untuk meningkatkan stabilitas senyawa aktif dan melindunginya dari pengaruh lingkungan adalah dengan teknologi nanoemulsi. Nanoemulsi adalah sistem emulsi yang tembus cahaya dengan ukuran partikel 50–500 nm dan merupakan dispersi minyak air yang distabilkan oleh lapisan film dari surfaktan atau molekul surfaktan (Mason, Wilking, Meleson, Chang, & Graves, 2006; Shakeel *et al.*, 2008). Ukuran partikel nanoemulsi yang kecil dapat meningkatkan mekanisme absorpsi seluler pasif yang dapat mengurangi resistensi transfer massa dan meningkatkan aktivitas antimikroba. Peningkatan aktivitas antimikroba tergantung pada formulasi dan ukuran sistem penghantar serta jenis mikroba (Agustinisari, Purwani, Harimurti, & Yuliani, 2014). Keberhasilan teknologi nanofungisida lebih tinggi dengan penggunaan dosis yang rendah, karena nanopartikel lebih reaktif dan bioaktif, sehingga dapat mengurangi cukup banyak penggunaan bahan baku fungisida, risiko beracun bagi tanaman (fitotoksik), dan residu pada tanaman (Kumar, Natarajan, & Nakkeeran, 2016).

Penggunaan nanoemulsi dari minyak tanaman sebagai pengendali patogen telah dilaporkan oleh beberapa peneliti. Agustinisari *et al.* (2014) telah menggunakan formula nanoemulsi 15% minyak biji pala ditambah 20% surfaktan memberikan efek penghambatan terbaik pada *Escherichia coli*, *Saccharomyces cereviceae*, dan *Staphylococcus aureus*. Selanjutnya Sharma *et al.* (2018) menggunakan nanoemulsi minyak cengkeh dan serai wangi terhadap *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*, dan hasil penelitiannya dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* sampai 70,60%. Gaber & Edris (2019) menguji nanoemulsi

serai wangi terhadap beberapa patogen seperti *Pestalotia longisetula*, *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, dan *Alternaria raphani*. Selanjutnya Noveriza, Mariana, & Yuliani (2017) melaporkan bahwa penggunaan formula nanoemulsi serai wangi terhadap *Potyvirus* patogen penyakit mosaik pada nilam dengan dosis 1%–1,5% dapat menekan persentase serangan *Potyvirus* hingga 82,5%. Penelitian ini bertujuan mengetahui efektivitas nanoemulsi minyak serai wangi terhadap *Phytophthora palmivora* patogen busuk buah kakao.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Nanoteknologi Balai Besar Pascapanen, Bogor dan Laboratorium Proteksi Tanaman Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Sukabumi, mulai bulan Januari sampai Desember 2015.

Pembuatan Nanoemulsi Minyak Serai Wangi

Pembuatan nanoemulsi dilakukan melalui proses nanoemulsifikasi menggunakan energi rendah dengan mekanisme difusi spontan dan inversi (Yuliani & Noveriza, 2016). Nanoemulsi dibentuk dengan penambahan emulsifier yang mengandung Tween 80 (Tabel 1). Nanoemulsi yang diperoleh disimpan dalam botol gelas untuk digunakan lebih lanjut. Pembuatan nanoemulsi minyak serai wangi dilakukan di Laboratorium Nanoteknologi Balai Besar Pascapanen, Bogor.

Isolasi *Phytophthora palmivora*

P. palmivora diisolasi dari buah kakao yang sakit dengan cara menumbuhkannya pada media *water agar* (WA) 2%. Caranya, permukaan buah kakao yang sakit disterilisasi permukaannya menggunakan alkohol 70%, kemudian bagian luar dari kulit buah kakao dibuang dengan menggunakan pisau steril. Pada perbatasan antara jaringan yang sakit dan yang sehat diambil 0,5 cm daging buah kakao kemudian ditanam ke dalam media WA dan diinkubasi selama 3 hari. Setelah 3 hari akan

tumbuh jamur di sekitar jaringan, lalu dilihat di bawah mikroskop. Apabila di bawah mikroskop terlihat sporangia dari *P. Palmivora* maka pada agar ditandai menggunakan tinta, kemudian dipindahkan ke media potato dektrosa agar (PDA = 200 g kentang, 20 g dekstrosa, 20 g agar), diinkubasi pada suhu kamar (Harni *et al.*, 2013). Setelah tumbuh, dimurnikan dan dibiakkan pada PDA sampai diperoleh biakan murni.

Uji Daya Hambat Formula Nanoemulsi Serai Wangi

Pengujian daya hambat nanoemulsi minyak serai wangi dilakukan dengan metode peracunan media. Sebelum pengujian formula nanoemulsi, terlebih dahulu disediakan media PDA yang telah disterilisasi menggunakan *autoclave*. Media PDA (10 ml) dituang ke dalam cawan petri, selanjutnya ditambahkan dengan 1 ml formula nanoemulsi minyak serai wangi (konsentrasi 0,50% v/v) dan diaduk sampai tercampur rata. Selanjutnya, media yang telah mengandung nanoemulsi minyak serai wangi dibiarkan sampai mengeras. Setelah agar mengeras, dilakukan inokulasi jamur dengan cara meletakkan *fungus mat* (yang telah dipotong dengan *corkbore* steril ukuran diameter 5 mm) di tengah-tengah medium yang telah diperlakukan, kemudian diinkubasikan pada suhu 28°C selama 7 hari. Pada kontrol, media PDA tidak diperlakukan dengan formula nanoemulsi. Percobaan disusun menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan. Pengamatan dilakukan setiap hari terhadap diameter pertumbuhan isolat *P. palmivora* sampai diameter pertumbuhan jamur pada perlakuan kontrol telah memenuhi permukaan cawan petri (7 hari). Daya hambat formula yang diuji terhadap *P. palmivora* dihitung dengan rumus:

$$\text{Daya hambat} = \frac{K - P}{K} \times 100\%$$

K= diameter koloni jamur pada perlakuan kontrol

P= diameter koloni jamur pada perlakuan yang diuji

Tabel 1. Formula nanoemulsi minyak serai wangi yang diuji
Table 1. The tested formulas of citronella oil nanoemulsion

Kode formula	Metode formulasi	Sitronella (%)	Geraniol (%)
F1	Inversi S8 T80 2	1,33	8,67
F2	Inversi T80 2.5B	1,24	8,82
F3	Spontan T80 2.5B	1,27	8,71
F4	Simultan 50% emulsifier	1,29	8,73
F5	Inversi 50% emulsifier	1,30	8,70
F6	Spontan S5T3B42	1,22	8,66
F7	Inversi S5T3B42	1,27	8,75
F8	Spontan S5T3.5B41.5	1,24	8,73

Keterangan : Formula F6, F7, dan F8 pada proses pembuatan terkontaminasi bakteri

Notes : Formula F6, F7, and F8 in the manufacturing process are contaminated with bacteria

Uji Penekanan Biomassa Koloni

Uji penekanan biomassa koloni (*bioassay*) dilakukan menggunakan medium cair *potato dekstroza broth* (PDB). Medium PDB (100 ml) dimasukkan ke dalam erlenmeyer, kemudian disterilkan dalam *autoclave*. Setelah steril, medium didinginkan dan dimasukkan formula nanoemulsi minyak serai wangi sesuai perlakuan dengan konsentrasi 0,50%. Selanjutnya *P. palmivora* yang telah dipotong dengan *corkborer* steril diameter 5 mm diinokulasikan ke dalam medium. Biakan diinkubasikan pada suhu 25°C sambil digoyang selama 7 hari dengan kecepatan 150 rpm. Setelah 7 hari koloni jamur yang tumbuh diambil dan ditimbang bobot segarnya, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam, selanjutnya ditimbang bobot keringnya (Harni *et al.*, 2013).

Uji Konsentrasi Formula Nanoemulsi Minyak Serai Wangi terhadap *P. palmivora*

Formula nanoemulsi minyak serai wangi terbaik dari hasil percobaan uji daya hambat dan penekanan biomassa selanjutnya dicari konsentrasi yang optimum untuk mengendalikan patogen *P. palmivora*. Konsentrasi yang diuji adalah 0,20%, 0,40%, 0,60%, 0,80%, 1,00%, dan kontrol. Metode percobaan sama dengan percobaan *in vitro* menggunakan metode peracunan medium. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan *P. palmivora* dan daya hambat formula terhadap pertumbuhan jamur.

Uji Nanoemulsi Minyak Serai Wangi terhadap *P. palmivora* pada Buah Kakao

Buah kakao yang digunakan adalah buah yang sehat berukuran ± 15 cm. Permukaan buah kakao disterilisasi permukaan menggunakan alkohol 70% dan air steril. Selanjutnya buah dikering-anginkan, setelah kering buah disemprot dengan formula nanoemulsi minyak serai wangi (Tabel 1). Konsentrasi formula yang digunakan adalah 1% (hasil uji *in vitro*). Sebagai perlakuan kontrol adalah buah kakao yang hanya disemprot dengan air steril. Perlakuan dirancang menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 5 ulangan, masing-masing perlakuan digunakan 3 buah kakao. Selanjutnya permukaan buah kakao diinokulasi dengan meletakkan potongan agar berisi kultur isolat *P. palmivora* (diameter ± 5 mm). Buah kakao yang telah diinokulasi kemudian diinkubasikan di dalam kotak plastik berukuran 30 cm x 15 cm x 10 cm yang permukaan dalamnya telah dilapisi dengan tisu basah dalam keadaan tertutup dan disimpan pada suhu kamar. Perkembangan gejala penyakit diamati setiap hari dengan mengukur diameter bercak dari infeksi *P. palmivora* pada permukaan buah kakao.

Analisis Data

Untuk menguji pengaruh perlakuan terhadap peubah yang diamati, maka dilakukan analisis ragam. Apabila terdapat perbedaan dilanjutkan dengan uji *Tukey* pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Hambat Formula Nanoemulsi Serai Wangi

Hasil pengujian daya hambat formula nanoemulsi minyak serai wangi (0,50%) terhadap pertumbuhan *P. palmivora* menunjukkan bahwa semua perlakuan formula dapat menghambat pertumbuhan *P. palmivora* dengan daya hambat yang bervariasi (23,11%–77,78%) dibanding kontrol. Formula F4 dan F5 memberikan pengaruh daya hambat yang tinggi, yaitu 70,00% dan 77,78% dengan diameter koloni jamur 2,72 cm dan 2,00 cm (Tabel 2). Sedangkan pada perlakuan kontrol, jamur sudah tumbuh memenuhi cawan petri (9,00 cm) pada hari ke-7. Pada formula F1, F2, dan F3 diameter koloni jamur 6,20–6,92 cm dengan daya hambat 23,11%–31,11%.

Tabel 2. Pengaruh formula nanoemulsi minyak serai wangi pada konsentrasi 0,50% terhadap diameter koloni dan daya hambat *P. palmivora*

Table 2. The effect of 0.50% citronella oil nanoemulsion formula on the colony diameter and inhibition rate of *P. palmivora*

Formula	Rata-rata diameter koloni (cm) pada hari ke-7 SP	Daya hambat (%)
F1	6,50 b	27,77
F2	6,20 b	31,11
F3	6,92 b	23,11
F4	2,70 c	70,00
F5	2,00 c	77,78
Kontrol	9,00 a	-

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji *Tukey* taraf 5%. SP = setelah perlakuan

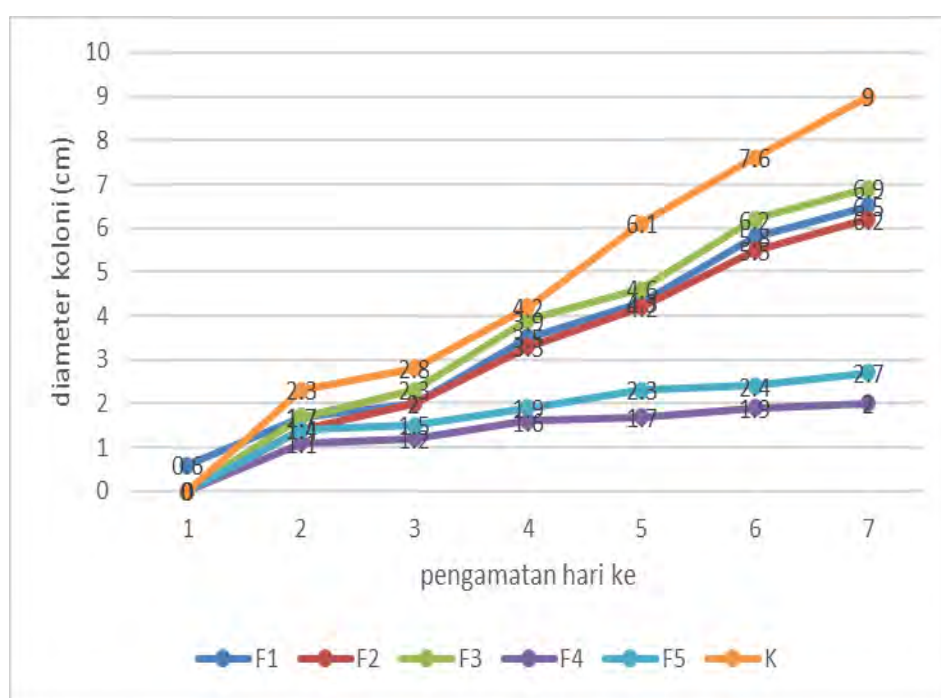
Notes : The numbers followed by the same letter are not significantly different according to *Tukey* test at 5% level. SP = after application

Hasil pengamatan pengaruh formula nanoemulsi terhadap laju pertumbuhan jamur *P. palmivora* menunjukkan bahwa formula nanoemulsi dapat menekan laju pertumbuhan jamur *P. palmivora* dibandingkan dengan kontrol (Gambar 1). Pertumbuhan *P. palmivora* mulai terlihat hari pertama

pada formula F1 dengan diameter 0,60 cm dan terus berkembang mencapai 6,50 cm pada hari ke-7. Sedangkan pada formula F2 dan F3 baru terlihat hari ke-2 dengan diameter masing-masing 1,40 cm dan 1,72 cm, dan mencapai 6,20 cm dan 6,92 cm pada hari ke-7. Pada formula F4 dan F5 jamur *P. palmivora* juga muncul hari ke-2 dengan diameter masing-masing 1,12 cm dan 1,40 cm, dan mencapai 2,70 cm dan 2,00 cm pada hari ke-7. Di antara ke-5 formula yang diuji, laju pertumbuhan jamur tertinggi pada formula F3 yaitu 80,08%, diikuti oleh F1 dan F2 masing-masing 76,15% dan 70,45%. Sedangkan laju pertumbuhan terendah pada F4 dan F5 masing-masing 38,07% dan 29,76%.

Tingginya daya hambat formula F4 dan F5 disebabkan formula tersebut lebih stabil dibanding dengan formula F1, F2, dan F3 karena ukuran partikel, indeks polidispersitas (PDI) dan nilai zeta potential lebih baik sehingga keefektifannya lebih tinggi. Yuliani & Noveriza (2016) melaporkan bahwa ukuran partikel minyak serai wangi F4 dan F5 lebih kecil, yaitu 156,3 nm dan 141,2 nm, bila dibanding dengan formula F1,

F2, dan F3 yang ukuran partikelnya masing-masing 661,3 nm, 652,7 nm, dan 1554,7 nm. Nilai PDI F4 dan F5 adalah 0,256 dan 0,203 jauh lebih kecil dari F1, F2, dan F3 yaitu 0,626; 0,654; 0,738. Selanjutnya Yuliani & Noveriza (2016) menambahkan bahwa kestabilan nanoemulsi juga dapat dilihat dari nilai zeta potential. Nilai zeta potential menunjukkan kuatnya gaya tolak-menolak antar partikel di dalam emulsi (baik negatif maupun positif) untuk menjaga agar partikel tidak saling bergabung membentuk agregat yang dapat menyebabkan pemisahan fase (destabilisasi). Nilai zeta potensial untuk formula F4 dan F5 adalah -30,4 mV dan -17,9 mV. Sejalan dengan itu, Ahmed, Li, McClements, & Xiao (2012) menyatakan bahwa suatu formula nanoemulsi dinilai stabil apabila ukuran diameter partikelnya relatif kecil ($<0,2$ nm) dan nilai PDI 0,2 hingga 0,6 ($0,2 < \text{PDI} < 0,6$). PDI memberikan informasi mengenai kestabilan emulsi, dan kecilnya nilai PDI menunjukkan distribusi ukuran partikel relatif seragam.



Gambar 1. Pengaruh formula nanoemulsi serai wangi pada konsentrasi 0,50% terhadap diameter koloni *P. palmivora* mulai hari ke-1 sampai ke-7 setelah aplikasi

Figure 1. Effect of 0.50% citronella oil nanoemulsion formula on the colony diameter of *P. palmivora* starting from first day until 7th day after application

Tabel 3. Pengaruh formula nanoemulsi serai wangi pada konsentrasi 0,50% terhadap bobot segar dan kering koloni *P. palmivora*
Table 3. Effect of 0.50% citronella oil nanoemulsion formula on the fresh and dry weight of *P. palmivora* colony

Formula	Bobot segar koloni (g)	Pengurangan bobot segar (%)	Bobot kering koloni (g)	Pengurangan bobot kering (%)
F1	2,16b	59,00	0,83 b	34,89
F2	2,08 b	60,50	0,84 b	34,27
F3	1,76 bc	66,58	0,64 bc	49,72
F4	1,58 bc	70,02	0,52 c	59,40
F5	1,35 c	74,38	0,50 c	60,65
Kontrol	5,26 a	-	1,28 a	-

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey taraf 5%

Notes : The numbers followed by the same letter at the same column are not significantly different according to Tukey test at 5% level

Tabel 4. Pengaruh konsentrasi nanoemulsi minyak serai wangi F5 terhadap diameter koloni dan daya hambat *P. palmivora* pada 7 hari setelah perlakuan

Table 4. Effect of nanoemulsion concentration of citronella oil on the colony diameter and inhibition rate of *P. palmivora* at 7th days after treatment

Konsentrasi formula F5 (%)	Diameter koloni (cm)	Daya hambat (%)
0,20	8,60 a	4,44
0,40	6,80 b	24,44
0,60	2,40 b	73,33
0,80	0,50 c	94,44
1,00	0,00 c	100,00
Kontrol	9,00 a	-

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji Tukey taraf 5%

Notes : The numbers followed by the same letter are not significantly different according to Tukey test at 5% level

Penekanan Biomassa Koloni

Hasil pengamatan terhadap biomassa koloni *P. palmivora* memperlihatkan bahwa semua formula yang diuji dapat menghambat pertumbuhan bobot segar dan bobot kering *P. palmivora* dibanding kontrol (Tabel 3). Pengurangan bobot segar koloni jamur tertinggi pada perlakuan formula F5 yaitu 74,38% dan bobot kering 60,65% tidak terlalu jauh berbeda dengan formula F4 yaitu 70,02% dan 59,40%. Akan tetapi sangat jauh berbeda dengan perlakuan formula F1, F2, dan F3, masing-masing pengurangan bobot segarnya adalah 59,00%; 60,65%; dan 66,58%. Demikian juga dengan bobot kering koloni jamur, formula F1, F2, dan F3 berturut-turut adalah 34,89%; 34,27%; dan 49,72%. Hal ini menunjukkan bahwa minyak serai wangi merupakan senyawa yang bersifat antifungal yang dapat menghambat pertumbuhan jamur. Komponen kimia dalam minyak serai wangi sangat kompleks, namun komponen yang terpenting dan bersifat fungisida adalah *sitronellal* dan *geraniol* (Sulaswatty, Rusli, Abimanyu, & Silvester, 2019). Kedua komponen tersebut termasuk kelompok monoterpenoid. Menurut Knobloch, Kunz, & Greveling (2006), *sitronellal* merupakan senyawa kelompok terpenoid golongan monoterpen yang mampu menekan pertumbuhan jamur patogen.

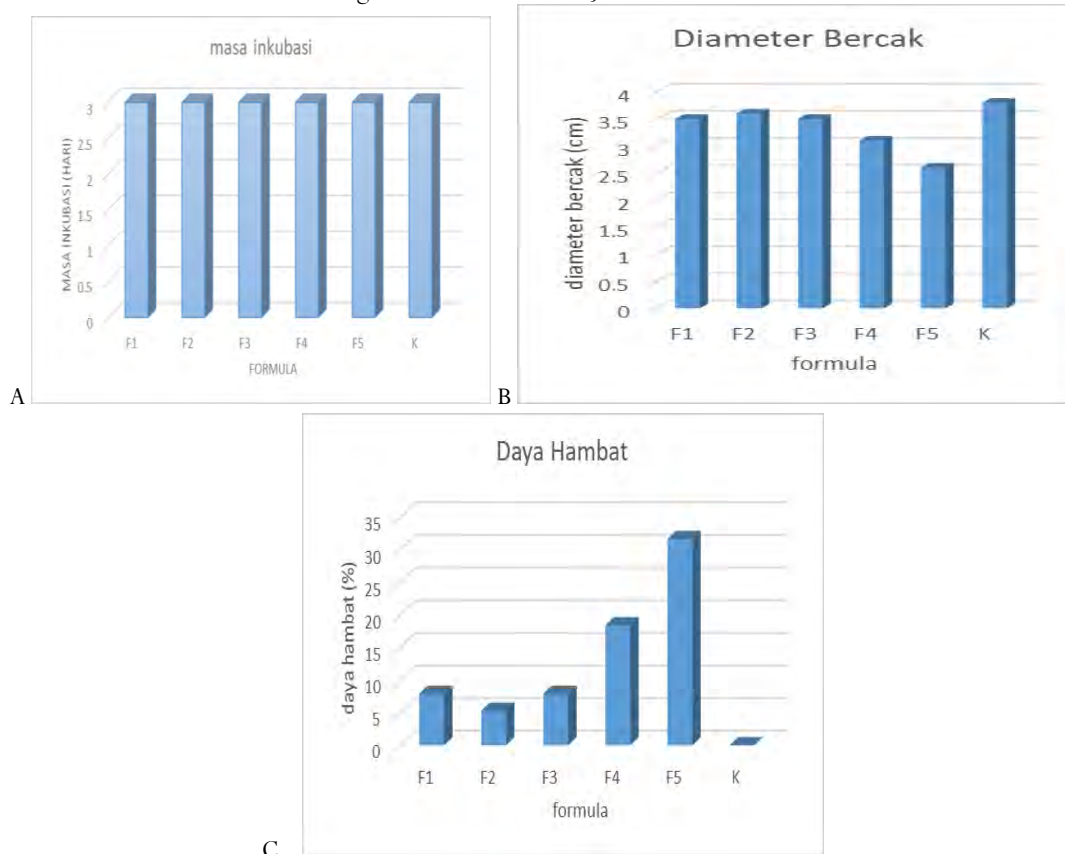
Senyawa-senyawa ini dapat menghambat proses metabolisme jamur sehingga mengganggu pertumbuhannya. Bahan aktif minyak serai wangi yang bersifat antifungal mampu menembus dinding sel jamur dan akan mengganggu proses metabolisme di dalam sel sehingga mengakibatkan kematian sel.

Pengaruh Konsentrasi Formula F5 terhadap Pertumbuhan *P. palmivora*

Hasil pengamatan pengaruh konsentrasi formula F5 terhadap pertumbuhan *P. palmivora* menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka semakin tinggi daya hambatnya terhadap pertumbuhan jamur *P. palmivora*. Nanoemulsi minyak serai wangi pada konsentrasi 0,20% tidak berpengaruh nyata terhadap daya hambat pertumbuhan jamur, dan baru terlihat pengaruhnya pada konsentrasi 0,40% dengan daya hambat 24,44% dan terus meningkat pada konsentrasi 0,60% mencapai 73,33%. Pada konsentrasi 0,80% daya hambat dari nanoemulsi minyak serai wangi telah mencapai 94,44%, dan baru pada konsentrasi 1,00% jamur tidak tumbuh (daya hambat 100%) (Tabel 4). Pada konsentrasi 0,80% formula hanya mampu menghambat pertumbuhan *P. palmivora* (bersifat fungistatik) sedangkan pada

konsentrasi 1% formula sudah bersifat fungisida karena

jamur sudah tidak tumbuh.



Gambar 3. Pengaruh formula nanoemulsi serai wangi terhadap masa inkubasi (A), diameter bercak (B), dan daya hambat (C) *P. palmivora* pada buah kakao

Figure 3. Effect citronella nanoemulsion formula on the incubation period (A), diameter size of the colony (B), and the inhibition rate (C) of *P. palmivora* on cocoa pods

Hasil penelitian ini hampir sama dengan yang dilaporkan oleh Agustinisari *et al.* (2014) yang menggunakan nanoemulsi minyak biji pala terhadap mikroba *Staphylococcus aureus*, *S. cereviceae*, dan *E. coli*. Daya hambat dari nanoemulsi biji pala meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang digunakan. Aktivitas antimikroba nanoemulsi berkaitan erat dengan bahan aktif yang terdapat di dalamnya. Menurut Guenther (2006) dan Wei & Wee (2013), komponen utama penyusun minyak serai wangi adalah sitronelal ($C_{10}H_{16}O$) atau rhodinal atau 3,7-dimethyloct-6-en-1-al ($C_{10}H_{18}O$), geraniol ($C_{10}H_{18}O$), dan sitronellol ($C_{10}H_{20}O$) atau *dihydrogeraniol*, masing-masing merupakan kelompok monoterpenoid, monoterpenoid dan alkohol, serta monoterpenoid asiklik. Sitronellal, geraniol, dan sitronellol dibentuk oleh unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan formula unsur C₁₀, H₁₆,₁₈,₂₀ dan O merupakan senyawa terpenoid golongan monoterpen (C₁₀) yang sifat antifungi (Nakahara, Alzoreky, Yoshihashi, Nguyen, & Trakoontivakorn, 2003; Aoudou, Leopold, Michel, Xavier, & Moses, 2010). Senyawa tersebut dapat

menekan pertumbuhan patogen tanaman dengan cara merusak struktur dinding sel atau menghambat permeabilitas dinding sel sehingga mengganggu transportasi ion-ion organik penting, yang dapat mengakibatkan terganggunya metabolisme atau matinya sel (Koul, Walia, & Dhaliwal, 2008; Ruiz, Liu, Xu, & Carlson, 2012).

Daya Hambat Nanoemulsi Serai Wangi terhadap *P. palmivora* pada Buah Kakao

Hasil pengamatan pengaruh formula nanoemulsi serai wangi pada konsentrasi 1% terhadap pertumbuhan *P. palmivora* pada buah kakao menunjukkan bahwa semua formula yang diuji dapat menekan diameter bercak *P. palmivora* pada buah kakao dibandingkan dengan kontrol (Gambar 3B) tetapi tidak berpengaruh terhadap masa inkubasi penyakit (Gambar 3A). Masa inkubasi penyakit pada perlakuan formula nanoemulsi serai wangi adalah 3,02 hari tidak berbeda dengan perlakuan kontrol 3,00 hari. Hal ini terjadi karena pada saat inokulasi dilakukan pelukaan pada buah kakao dengan menusukkan jarum 1 kali ke permukaan

kulit buah, sehingga jamur dapat langsung menginfeksi buah. Gejala serangan *P. palmivora* pada buah kakao adalah bercak berwarna cokelat kehitaman, lalu berkembang membentuk bercak yang lebih besar sampai menutupi semua permukaan buah sehingga buah berwarna hitam dan membusuk. Pada permukaan buah kadang-kadang ditemui miselium jamur berwarna putih.

Pengaruh formula nanoemulsi minyak serai wangi sangat nyata memengaruhi kecepatan pertumbuhan diameter bercak *P. palmivora*, terutama formula F5. Diameter bercak pada formula F5 yaitu 2,60 cm, berbeda nyata dengan F4 yaitu 3,10 cm. Sedangkan formula yang lain (F1, F2, dan F3) dengan rata-rata diameter bercak 3,50–3,60 cm tidak berpengaruh nyata dibanding kontrol yaitu 3,80 cm (Gambar 3C). Pengaruh formula nanoemulsi minyak serai wangi juga dapat dilihat pada daya hambat formula terhadap perkembangan penyakit busuk buah. Daya hambat tertinggi pada perlakuan formula F5 yaitu 31,60%, jauh lebih baik dari formula yang lain (F1, F2, F3, dan F4). Dari data ini terlihat bahwa nanoemulsi minyak serai wangi dapat menghambat perkembangan penyakit busuk buah, tetapi daya hambatnya masih terlalu rendah sehingga perlu meningkatkan konsentrasi formula yang diuji. Hasil penelitian Harni *et al.* (2013), minyak serai wangi yang diformulasi dengan asam salisilat dan silikon dapat menghambat pertumbuhan jamur *P. palmivora* pada buah kakao. Selanjutnya Nugraheni, A. S., Djauhari, S., Cholil, A., & Utomo, E. P. (2014) melaporkan bahwa penggunaan minyak serai wangi dapat menghambat pertumbuhan jamur *C. gloeosporioides* pada buah apel sebesar 90,22% *in vitro* dengan masa inkubasi 6,08 hari.

KESIMPULAN

Formula nanoemulsi minyak serai wangi pada konsentrasi 0,50% dapat menghambat pertumbuhan *P. palmivora* patogen penyebab busuk buah kakao sebesar 23,11%–77,78% dibanding kontrol. Formula nanoemulsi minyak serai wangi terbaik adalah F5 dengan daya hambat 77,78% *in vitro* dan 31,6% pada buah kakao. Aktivitas nanoemulsi minyak serai wangi memengaruhi laju pertumbuhan jamur, bobot segar dan kering jamur. Pengujian pada buah kakao perlu menaikkan konsentrasi supaya keefektifannya lebih meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian, yang telah memberikan dana

penelitian melalui Proyek SMARTD. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Sumantri yang telah membantu kegiatan penelitian di laboratorium.

KONTRIBUSI PENULIS

1. Rita Harni (Kontributor Utama)
2. Khaerati (Kontributor Anggota)
3. Rita Noveriza (Kontributor Anggota)
4. Sri Yuliani (Kontributor Anggota)

REFERENCES

- Agustinisari, I., Purwani, E. Y., Harimurti, N., & Yuliani, S. (2014). Aktivitas antimikroba nanoemulsi minyak biji pala. *J. Pascapanen*, 11(1), 1–8.
- Ahmed, K., Li, Y., McClements, D. J., & Xiao, H. (2012). Nanoemulsion- and emulsion-based delivery systems for curcumin: Encapsulation and release properties. *Food Chemistry*, 132(2), 799–807. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.039>
- Aoudou, Y., Leopold, T. N., Michel, J. D. P., Xavier, E. F., & Moses, M. C. (2010). Antifungal properties of essential oils and some constituents to reduce foodborne pathogen. *Journal of Yeast and Fungal Research*, 1(1), 1–8.
- Gaber, T., & Edris, A. (2019). Formulation and evaluation of solvent-free microemulsions of lemongrass oil and citral as natural antifungal agent against some phytopathogenic fungi. *Plant Archives*, 19(February), 2097–2107.
- Harni, R., Amaria, W., & Supriadi. (2013). Keefektifan beberapa formula fungisida nabati eugenol dan sitronella terhadap *Phytophthora palmivora* Bult. asal kakao. *Buletin RISTRI*, 4(1), 11–18. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v4n1.2013.p11-18>
- Harni, R., Taufiq, E., & Amaria, W. (2014). Pengaruh formula fungisida nabati minyak cengkeh dan serai wangi terhadap penyakit busuk buah kakao. *J. Tidp*, 1(1), 41–48.
- Knobloch, J., Kunz, W., & Grevelding, C. G. (2006). Herbimycin a suppresses mitotic activity and egg production of female *Schistosoma mansoni*. *International Journal for Parasitology*, 36(12), 1261–1272. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2006.06.004>
- Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopestic Int*, 4(1), 63–84.

- Kumar, G. D., Natarajan, N., & Nakkeeran, S. (2016). Antifungal activity of nanofungicide trifloxystrobin 25% + tebuconazole 50% against *Macrophomina phaseolina*. *African Journal of Microbiology Research*, 10(4), 100–105. <https://doi.org/10.5897/ajmr2015.7692>
- Mason, T. G., Wilking, J. N., Meleson, K., Chang, C. B., & Graves, S. M. (2006). Nanoemulsions: Formation, structure, and physical properties. *Journal of Physics Condensed Matter*, 18(41), 635–666. <https://doi.org/10.1088/0953-8984/18/41/R01>
- Nakahara, K., Alzoreky, N. S., Yoshihashi, T., Nguyen, H. T. T., & Trakoontivakorn, G. (2003). Chemical composition and antifungal activity of essential oil from *Cymbopogon nardus* (citronella grass). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 37(4), 249–252. <https://doi.org/10.6090/jarq.37.249>
- Noveriza, R., Mariana, M., & Yuliani, S. (2017). Keefektifan formula nanoemulsi minyak serai wangi terhadap potyvirus penyebab penyakit mosaik pada tanaman nilam. *Bul. Littro*, 28(1), 47–56. <https://doi.org/10.21082/bullittro.v28n1.2017.47-56>
- Nugraheni, A. S., Djauhari, S., Cholil, A., & Utomo, E. P. (2014). Potensi minyak atsiri serai wangi (*Cymbopogon winterianus*) sebagai fungisida nabati terhadap penyakit antraknosa (*Colletotrichum gloeosporioides*) pada buah apel (*Malus sylvestris* Mill). *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 2(4), pp-92.
- Nurmansyah. (2010). Efektivitas minyak serai wangi dan fraksi sitronellal terhadap pertumbuhan jamur *Phytophthora palmivora* penyebab penyakit busuk buah kakao. *Bul. Littro*, 21(1), 43–52. <https://doi.org/10.21082/bullittro.v21n1.2010.%p>
- Ruiz, A., Liu, Y., Xu, X., & Carlson, M. (2012). Heterotrimer-independent regulation of activation-loop phosphorylation of Snf1 protein kinase involves two protein phosphatases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22), 8652–8657. <https://doi.org/10.1073/pnas.1206280109>
- Shakeel, F., Baboota, S., Ahuja, A., Ali, J., Faisal, M., & Shafiq, S. (2008). Stability evaluation of celecoxib nanoemulsion containing Tween 80. *Thai J. Pharm. Sci*, 32, 4–9.
- Sharma, A., Sharma, N. K., Srivastava, A., Kataria, A., Dubey, S., Sharma, S., & Kundu, B. (2018). Clove and lemongrass oil based non-ionic nanoemulsion for suppressing the growth of plant pathogenic *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *Industrial Crops and Products*, 123(July), 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.077>
- Sulaswatty, A., Rusli, M. S., Abimanyu, H., & Silvester, T. (2019). Minyak serai wangi: Potensi besar yang perlu perhatian. In *Quo Vadis Minyak Serai Wangi dan Produk Turunannya*. Retrieved from <http://www.penerbit.lipi.go.id/data/naskah1562653977.pdf>
- Wei, L. S., & Wee, W. (2013). Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon nardus* citronella essential oil against systemic bacteria of aquatic animals. *Iranian Journal of Microbiology*, 5(2), 147–152.
- Yuliani, S., & Noveriza, R. (2016). Nano-emulsification of citronella oil using spontaneous diffusion and phase inversion techniques. In *World Congress of Food Science and Technology*. IUFOST 18 (August).

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 7, Nomor 3, November 2020

**PENGARUH IRADIASI SINAR GAMMA TERHADAP PERTUMBUHAN STEK
TUNAS APIKAL DAN AKSILAR KOPI ARABIKA**

*THE EFFECTS OF GAMMA-RAY IRRADIATION ON THE GROWTH OF APICAL
AND AXILLARY BUD CUTTINGS OF ARABICA COFFEE*

* Meynarti Sari Dewi Ibrahim, Enny Randriani

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar

Jalan Raya Pakuwon Km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

* meynartisaya@yahoo.com

(Tanggal diterima: 19 Juli 2020, direvisi: 24 September 2020, disetujui terbit: 23 November 2020)

ABSTRAK

Kopi Arabika termasuk tanaman menyerbuk sendiri sehingga keragaman genetiknya tergolong rendah. Upaya peningkatan keragaman genetik menggunakan metode persilangan memerlukan waktu yang lama, sehingga perlu untuk melakukan induksi mutasi. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan stek tunas apikal dan aksilar serta menentukan nilai dosis letal 50 (LD₅₀). Penelitian dilakukan di laboratorium kultur jaringan Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar dari bulan Januari sampai Desember 2018. Materi yang diradiasi adalah planlet kopi Arabika hasil perbanyakan embriogenesis somatik. Iradiasi dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional. Planlet yang telah diiradiasi dipotong-potong dan disubkultur ke media MS tanpa zat pengatur tumbuh, ditambahkan sukrosa 30 g L⁻¹ dan phytigel 2,5 g L⁻¹. Rancangan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 10 ulangan. Perlakuan yang diuji dosis iradiasi sinar gamma (0, 10, 20, 30, 40, dan 50 Gy). Hasil penelitian menunjukkan bahwa iradiasi sinar gamma dapat memberikan pengaruh pada semua parameter yang diamati. Persentase kematian stek tunas apikal mulai ditemukan pada dosis 30 Gy, sementara stek aksilar pada dosis 20 Gy dan meningkat seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi sinar gamma. Jumlah tunas dan daun bervariasi antar perlakuan dosis iradiasi baik pada stek apikal maupun aksilar. Nilai LD₅₀ stek tunas apikal 36,80 Gy, sementara stek aksilar pada 22,24 Gy.

Kata kunci: *Coffea arabica*; induksi mutasi; LD₅₀; pertumbuhan; planlet

ABSTRACT

The Arabica coffee is predominantly self-pollinated plants thereby contributing to low genetic diversity. The effort to increase the genetic diversity of Arabica coffee through crossing strategy is time-consuming, and induce mutation is necessary to enhance the rate of genetic variation. The aims of this study were to observe the effect of gamma-ray irradiation on the growth of apical and axillary bud cuttings and to determine the value of LD₅₀ on apical cuttings and Arabica coffee axillaries. The study was conducted at the Tissue Culture Laboratory, Industrial and Beverage Crops Research Institute, from January to December in 2018. The planting material that was irradiated was Arabica coffee plantlets resulting from somatic embryogenesis propagation. Irradiation is carried out at the National Nuclear Energy Agency. The irradiated plantlets were cut and subcultured onto MS medium without growth regulators, 30 g L⁻¹ sucrose, and 2.5 g L⁻¹ phytigel were added. The design used a completely randomized design with 10 replications. The treatments tested were the dose of gamma-ray irradiation (0, 10, 20, 30, 40, and 50 Gy). The results showed that gamma-ray irradiation had an effect on all observed parameters. The mortality percentage of apical shoot cuttings began to be found at 30 Gy, while axillary cuttings at 20 Gy increased with an increasing dose of gamma-ray irradiation. The number of shoots and leaves varied between irradiation doses on both apical and axillary cuttings. The LD50 value of apical shoot cuttings was 36.80 Gy, while axillary cuttings were 22.24 Gy

Keywords: *Coffea arabica*; mutation induction; LD₅₀; growth; plantlet

PENDAHULUAN

Kopi Arabika (*Coffea arabica* L.) sampai saat ini masih merupakan salah satu minuman penyegar yang secara ekonomi memegang peranan penting tidak hanya di kawasan Asia tetapi hampir di seluruh dunia. Untuk memenuhi kebutuhan permintaan kopi baik pada pasar domestik maupun internasional perlu dilakukan perbaikan varietas kopi Arabika yang ada. Dalam rangka perbaikan varietas kopi Arabika, beberapa karakter penting masih perlu ditingkatkan keberadaannya. Karakter penting tersebut diantaranya adalah; produktivitas, ketahanan terhadap cekaman abiotik dan biotik, serta yang tidak kalah penting adalah cita rasa dari kopi itu sendiri.

Pemuliaan konvensional yang biasanya digunakan untuk memperbaiki karakter tertentu pada kopi Arabika membutuhkan waktu yang cukup lama. Hal ini tidak lain karena kopi Arabika termasuk tanaman tahunan. Kendala lain dalam perbaikan genetik kopi Arabika adalah rendahnya keragaman genetik sebagai akibat dari sistem menyerbuk sendiri dari tanaman ini. Penggunaan metode non konvensional menggunakan aplikasi kultur *in vitro* dan mutasi sel diharapkan dapat menjadi solusi dalam mempercepat proses pemuliaan kopi Arabika.

Pemanfaatan iradiasi sinar gamma untuk menginduksi mutasi pada program pemuliaan tanaman telah menghasilkan banyak varietas baru, baik itu pada tanaman hias, pangan, horti dan perkebunan. Varietas mutan yang dirilis telah dibudidayakan secara komersial karena menunjukkan nilai ekonomi (Jain, 2010; Jain & Suprasanna, 2011).

Mutasi pada kultur *in vitro* dapat diinduksi secara fisik menggunakan iradiasi ion seperti sinar x, sinar gamma, neutron, partikel beta, partikel alfa, dan proton, atau secara kimia dengan menggunakan senyawa yang bersifat mutagen seperti *ethyl methane sulfonate* (EMS) dan *ethidium bromide* (Mba, Afza, Bado, & Jain, 2010). Berdasarkan beberapa alternatif tersebut, sinar gamma merupakan mutagenik yang paling banyak digunakan sebagai agen dalam pemuliaan tanaman berbasis mutagenesis karena memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi, cukup reproduktifitas dan daya tembus yang dalam menjadi biologis materi yang dapat menyebabkan lebih banyak variasi karena dapat merubah komposisi kimia (Datta, 2014).

Pemuliaan mutasi pada tanaman tahunan telah terbukti dapat meningkatkan terjadinya keragaman genetik baru (Jain, 2010; Penna & Jain, 2017). Hasil penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa keragaman mutan (*mutant variability*) terbanyak pada umumnya terjadi pada atau sedikit dibawah nilai LD₅₀ (*Lethal Dose* 50). LD₅₀ adalah dosis yang menyebabkan 50%

kematian dari populasi tanaman yang radiasi. Nilai LD₅₀ ini merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengukur tingkat sensitivitas suatu jaringan terhadap radiasi, atau dikenal dengan istilah radiosensitivitas, sehingga dalam pemuliaan mutasi nilai LD₅₀ harus diketahui terlebih dahulu. Radiosensitivitas adalah ukuran relatif yang memberikan indikasi efek perlakuan iradiasi pada objek yang diiradiasi, dan dapat diuji dengan melihat kerusakan kromosom, mutasi somatik, penghambatan pertumbuhan atau kematian. Diasumsikan bahwa penghambatan pertumbuhan dan efek mematikan adalah hasil dari beberapa bentuk kerusakan DNA atau kromosom (Datta, 2019).

Pemberian iradiasi sinar gamma untuk meningkatkan keragaman genetik kopi Arabika telah dilaporkan oleh beberapa peneliti terdahulu. Penggunaan iradiasi sinar gamma pada buah kopi Arabika tipe typika telah dilaporkan oleh Quintana *et al.* (2019). Ibrahim & Randriani (2019) melaporkan penggunaan iradiasi sinar gamma pada kalus embriogenik kopi Arabika, Arrieta, Cespedes, & Barquero (2018) pada embrio zigotik kopi Arabika, sementara pada bibit kopi Arabika umur 8 bulan dilaporkan oleh Dada *et al.* (2018). Selain kopi Arabika penggunaan iradiasi sinar gamma juga telah dilakukan pada kopi Robusta yang menggunakan kalus embriogenik (Ibrahim, Randriani, Sari, & Nuraini, 2019). Agak berbeda dengan penelitian sebelumnya pada penelitian ini peningkatan keragaman genetik dilakukan dengan meradiasi planlet dari kopi Arabika. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh sinar gamma pada pertumbuhan stek apikal dan aksilar, dan menentukan nilai LD₅₀ pada stek apikal dan aksilar kopi Arabika setelah perlakuan iradiasi planlet.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium kultur jaringan, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri), sementara iradiasi sinar gamma dilaksanakan di Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Pasar Jum'at, Jakarta Selatan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Desember 2018. Penelitian terdiri atas dua tahapan kegiatan, yaitu; Penyediaan planlet kopi Arabika sebagai sumber eksplan dan induksi mutasi menggunakan iradiasi sinar gamma pada planlet kopi Arabika.

Penyediaan Planlet Kopi Arabika Sebagai Sumber Eksplan

Penyediaan planlet kopi Arabika varietas AS2K menggunakan teknik embriogenesis somatik dengan

metode Ibrahim, Hartati, Rubiyo, Purwito, & Sudarsono (2015). Kecambah kopi Arabika hasil embriogenesis somatik disubkultur ke media Murashige and Skoog (MS) yang diberi zat pengatur tumbuh BA $0,3 \text{ g L}^{-1}$, sukrosa 30 g L^{-1} dan phytigel $2,5 \text{ g L}^{-1}$ (Etienne, 2005). Kultur diinkubasi dalam ruangan dengan fotoperiode 16 jam cahaya (di bawah lampu neon 1000 lux) dan 8 jam gelap, pada suhu $25 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan kelembanan relatif 55% sampai 65%. Planlet kopi Arabika ditumbuhkan sampai diperoleh tunas yang cukup untuk diberi perlakuan iradiasi sinar gamma (± 8 bulan).

Induksi Mutasi Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma pada Planlet Kopi Arabika

Planlet kopi Arabika yang telah dipersiapkan sebagai materi diradiasi dibawa ke PATIR untuk diiradiasi sinar gamma. Setelah diradiasi sinar gamma pada dosis 0, 10, 20, 30, 40, 50 Gy, planlet kopi Arabika langsung dibawa ke laboratorium kultur jaringan Balittri untuk segera disubkultur. Planlet kopi Arabika dipotong-potong dengan memisahkan antara stek pucuk (apikal) dan stek selain pucuk (stek aksilar) di *Laminar air flow*. Stek yang telah dipotong-potong dikulturkan ke media MS tanpa zat pengatur tumbuh, ditambah sukrosa 30 g L^{-1} dan phytigel $2,5 \text{ g L}^{-1}$. Kultur kemudian diinkubasi di ruang terang pada suhu $25 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$, kelembanan relatif 55% sampai 65% dan fotoperiode 16 jam cahaya (di bawah lampu neon 1000 lux) dan 8 jam gelap.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap. Faktor yang diuji terdiri dari enam taraf dosis iradiasi sinar gamma yaitu; 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 Gy, dengan masing-masing perlakuan diulang sebanyak 10 ulangan (satu ulangan terdiri dari satu stek).

Pengujian ini dilakukan baik pada stek tunas apikal maupun aksilar. Data dianalisis menggunakan sidik ragam, dan apabila memperlihatkan perbedaan yang nyata maka dilanjutkan dengan uji rerata menggunakan metode Duncan taraf 5%. Untuk mendapatkan nilai *lethal dose* (LD) digunakan software berbasis *curve-fit analysis*.

Pengamatan dilakukan 1, 2 dan 3 bulan setelah iradiasi sinar gamma. Parameter yang diamati; persentase kematian stek, jumlah tunas, jumlah daun dan nilai LD_{20} serta LD_{50} . Kematian stek ditentukan secara morfologi dimana stek dinyatakan mati apabila stek berwarna hijau berubah warna menjadi hitam dan mengering. Jumlah tunas dihitung dengan cara menjumlahkan tunas yang terbentuk dari tunas apikal maupun aksilar dari masing-masing stek. Jumlah daun yang dihitung adalah daun yang terbentuk dari stek apikal dan aksilar. Nilai LD_{20} dan LD_{50} dilihat pada planlet asal stek apikal dan aksilar yang telah berumur 3 bulan setelah kultur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyediaan Planlet Kopi Arabika sebagai Sumber Eksplan

Kecambah kopi Arabika telah membentuk planlet yang mempunyai 6-7 pasang daun pada saat 8 bulan dipelihara di media kultur. Penampilan kultur yang terlihat masih segar dan belum ada daun yang terlihat layu dianggap ideal digunakan sebagai sumber eksplan. Keragaan kultur kopi Arabika yang telah dipersiapkan untuk diiradiasi sinar gamma dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Planlet kopi Arabika sebelum diiradiasi sinar gamma

Figure 1. Arabica coffee plantlets before being irradiated with gamma-rays

Tabel 1. Persentase kematian stek tunas apikal pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma
Table 1. Percentage of mortality of apical bud cuttings at 1, 2, and 3 months after plantlets irradiated by gamma-ray

Konsentrasi sinar gamma	Persentase eksplan stek apikal yang mati bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	0	0	0
10 Gy	0	0	0
20 Gy	0	0	0
30 Gy	0	20	40
40 Gy	0	60	60
50 Gy	0	100	100

Tabel 2. Persentase kematian stek aksilar pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma
Table 2. Percentage of mortality of axillary bud cuttings at 1, 2, and 3 months after plantlets irradiated by gamma-ray

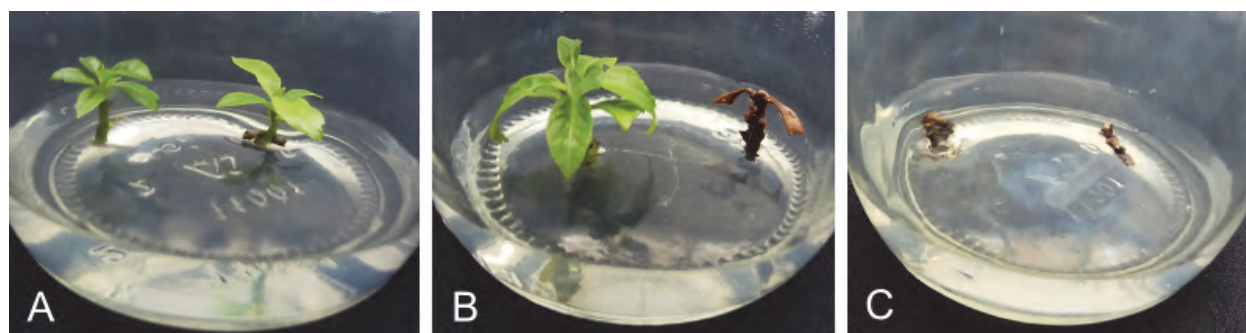
Konsentrasi sinar gamma	Persentase eksplan stek aksilar yang mati bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	0	0	0
10 Gy	0	0	0
20 Gy	0	20	40
30 Gy	0	60	80
40 Gy	0	100	100
50 Gy	0	100	100

Induksi Mutasi Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma pada Planlet Kopi Arabika

1. Persentase kematian

Hasil penelitian memperlihatkan pada bulan pertama setelah kultur, iradiasi sinar gamma terlihat belum memberikan pengaruh terhadap kematian stek tunas apikal. Persentase kematian stek apikal terlihat setelah dua bulan dikulturkan dan meningkat dibulan ketiga. Kematian stek apikal terlihat pada dosis 30 Gy (40%) dan 40 Gy (60%), bahkan pada dosis 50 Gy tidak ada satupun stek apikal yang mampu bertahan hidup (Tabel 1). Stek apikal pada bulan pertama secara morfologi masih terlihat hidup, namun sebagian besar stek yang diiradiasi sinar gamma pada dosis 40 dan 50 Gy ketika berumur 1 bulan menunjukkan adanya perubahan warna stek dari hijau menjadi hijau kekuningan. Pada umur 2 dan 3 bulan stek yang berwarna hijau kekuningan tadi berubah menjadi kecoklatan dan menghitam serta mengering yang menandakan jaringan telah mati. Pemberian iradiasi sinar gamma diduga kuat menjadi penyebab kematian jaringan tanaman. Tidak adanya tunas yang hidup ketika diiradiasi sinar gamma dosis diatas 40 Gy juga terlihat pada tunas keladi tikus yang ditumbuhkan di media MS yang diberi NAA 1 mg L⁻¹, BAP 0,5 mg L⁻¹, 30 sukrosa g L⁻¹, air kelapa 10% dan agar 8 g L⁻¹ (Sianipar, Wanthono, Rustikawati, & Maarisit, 2013).

Tidak berbeda dengan stek apikal, stek aksilar mengalami kematian pada bulan kedua setelah kultur. Dibandingkan dengan stek apikal, persentase kematian stek aksilar lebih tinggi baik pada bulan kedua maupun pada bulan ketiga setelah kultur. Berdasarkan perlakuan taraf dosis sinar gamma yang digunakan, kematian stek aksilar mulai terlihat pada dosis 20 Gy dan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya iradiasi sinar gamma. Pada dosis 40 dan 50 Gy kematian stek aksilar terlihat mencapai angka 100 %. (Tabel 2). Berdasarkan Tabel 1 dan 2 dapat kita lihat bahwa persentase kematian stek aksilar pada bulan kedua dan ketiga setelah kultur terlihat lebih banyak dibandingkan stek apikal. Perlakuan dosis iradiasi sinar gamma lebih dari 20 Gy terlihat dapat menghambat pertumbuhan sel-sel pada stek tunas apikal maupun aksilar. Stek yang mengalami kerusakan menurunkan kemampuannya untuk tumbuh dan berkembang. Kematian sel tanaman akibat iradiasi dapat terjadi secara langsung dikarenakan kerusakan pada DNA, serta akibat tidak langsung akibat adanya pengaruh toksik dari radikal bebas molekul H₂O₂ dan OH⁻ yang dihasilkan dari radiolisis air (Soeranto, 2003). Keragaan stek apikal dan aksilar yang berhasil tumbuh atau tidak tumbuh (mati) dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2: **A:** Stek tunas apikal dan aksilar yang berhasil tumbuh pada perlakuan iradiasi sinar gamma 20 Gy. **B:** Stek tunas apikal yang berhasil tumbuh dan aksilar yang mati pada perlakuan iradiasi sinar gamma 30 Gy. **C:** Stek tunas apikal dan aksilar yang mati pada perlakuan iradiasi sinar gamma 50 Gy

Figure 2: **A:** Apical and axillary bud cuttings that successfull growing on the 20 Gy gamma-ray irradiation treatment. **B:** Mortality of apical and axillary bud cutting on the 30 Gy gamma-ray irradiation treatment. **C:** Mortality of apical and axillary bud cuttings on the 50 Gy gamma-ray irradiation treatment

Tabel 3. Jumlah tunas stek apikal pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma

Table 3. The buds number of apical cuttings at 1, 2, and 3 months after plantlets irradiated by gamma-ray

Konsentrasi sinar gamma	Jumlah tunas dari eksplan stek tunas apikal bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	1,00	1,00 a	1,00 a
10 Gy	1,00	1,00 a	1,00 a
20 Gy	1,00	1,00 a	1,00 a
30 Gy	1,00	0,80 a	0,60 ab
40 Gy	1,00	0,40 b	0,40 b
50 Gy	1,00	0,00 c	0,00 c

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan

Notes : The numbers followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test at 5% level

2. Jumlah Tunas

Hasil analisa statistik menunjukkan iradiasi sinar gamma tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah tunas pada stek tunas apikal dibulan pertama setelah kultur. Pada bulan kedua jumlah tunas yang dihasilkan terlihat menurun pada dosis 30 Gy dan semakin sedikit seiring dengan meningkatnya dosis iradiasi sinar gamma. Penurunan juga semakin meningkat pada bulan ketiga setelah sub kultur. Penurunan ini secara statistik berbeda nyata pada dosis 40 dan 50 Gy baik di bulan kedua dan ketiga setelah subkultur (Tabel 3). Hasil penelitian memperlihatkan stek apikal hanya menghasilkan satu tunas yang berasal dari titik tumbuh apikal. Penurunan rata-rata jumlah tunas apikal pada penelitian ini adalah dikarenakan banyaknya tunas apikal yang mati akibat pengaruh iradiasi sinar gamma.

Berdasarkan hasil pengamatan terhadap stek aksilar umur satu bulan setelah kultur, baik pada kontrol maupun semua perlakuan yang iradiasi sinar gamma belum ada tunas yang terbentuk. Pembentukan tunas mulai terlihat pada bulan kedua setelah subkultur.

Pertambahan jumlah tunas terjadi pada perlakuan 0 Gy (kontrol) dan 10 Gy disetiap bulannya, namun pada dosis 20 dan 30 Gy terjadi penurunan pembentukan tunas, bahkan pada perlakuan dengan dosis 40 dan 50 Gy pembentukan tunas tidak terjadi (nol). Berdasarkan analisis statistik pada bulan ketiga setelah subkultur, jumlah tunas aksilar yang dihasilkan pada perlakuan 0 dan 10 Gy berbeda nyata dengan perlakuan 20 dan 30 Gy demikian juga dengan perlakuan 40 dan 50 Gy. Tidak terbentuknya tunas pada perlakuan 40 dan 50 Gy tidak lain disebabkan tidak terdapatnya stek aksilar yang mampu bertahan hidup pada dosis tersebut (Tabel 4). Penurunan jumlah tunas juga terlihat pada kultur lidah buaya yang diiradiasi sinar gamma pada dosis diatas 30 Gy (Imelda, Sari, & Wulansari, 2011), sementara kultur pucuk kapas memperlihatkan peningkatan jumlah tunas ketika diiradiasi pada dosis 5 Gy sampai 40 Gy dan menurun setelah 50 Gy (Muthusamy & Jayabalan, 2014).

Tabel 4. Jumlah tunas stek aksilar pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma
Table 4. The buds number of axillary cuttings at 1, 2, and 3 months after plantlets irradiated by gamma-ray

Konsentrasi sinar gamma	Jumlah tunas dari eksplan stek tunas aksilar bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	0,00	1,00 a	1,20 a
10 Gy	0,00	1,00 a	1,20 a
20 Gy	0,00	0,80 a	0,60 b
30 Gy	0,00	0,40 b	0,20 bc
40 Gy	0,00	0,00 c	0,00 c
50 Gy	0,00	0,00 c	0,00 c

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan
Notes : The numbers followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test at 5% level

Tabel 5. Jumlah daun stek apikal pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma
Table 5. The leaves number of apical bud cuttings at 1, 2, and 3 months after plantlets irradiated by gamma-rays

Konsentrasi sinar gamma	Jumlah daun dari eksplan stek tunas apikal bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	2,00 a	4,00 a	5,20 a
10 Gy	2,00 a	3,60 a	5,20 a
20 Gy	2,00 a	3,60 a	4,80 a
30 Gy	0,80 b	2,40 ab	2,80 ab
40 Gy	0,80 b	1,60 bc	2,00 bc
50 Gy	0,00 b	0,00 c	0,00 c

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan
Notes : The numbers followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test at 5% level

Terjadinya penekanan terhadap daya tumbuh tunas apikal dan aksilar berhubungan dengan menurunnya kualitas stek yang diregenerasikan sebagai akibat pengaruh iradiasi sinar gamma. Penurunan kemampuan daya tumbuh tunas atau stek selain karena adanya kematian sel juga diduga karena terganggunya keseimbangan hormon endogen yang dihasilkan tanaman. Pembentukan hormon endogen dalam jaringan tanaman terganggu akibat adanya iradiasi sinar gamma yang diberikan pada kultur. Kiong, Lai, Hussein, & Harun, (2008) yang menggambarkan bahwa pemberian iradiasi pada dosis tertentu dapat meningkatkan sensitivitas tanaman dan mengurangi sejumlah aktivitas pertumbuhan endogen, khususnya auksin dan sitokin. Hal ini mengakibatkan kerusakan atau berkurangnya sintesis hormon, gangguan keseimbangan hormon dan aktivitas enzimatis.

Dari Tabel 3 dan 4 dapat dilihat bahwa kematian stek aksilar pada dosis iradiasi sinar gamma yang sama terlihat lebih banyak dibandingkan stek apikal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh adanya titik tumbuh (meristem apikal) pada stek apikal yang secara teoritis lebih dominan dibandingkan

dibandingkan titik tumbuh pada stek aksilar. Pembelahan sel yang lebih cepat pada sel-sel meristem apikal menyebabkan adanya kerusakan sel akibat iradiasi sinar gamma dapat segera digantikan oleh sel-sel yang baru, sehingga proses kematian jaringan tidak terjadi.

3. Jumlah Daun

Jumlah daun bertambah sejalan dengan lamanya stek apikal dikondisikan pada media kultur. Pada penelitian ini jumlah daun tertinggi terlihat pada eksplan yang berasal dari stek tunas apikal yang diperlakukan dengan taraf dosis 0 (kontrol) dan 10 Gy yang diamati pada bulan ketiga setelah kultur. Pemberian sinar gamma yang semakin tinggi dapat menekan pembentukan daun. Berdasarkan hasil pengamatan diketahui bahwa iradiasi sinar gamma berpengaruh nyata terhadap jumlah daun pada umur 1, 2, dan 3 bulan. Pertambahan jumlah daun pada stek tunas apikal setelah iradiasi relatif sama antara 0, (kontrol), 10, 20 dan 30 Gy disetiap bulannya, dan berbeda nyata dengan hasil perlakuan 40 dan 50 Gy. Pada dosis 50 Gy tidak ada satu pun daun yang terbentuk (Tabel 5).

Tabel 6. Jumlah daun dari stek aksilar pada 1, 2, dan 3 bulan setelah planlet diradiasi sinar gamma
Table 6. The leaves number of axillary bud cuttings at 1, 2, and 3 months after the plantlets irradiated by gamma-rays

Konsentrasi sinar gamma	Jumlah daun dari eksplan stek tunas aksilar bulan ke-		
	1	2	3
0 Gy	0,00	1,60 a	3,60 a
10 Gy	0,00	1,60 a	3,60 a
20 Gy	0,00	1,60 a	2,40 ab
30 Gy	0,00	0,40 b	0,80 bc
40 Gy	0,00	0,00 b	0,00 c
50 Gy	0,00	0,00 b	0,00 c

Keterangan : Angka pada kolom yang diikuti oleh huruf sama tidak berbeda pada taraf nyata 5% menurut uji jarak berganda Duncan
Notes : The numbers followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncan's test at 5% level

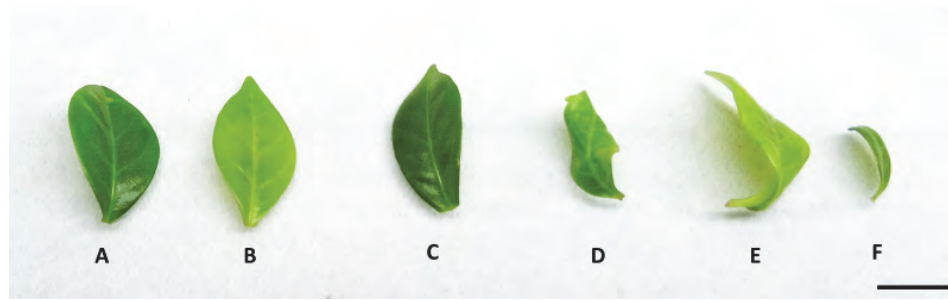
Berbeda dengan stek apikal yang telah menghasilkan daun pada bulan pertama, stek aksilar baru membentuk daun pada bulan kedua setelah kultur. Pemberian dosis iradiasi sinar gamma diatas 30 Gy pada stek aksilar terlihat dapat menekan pertumbuhan daun, bahkan pada dosis 40 dan 50 Gy tidak ada yang membentuk daun. Hasil analisis statistik pada bulan ketiga memperlihatkan pemberian iradiasi sinar gamma pada stek aksilar dosis 0 (kontrol), 10, dan 20 Gy berbeda nyata dengan perlakuan lainnya (Tabel 6). Penurunan jumlah daun juga terlihat pada tanaman kopi Arabika yang ditumbuhkan di rumah kaca setelah bahan tanam berupa stek diiradiasi sinar gamma 0 sampai 25 Gy. Pertumbuhan daun terlihat berbeda nyata antara dosis 0 (kontrol), 5, 10, dan 15 Gy dengan dosis 20 dan 25 Gy (Dada *et al.*, 2018). Jumlah daun menurun seiring dengan bertambah dosis iradiasi juga terlihat pada kultur pisang tanduk setelah diiradiasi sinar gamma pada dosis 20 Gy (Abdulahfiz, Kayat, & Zakaria, 2018).

Kerusakan sel akibat iradiasi sinar gamma memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan daun. Semakin tinggi dosis iradiasi sinar gamma yang diberikan semakin sedikit jumlah daun yang dihasilkan. Kerusakan sel tanaman yang semakin besar akibat meningkatnya dosis radiasi mempengaruhi pertumbuhan kultur. Efek biologi iradiasi gamma terjadi akibat adanya interaksi atom atau molekul di dalam sel, terutama air, untuk menghasilkan radikal bebas (Kovacs & Keresztes, 2002). Radikal-radikal ini dapat membahayakan komponen utama sel tanaman sehingga mengganggu proses fisiokimia dan biokimia tanaman, dengan tingkat kerusakan tergantung pada dosis radiasi (Ashraf, Cheema, Rashid, & Zia-Ul-Qamar, 2003; Christopher *et al.*, 2013; Shahzad *et al.*, 2017;). Sinar gamma dapat merusak struktur sel tanaman dan metabolisme termasuk tilakoid, pelebaran membran sel, perubahan fotosintesis (akibat rusaknya klorofil atau komponen dalam yang diperlukan dalam proses fotosintesis), penyesuaian struktur anti-oksidatif (akibat rusaknya protein atau DNA), dan akumulasi metabolit sekunder

(Kovacs & Keresztes 2002; Ashraf *et al.*, 2003; Mbaye *et al.*, 2017).

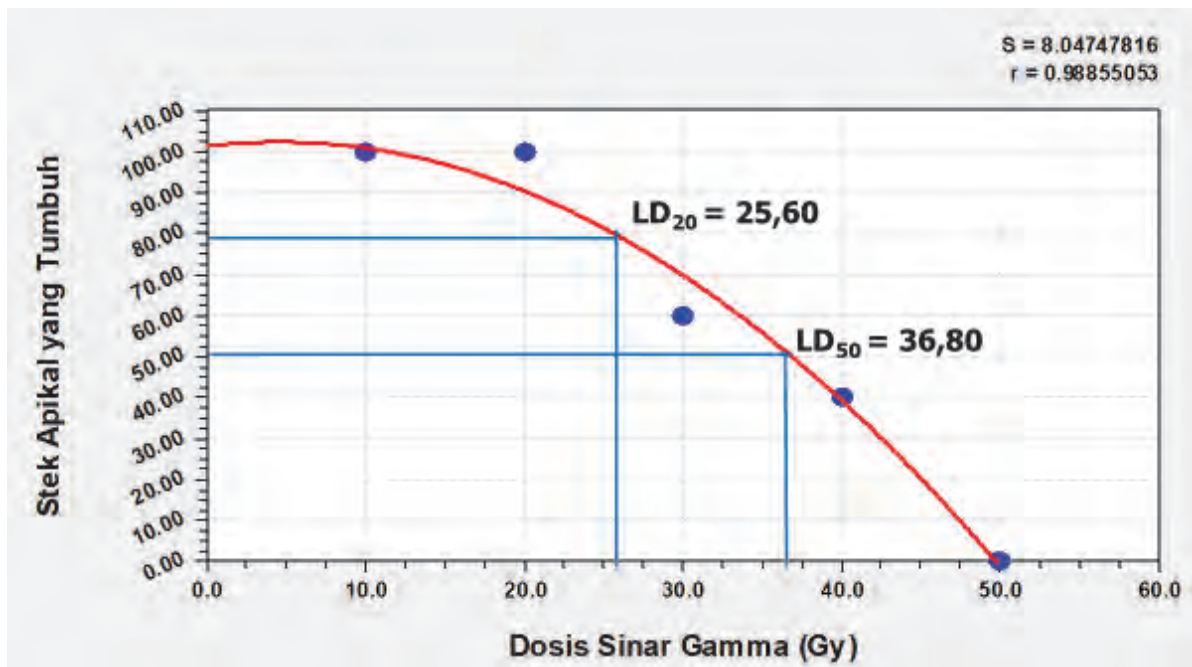
Selain dapat menurunkan jumlah daun, daun kopi yang terbentuk pada stek apikal maupun aksilar setelah planlet diiradiasi sinar gamma secara morfologi sebagian ada yang menunjukkan keabnormalan. Gambar 3 memperlihatkan beberapa keabnormalan variasi bentuk dan warna daun kopi Arabika yang telah membuka sempurna setelah stek apikal dan aksilar dikulturkan selama 3 bulan. Pada dosis 10 Gy ditemukan ada stek yang daunnya berwarna lebih muda atau ujung daun yang lebih meruncing dibandingkan kontrol. Daun menggulung terlihat pada stek yang planletnya telah iradiasi sinar gamma 20 Gy, dan daun dengan warna lebih muda atau memuntir ditemukan pada stek yang planletnya diiradiasi sinar gamma 30 Gy, sementara daun menjadi kerdil pada dosis 40 Gy.

Perubahan bentuk dan warna juga terlihat pada daun *R. fraxinifolius* setelah biji mendapat perlakuan iradiasi sinar gamma. Daun tidak normal terlihat bergelombang, tidak simetris, menjadi lebih besar atau menjadi lebih kecil (Ismaini, Normasiwi, & Surya, 2018). Penelitian Royani, Purwito, & Sumaryono (2012) mendapatkan daun menggulung seperti spiral pada tanaman sambiloto setelah dari iradiasi gamma, sementara pada anggrek *D. lasianthera* perubahan bentuk daun yang teramat ditemukan hampir disetiap perlakuan iradiasi (20 Gy sampai 100Gy) dengan persentase daun yang paling beragam ada pada perlakuan iradiasi 60 Gy dan 80 Gy (Cahyo & Dinarti, 2015). Variasi bentuk dan warna daun diduga muncul sebagai hasil sel mutan berkembang menjadi jaringan yang berbeda dengan organ sel asal. Sinar gamma menghasilkan radikal bebas yang dapat merusak tanaman meristem seluler dan menghambatnya sintesis DNA, sehingga mengganggu dan mempengaruhi morfologi, anatomi, dan biokimia pada tumbuhan (Tshilenge-Lukanda, Kalonji-Mbuyi, Nkongolo, & Kizungu, 2013; Rosmala, Khumaida, & Sukma, 2015).



Gambar 3. Keragaan perubahan morfologi bentuk dan warna daun kopi Arabika stek tunas aksilar dan apikal setelah plantlet diiradiasi sinar gamma pada 3 bulan setelah kultur. **A:** Daun normal tanpa iradiasi sinar gamma (0 Gy). **B dan C:** Daun abnormal dosis 10 Gy. **D:** Daun abnormal dosis 20 Gy. **E:** Daun abnormal dosis 30 Gy. **F:** Daun abnormal dosis 40 Gy (Skala 1 cm).

Figure 3. The morphological changes in the shape and color of Arabica coffee leaves of axillary and apical bud cuttings after plantlets irradiated by gamma-ray irradiation at 3 months after culture. **A:** Normal leaves without gamma-ray irradiation (0 Gy). **B and C:** Leaves abnormal of 10 Gy dose. **D:** Abnormal leaf of 20 Gy dose. **E:** Abnormal leaf of 30 Gy dose. **F:** Leaves abnormal of 40 Gy dose (scale bar 1 cm).



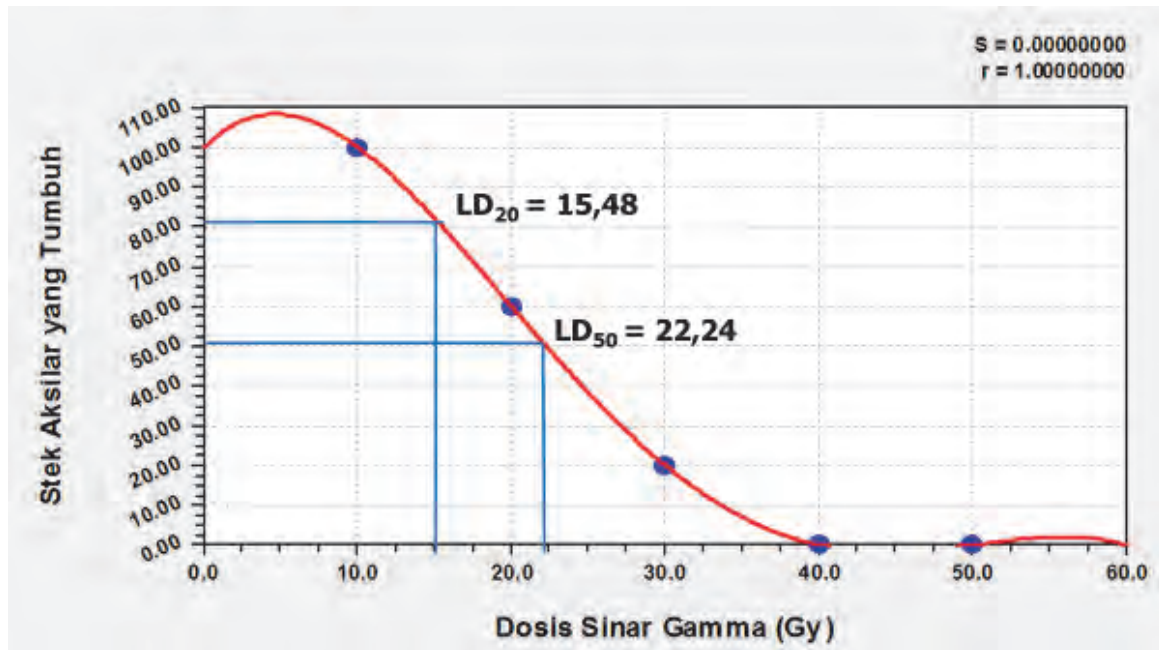
Gambar 4. Grafik stek apikal yang tumbuh pada beberapa dosis iradiasi sinar gamma.

Figure 4. Graph of apical bud cuttings that grows at several concentrations of gamma-ray irradiation

Pada penelitian ini tidak ditemukan adanya mutan yang khimera atau variegata. Namun untuk memastikannya kultur yang dihasilkan merupakan mutan yang solid, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan meradiasi plantlet kopi Arabika sesuai dengan nilai LD_{50} yang telah didapatkan pada penelitian ini, kemudian dilakukan subkultur sampai vegetatif keempat. Hal ini perlu dilakukan karena terkadang khimera tidak dapat terdeteksi pada generasi pertama (Banerjee, Penna, Variyar, & Sharma, 2015).

Nilai Lethal Dose (LD)

Radiosensitivitas pada proses mutasi merupakan hal yang perlu diketahui dalam pemuliaan mutasi. Radiosensitivitas merupakan pengaruh iradiasi pada sejumlah faktor-faktor seperti ; penghambatan pertumbuhan (penurunan daya perkecambahan, berkurangnya ketinggian bibit), kematian, kerusakan kromosom/penyimpangan, kelainan vegetatif dan bunga, sterilitas/kesuburan serbuk sari, dan frekuensi mutase (Suprasanna, Mirajkar, & Bhagwat, 2015) Dalam penelitian ini nilai radiosensitivitas diukur berdasarkan nilai LD.



Gambar 5. Grafik stek aksilar yang tumbuh pada beberapa dosis iradiasi sinar gamma.

Figure 5. Graph of axillary bud cuttings that grows at several concentrations of gamma-ray irradiation

Pada penelitian ini tingkat kelangsungan hidup eksplan asal stek apikal yang diiradiasi terlihat menurun secara kuadratik dengan meningkatnya dosis gamma. Program curvit menempatkan fungsi kuadratik dengan persamaan $y = a + bx + cx^2$ sebagai model terbaik untuk mendiskripsikan pola kematian stek apikal pada kultur kopi Arabika. Nilai LD₂₀ stek apikal berada pada 25,60 Gy dan untuk nilai LD₅₀ sebesar 36,80 Gy (Gambar 4).

Berdasarkan Gambar 4 dan 5 terlihat adanya perbedaan nilai LD₂₀ dan LD₅₀ antara stek apikal dan aksilar. Untuk stek aksilar fungsi model terbaik didapat pada model *degree polynomial fit* berdasarkan persamaan $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$ dengan nilai LD₂₀ berada pada nilai 15,48 Gy sementara nilai LD₅₀ berada di 22,24 Gy (Gambar 5). Dari Gambar 4 dan 5 kita dapat melihat bahwa pengaruh iradiasi gamma pada daya hidup terlihat berbeda antara stek apikal dan aksilar. Nilai LD₂₀ dan LD₅₀ pada stek apikal lebih tinggi dibandingkan stek aksilar. Nilai LD₂₀ dan LD₅₀ penelitian ini juga berbeda dengan hasil yang didapatkan oleh Ibrahim dan Randriani (2019) pada kalus kopi Arabika yang di iradiasi sinar gamma. Perbedaan ini kemungkinan besar karena perbedaan dari materi eksplan yang digunakan. Mutasi yang terjadi dipengaruhi oleh pertumbuhan tanaman, ukuran, ketebalan material yang dimutasikan (Yalindua, Sudarsono, Setiawan, & Bintoro, 2014), jenis tanaman, kondisi fisiologis eksplan, bahan yang dimutasi, dan

genotipe tanaman (Yunita, Khumaida, Sopandie, & Mariska, 2014).

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI

Persentase kematian stek aksilar kopi Arabika akibat penyinaran sinar gamma mulai terlihat pada dosis 20 Gy, sementara stek apikal baru terlihat di dosis 30 Gy. Jumlah tunas dan daun terlihat bervariasi antar perlakuan iradiasi baik pada stek apikal dan aksilar dibulan kedua dan ketiga setelah kultur. Nilai LD₅₀ stek apikal kopi Arabika berada pada dosis 36,80 Gy, sementara stek aksilar di 22,24 Gy. Diketahuinya pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan stek tunas apikal dan aksilar serta nilai LD₅₀ diharapkan dapat digunakan sebagai acuan peneliti ketika hendak menginduksi keragaman genetik kopi Arabika.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Siti Sawitri Fatimah dan Tri Buana Dewi yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

1. Meynarti Sari Dewi Ibrahim (Kontributor Utama)
2. Enny Randriani (Kontributor Anggota).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulhafiz, F., Kayat, F., & Zakaria, S. (2018). Effect of gamma irradiation on the morphological and physiological variation from In vitro individual shoot of banana cv. Tanduk (*Musa spp.*). *Journal of Plant Biotechnology*, 45(2), 140–145. <https://doi.org/10.5010/JPB.2018.45.2.140>
- Arrieta, N., Cespedes, R., & Barquero, M. (2018). Radiosensitivity Test on Gamma Irradiated *Coffea Arabica* Var. Venecia In Vitro Zygotic Embryos, 132–133. FAO/International Symposium on Plant Mutation Breeding and Biotechnology; Vienna(Austria); 27-23 Augustus 2018..
- Ashraf, M., Cheema, A. L., Rashid, M., & Zia-Ul-Qamar. (2003). Effect of gamma rays on M1 generation in Basmati rice. *Pak. J. Bot.*, 35(5), 791–795. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.464>
- Banerjee, A., Penna, S., Variyar, P. S., & Sharma, A. (2015). Gamma irradiation inhibits wound induced browning in shredded cabbage. *Food Chemistry*, 173, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.166>
- Cahyo, F. A., & Dinarti, D. (2015). Pengaruh iradiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan Protocorm Like Bodies anggrek *Dendrobium lasianthera* (JJ. Smith) secara in vitro. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 6(3), 177. <https://doi.org/10.29244/jhi.6.3.177-186>
- Christopher, H., Tan, G. Y., Daymond, A. J., Hadley, P., Machado, R. C. R., Ng, E., ... Adeigbe, O. O. (2013). Cacao's Relationship with Mesoamerican society. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 6(2), 157–170. <https://doi.org/10.1080/0028825x.2010.488786>
- Dada, K. E., Anagbogu, C. F., Forster, B. P., Muiyiwa, A. A., Adenuga, O. O., Olaniyi, O. O., & Bado, S. (2018). Biological effect of gamma irradiation on vegetative propagation of *Coffea arabica* L. *African Journal of Plant Science*, 12(6), 122–128. <https://doi.org/10.5897/ajps2016.1504>
- Datta, S. K. (2014). Induced Mutagenesis: Basic knowledge for technological success. In *Mutagenesis: exploring genetic diversity of crops*. Tomlekova, N., Kozgar, M. & Wani .M (Eds.), (pp. 97–140). Wageningen Academic Publishers.
- Datta, S. K. (2019). Determination of radiosensitivity: Prerequisite factor for induced mutagenesis. In *Harnessing Plant Biotechnology and Physiology to Stimulate Agricultural Growth* (pp. 39–54).
- Etienne, H. (2005). Somatic embryogenesis protocol: Coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* P.) In Jain SM, Gupta PK. (eds). Protocol for somatic embryogenesis in woody plants. In S. Mohan Jain & P. K. Gupta (Eds.), *Forestry Sciences* (7th ed.). https://doi.org/10.1007/1-4020-2985-3_14
- Ibrahim, M. S. D., Hartati, R. R. S., Rubiyono, Purwito, A., & Sudarsono. (2015). The induction of primary and secondary somatic embryo to support Arabica coffee propagation. *Journal of Tropical Crop Science*, 2(3), 6–13. <https://doi.org/10.29244/jtcs.2.3.6-13>
- Ibrahim, M. S. D., & Randriani, E. (2019). Response of embryogenic calli of Arabica coffee var. Kartika against gamma irradiation. *Book Abstracts, The Korean Society of Breeding Science and Society for the Advancement of the Breeding Research in Asia and Oceania International Conference on Plant Breeding for Sustainable Development 2 nd - 5 th July 2019*. Kimdaejung Convention Center Gwangju, Republic of Korea.
- Ibrahim, M. S. D., Randriani, E., Sari, L., & Nuraini, A. (2019). Radiosensitivitas kalus embriogenik kopi Robusta BP 436 terhadap iradiasi sinar gamma. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, 6(1), 41. <https://doi.org/10.21082/jtidp.v6n1.2019.p41-50>
- Imelda, M., Sari, L., & Wulansari, A. (2011). Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan dan perubahan fenotipe tunas in vitro lidah buaya (*Aloe vera*). *J. Tek. Ling*, 12(2), 153–160.
- Ismaini, L., Normasiwi, S., & Surya, M. I. (2018). Study on in vitro growth of rubus fraxinifolius mutant (m1) resulted from gamma-ray irradiation (60 Co). 6(2), 70–76. <https://doi.org/10.18196/pt.2018.082.70-76>
- Jain, S. Mohan. (2010). Mutagenesis in crop improvement under the climate change. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(SUPPL.2), 88–106.
- Jain, S.M., & Suprasanna, P. (2011). Induced mutations for enhancing nutrition and food production. *Geneconserve*, 40(June), 201 – 215.
- Kiong, A. L. P., Lai, A. G., Hussein, S., & Harun, A. R. (2008). Physiological responses of *Orthosiphon stamineus* plantlets to gamma irradiation. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, Vol. 2, pp. 135–149.
- Kovacs, E. and Keresztes, A. (2002) Effect of Gamma and UV-B/C Radiation on Plant Cell. *Micron*, 33, 199–210. [https://doi.org/10.1016/S0968-4328\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0968-4328(01)00012-9)

- Mba, C., Afza, R., Bado, S., & Jain, S. M. (2010). Induced mutagenesis in plants using physical and chemical agents. *Plant Cell Culture: Essential Methods*, (August 2018), 111–130. <https://doi.org/10.1002/9780470686522.ch7>
- Mbaye, G., Soumboundou, M., Diouf, L. A. D., Ndong, B., Djiboune, A. R., Sy, P. M., ... Diarra, M. (2017). Evaluation of the effects of irradiation of peanut grain by a gamma-ray beam on culture. *Open Journal of Biophysics*, 07(03), 94–100. <https://doi.org/10.4236/ojbiphy.2017.73008>
- Muthusamy, A., & Jayabalan, N. (2014). Radiation and chemical mutagen induced somaclonal variations through in vitro organogenesis of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *International Journal of Radiation Biology*, 90(12), 1229–1239. <https://doi.org/10.3109/09553002.2014.923589>
- Penna, S., & Jain, S. M. (2017). Mutant resources and mutagenomics in crop plants. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 29(9), 651–657. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2017.v29.i9.86>
- Quintana, V., Alvarado, L., Alvarado, L., Saravia, D., Saravia, D., Borjas, R., ... Gómez, L. (2019). Gamma radiosensitivity of coffee (*Coffea arabica* L. var. typica). *Peruvian Journal of Agronomy*, 3(2), 74. <https://doi.org/10.21704/pja.v3i2.1317>
- Rosmala, A., Khumaida, N., & Sukma, D. (2015). Perubahan morfologi dan pertumbuhan handeuleum (*Graptophyllum pictum* L. Griff.) akibat iradiasi sinar gamma. *J. Agron. Indonesia*, 43(3), 235–241.
- Royani, J. I., Purwito, A., & Sumaryono, W. (2012). Prosiding seminar nasional POKJANAS TOI XLII. Pengaruh Iradiasi Gamma Cobalt 60 Terhadap Karakter Morfologi Tanaman Obat Sambiloto (*Andrographis paniculata* (Burm.f) Wallich Ex Ness), 1, 63–76.
- Shahzad, S. M., Arif, M. S., Riaz, M., Ashraf, M., Yasmeen, T., Zaheer, A., ... Robroek, B. J. M. (2017). Interaction of compost additives with phosphate solubilizing rhizobacteria improved maize production and soil biochemical properties under dryland agriculture. *Soil and Tillage Research*, 174(October 2016), 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.004>
- Sianipar, N.F., Wantho, A., Rustikawati, & Maarisit, W. (2013). The effects of gamma irradiation on growth response of rodent tuber (*Typhonium flagelliforme* Lodd.) mutant in invitro culture. *HAYATI Journal of Biosciences*, 20(2), 51–56. <https://doi.org/10.4308/hjb.20.2.51>
- Soeranto, H. (2003). Peran iptek nuklir dalam pemuliaan tanaman untuk mendukung industri pertanian. *Teknologi Isotop Dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir*, 308–316. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM - BATAN Yogyakarta, 308 - 316.
- Suprasanna, P., Mirajkar, S. J., & Bhagwat, S. G. (2015). Induced mutations and crop improvement, in: Bir Bahadur, M.V. Rajam, Leela Sahijram, K.V. Krishnamurthy (Eds.), , Springer, 2015, pp. 593–618. In B. Bahadur, M. V. Rajam, K. V. Leela Sahijram, & Krishnamurthy (Eds.), *Plant Biology and Biotechnology* (1st ed., pp. 593–618). spinger.
- Tshilenge-Lukanda, L., Kalonji-Mbuyi, A., Nkongolo, C. K. K., & Kizungu, R. V. (2013). Effect of gamma irradiation on morpho-agronomic characteristics of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *American Journal of Plant Sciences*, 04(11), 2186–2192. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.411271>
- Yalindua, A., Setiawan, A., & Bintoro, H. M. H. (2014). The application of mutation induction by gamma irradiation on cultivars yam (*Dioscorea alata* L.) from banggai islands, *Indonesia of*. 5(2), 46–54.
- Yunita, R., Khumaida, N., Sopandie, D., & Mariska, I. (2016). Pengaruh iradiasi sinar gama terhadap pertumbuhan dan regenerasi kalus padi varietas Ciherang dan Inpari 13. *Jurnal AgroBiogen*, 10(3), 101. <https://doi.org/10.21082/jbio.v10n3.2014.p101-108>

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
 DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
 Volume 7, Nomor 3, November 2020

**ANALISIS ANTROPOMETRI DAN BIOMEKANIK PENGGUNAAN MESIN
 PEMANEN DAUN TEH TIPE GT 120 OCHIAI**

***ANALYSIS OF ANTHROPOMETRY AND BIOMECHANICS
 USE OF TEA LEAF HARVESTER MACHINE TYPE GT 120 OCHIAI***

* Andika Herianto Simarmata¹⁾, Kralawi Sita²⁾, Totok Herwanto¹⁾, Ahmad Thoriq¹⁾

¹⁾ **Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian,
 Universitas Padjadjaran**

Jl. Raya Bandung Sumedang Km.21, Hegarmanah, Jatinangor, Sumedang, Jawa Barat 45363 Indonesia

*andikasimarmata405@gmail.com

²⁾ **Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung**

Desa Mekar Sari, Kecamatan Pasirjambu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat 40972 Indonesia

(Tanggal diterima: 20 Juni 2020, direvisi: 5 September 2020, disetujui terbit: 27 November 2020)

ABSTRAK

Penerapan mekanisasi panen teh dapat meningkatkan produktivitas kerja, efisiensi biaya dan menekan jumlah kehilangan zat pati pada daun teh. Permasalahannya adalah mesin pemanen yang dioperasikan pada sebagian besar perkebunan teh di Indonesia merupakan produk impor. Operator mesin pemanen berpotensi mengalami gangguan kerangka, otot, dan saraf perifer yang disebut *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Penelitian ini bertujuan melakukan evaluasi desain mesin pemanen daun teh tipe GT 120 Ochiai berdasarkan antropometri operator dan menemukan postur kerja operator pada saat proses pemanenan daun teh yang perlu segera diperbaiki. Data antropometri dikumpulkan melalui pengukuran dimensi tubuh operator sedangkan data biomekanik dikumpulkan melalui rekaman video pergerakan kerja seluruh operator dalam mengoperasikan mesin dengan kemiringan lahan 5° – 10° dan kemiringan lahan 35°– 40° pada tinggi tanaman 75 cm hingga 110 cm. Analisis data dilakukan menggunakan metode REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) dan OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*). Hasil penelitian menunjukkan desain mesin pemanen daun teh tipe GT 120 Ochiai telah sesuai dengan antropometri operator. Hasil analisis REBA menunjukkan bahwa terdapat resiko kerja yang tinggi saat mengoperasikan mesin pemetik yaitu pada kondisi lahan dengan kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman diatas 100 cm dan pada saat memindahkan karung hasil panen ke tempat penampungan sementara. Sedangkan hasil analisis OWAS menunjukkan bahwa perlu dilakukan tindakan korektif sesegera mungkin yaitu posisi operator 3 dan operator 4 serta perlu dilakukan perubahan pada posisi operator 1 dan operator 2. Berdasarkan hasil analisis REBA dan OWAS, sebaiknya dilakukan pergantian shift kerja operator pada pengoperasian mesin dengan kemiringan lahan 35° – 40°.

Kata kunci: Antropometri; biomekanik; mesin pemanen daun teh; postur kerja

ABSTRACT

Application of tea harvest mechanization can increase work productivity, cost efficiency, and reduce the amount of starch loss in tea leaves. The problem is that the harvester machines that are operated in most tea plantations in Indonesia are imported. The harvester machine operators have the potential to experience skeletal, muscular, and peripheral nerve disorders called *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). This study aims to evaluate the design of the type GT 120 Ochiai tea leaf harvester machine based on operator anthropometry and to find the operator's working posture during the tea picking process that needs immediate improvement. Anthropometric data were collected through measurements of the operator's body dimensions, while biomechanical data were collected through video recordings of the work-movements of all operators in operating the machine with a land slope

of 5° – 10° and a land slope of 35°–40° at a plant height of 75 cm to 110 cm. Data analysis was performed using the REBA (Rapid Entire Body Assessment) and OWAS (Ovako Working Posture Analysis) methods. The results showed that the design of the type GT 120 Ochiai engine was in accordance with the operator's anthropometry. The results of REBA analysis show that there is a high work risk when operating the harvester machine, namely in the land conditions with a slope of 35° – 40° with a plant height above 100 cm and when moving the sacks of the harvest to a temporary shelter. Meanwhile, according to the results of the OWAS analysis, it is necessary to take corrective action as soon as possible, namely the position of operator 3 and operator 4 and it is necessary to change the position of operator 1 and operator 2. Based on the results of the REBA and OWAS analysis, it is better if the operator's work shift changes in machine operation with the slope of the land 35° – 40°.

Keywords: Anthropometry; biomechanics; tea leaf harvester machine; work posture

PENDAHULUAN

Tanaman teh merupakan salah satu komoditas unggulan ekspor perkebunan Indonesia. Volume ekspor teh Indonesia pada tahun 2018 mencapai 49.038 ton atau 34,97% dari total produksi teh dengan nilai yang mencapai US\$108,45 juta. Namun, selama periode 2010 – 2020 luas kebun teh terus mengalami penurunan dengan laju 1,28 % pertahun atau 1.386 hektar/tahun, yang tentunya berimplikasi pada penurunan produksi teh (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2019). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi teh adalah melalui penerapan mekanisasi panen. Rata-rata produksi pucuk teh petik menggunakan mesin (89,65 ton) lebih tinggi dibandingkan produksi pucuk teh petik menggunakan gunting (59,15 ton) (Kusumawati & Triaji, 2017). Hal ini karena kapasitas kerja mesin petik teh lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan gunting petik (Krisdiarto *et al.*, 2018; Ulla *et al.*, 2019).

Penggunaan mesin petik sebagai mekanisasi kegiatan pemetikan juga dapat menekan jumlah kehilangan zat pati pada daun, karena hasil petikan lebih rata dan halus dibandingkan dengan menggunakan gunting petik (Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, 2010). Selain itu, mekanisasi pemetikan teh dapat mengurangi biaya pemetikan, meningkatkan pendapatan petani dengan meningkatkan kualitas dan harga teh, dan mendukung pengembangan industri teh yang berkelanjutan (Han *et al.*, 2019).

Faktor yang berperan penting pada mekanisasi pemetikan teh adalah tenaga kerja atau operator mesin petik. Hal ini karena keterampilan dan pengalaman operator akan memengaruhi produktivitas dan kualitas hasil panen (Sita, 2019). Permasalahannya adalah mesin petik yang dioperasikan pada sebagian besar perkebunan teh di Indonesia merupakan produk impor. Hal tersebut memengaruhi interaksi antara operator dengan mesin pemetik teh yang berimplikasi pada kenyamanan, kesehatan, keamanan, dan keselamatan operator. Operator mesin petik berpotensi mengalami gangguan kerangka, otot, dan saraf perifer yang disebut *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Pada aktivitas pemanenan padi, MSDs terjadi di punggung atas dan bawah untuk pekerja manual, sedangkan pekerja

semimekanis terjadi pada punggung bawah dan kedua tangan. Elemen pengangkutan adalah aktivitas dengan postur terburuk (Mulyati *et al.*, 2019). MSDs terjadi karena kerja terus-menerus dan berulang pada postur yang buruk (Susanto *et al.*, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi desain mesin pemanen daun teh tipe GT 120 Ochiai berdasarkan antropometri operator dan menemukan postur kerja operator pada saat proses pemetikan teh yang perlu segera diperbaiki. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dalam menyempurnakan dan mengoptimalkan performa sistem dan mekanisme kerja mesin pemetik daun teh tipe GT 120 Ochiai yang dilaksanakan saat ini sehingga produktivitas kerja operator mesin pemetik daun teh dapat dioptimalkan.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Kegiatan penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli 2019 sampai dengan September 2019. Penelitian dilaksanakan di Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung Pasirjambu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat.

Alat, Bahan, dan Subjek Penelitian

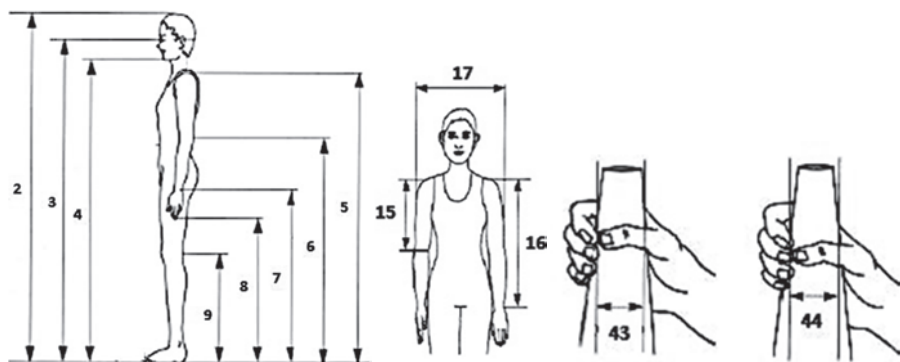
Mesin pemetik teh yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe GT 120 merk Ochiai yang memiliki dimensi (158 x 245 x 50) cm dan terdiri atas beberapa komponen mesin antara lain karburator, tombol *on-off*, blower, tangki bahan bakar, pisau pemotong dan tuas pengendali kecepatan pisau (Gambar 1)

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas pita ukur, *stopwatch*, *abney level*, timbangan, dan *smartphone*. Sedangkan bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas daun teh yang belum dipanen, dan bahan bakar.

Subjek yang diamati pada penelitian ini adalah seluruh operator mesin pemetik daun teh tipe GT 120 Ochiai yang berjumlah 5 orang. Seluruh operator tersebut telah memiliki pengalaman kerja sebagai operator mesin pemetik lebih dari 5 tahun.



Gambar 1. Mesin pemanen daun teh tipe GT 120 Ochiai
Figure 1. The tea leaf harvester type GT 120 Ochiai



Gambar 2. Cara pengukuran antropometri
Figure 2. Anthropometric measurements method

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data biomekanik dilakukan dengan mengambil data aktivitas operator dalam mengoperasikan mesin berupa foto dan video. Dokumentasi yang sudah didapat dianalisis menggunakan software *Ergofellow*. Data postur kerja yang diambil ialah posisi tubuh dan pergerakan kerja seluruh operator dalam mengoperasikan mesin dengan kemiringan $5^{\circ} - 10^{\circ}$ dan kemiringan $35^{\circ} - 40^{\circ}$ pada tinggi tanaman 75 cm hingga 110 cm.

Pengukuran antropometri dilakukan dengan membuat daftar parameter pengukuran tubuh, yang berkaitan dengan desain mesin pemetik daun teh. Tata cara pengukuran antropometri (Gambar 2) dan parameter pengukuran antropometri (Tabel 1) mengacu pada (Pheasant, 2003).

Tabel 1. Parameter pengukuran antropometri

Table 1. Anthropometric measurement parameters

No	Data yang diukur dalam posisi berdiri
1	Berat badan (kg)
2	Tinggi badan (cm)
3	Tinggi mata (cm)
4	Tinggi bahu (cm)
5	Tinggi siku tangan (cm)
6	Tinggi pergelangan tangan (cm)
7	Tinggi ujung tangan (cm)
8	Tinggi lutut (cm)
9	Tinggi telapak tangan (cm)
15	Jangkauan tangan keatas menggenggam (cm)
16	Panjang lengan atas (cm)
17	Panjang lengan (cm)
43	Diameter gengaman tangan sampai jari telunjuk (cm)
44	Diameter gengaman tangan sampai jari tengah (cm)

Pengolahan dan Analisis Data

1. Analisis Antropometri

Data antropometri yang dikumpulkan selanjutnya dihitung rata-rata, standar deviasi dan persentil ke-5, ke-50, dan ke-95 menggunakan persamaan (Pheasant, 2003) berikut:

$$X_{\text{persentil}} = x + sz \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

s = standar deviasi

z = z-score (nilai z)

Nilai z merupakan nilai faktor perkalian yang akan digunakan untuk suatu persentil yang telah ditetapkan sebelumnya sehingga dapat diketahui nilai faktor perkalian tersebut hanya dengan melihat dari tabel nilai z (Tabel 2).

Tabel 2. Nilai z

Table 2. Z-score

Persentil	z
5	-1.64
50	0.00
95	1.64

2. Analisis Biomekanik

Data biomekanik dianalisis menggunakan metode REBA (*Rapid Entry Body Assesment*) dan OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*). Pemilihan metode REBA didasarkan pada karakteristik aktivitas panen teh yang memiliki tipe postur kerja yang tidak dapat diprediksi dan hasil skor REBA dapat menunjukkan resiko dan pentingnya tindakan yang perlu dilakukan, sedangkan penggunaan metode OWAS karena skor masing-masing bagian tubuh dapat digunakan untuk studi epidemiologi.

Analisis data menggunakan metode REBA diawali dengan menentukan postur kerja dari hasil rekaman dengan sudut pekerja dan menentukan berat badan, coupling dan aktivitas selanjutnya dilakukan perhitungan skor REBA berdasarkan tabel REBA dan mengelompokkan ke action level (Tabel 3) (Sanjaya, 2002).

Tabel 3. Tingkat tindakan menurut REBA

Table 3. Action level according to REBA

Tingkat tindakan	Skor REBA	Tingkat resiko	Tindakan
0	1	<i>Negligible</i>	<i>non necessary</i>
1	2-3	<i>Low</i>	<i>Maybe necessary</i>
2	4-7	<i>Medium</i>	<i>Necessary</i>
3	8-10	<i>High</i>	<i>Necessary soon</i>
4	11-15	<i>Very High</i>	<i>Necessary now</i>

Analisis postur kerja menggunakan OWAS dilakukan dengan menganalisis hasil rekaman dengan memberikan kode tiap postur kerja, menghitung dan mengelompokkan nilai kode berdasarkan kategori OWAS (Tabel 4) (Ojanen et al., 2000).

Tabel 4. Tingkat kategori menurut OWAS

Table 4. Category levels according to OWAS

Kategori	Aksi
1	Bisa diterima jika tidak berulang dan periode lama
2	Perlu pemeriksaan lanjutan dan perubahan-perubahan
3	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan segera
4	Pemeriksaan dan perubahan perlu dilakukan sangat segera

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lokasi Penelitian

Pusat Penelitian Teh dan Kina (PPTK) didirikan pada tanggal 10 Januari 1973 yang terletak di Gambung, Pasirjambu, Kabupaten Bandung, Jawa Barat. Sarana dan prasarana PPTK Gabung terdiri dari beberapa jenis yaitu: pabrik, laboratorium dan kantor, rumah kaca serta lahan kebun dengan total luas 636,11 ha (Gambar 3). Laboratorium terdiri dari 8 bidang keilmuan, yaitu: laboratorium pelayanan, tanah, teknologi hasil. Penyakit tanaman, pemuliaan tanaman, agrokimia, kimia analitik, dan fisiologi tanaman dengan total luas 885 m². Rumah kaca terdiri dari 3 peruntukan, yaitu: penyakit dan hama tanaman, tanah dan nutrisi tanaman, dan pemuliaan dengan total luas sebesar 320 m².



Gambar 3. Peta kebun Pusat Penelitian Teh dan Kina, Gambung.
Figure 3. Map of the Research Institute for Tea and Cinchona, Gambung.



Gambar 4. Kondisi tanaman teh
Figure 4. Condition of tea plants

Tanaman teh yang diteliti pada penelitian ini terletak pada wilayah Blok 4 (B4) dengan elevasi 1.561 meter diatas permukaan laut dan Blok 7 (B7) dengan elevasi 1.520 meter diatas permukaan laut. Tinggi tanaman teh pada B4 berkisar 68 cm hingga 82 cm, dan pada B7 tinggi tanaman teh 110 cm (Gambar 4).

Tinggi tanaman tersebut sudah memenuhi syarat untuk dipanen, hal ini dikarenakan sudah melebihi 60–75 cm (Effendi *et al.*, 2010). Kemiringan lahan pada B4 beraneka macam, yaitu pada lahan 1 terdiri dari 18 baris dengan luas lahan 1.485 m² memiliki kemiringan 30°, lahan 2 terdiri dari 15 baris tanaman teh dengan luas lahan 1.485 m² memiliki kemiringan 39°, lahan 3 terdiri 14 baris tanaman teh dengan luas lahan 1.485 m² memiliki kemiringan 36°, dan lahan 4 terdiri dari 12 baris tanaman teh dengan luas

lahan 1.515 m² memiliki kemiringan lahan 38°. Sedangkan pada lahan B7 relatif lebih datar dan lebih kecil dibandingkan dengan lahan pada B4, lahan pada B7 terdiri dari 14 baris tanaman teh dengan luas lahan 1.008 m² memiliki kemiringan lahan 16°.

Analisis Antropometri

Data antropometri pada penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi dimensi mesin pemetik daun teh tipe GT 120 merk Ochiai yang berhubungan langsung dengan dimensi tubuh operator ketika menggunakan mesin. Pengukuran antropometri dilakukan pada 5 operator mesin pemetik daun teh wilayah Gambung selatan. Hasil pengukuran antropometri operator (Tabel 5) merupakan data yang terkait dengan desain mesin pemetik teh.

Tabel 5. Data antropometri operator
Table 5. Operator anthropometric data

Dimensi Tubuh	Rerata $\pm$ SD	Persentil		
		5	50	95
Berat Badan (BB)	55,00 $\pm$ 3,24	51,60	55,00	59,00
Tinggi Badan (TBb)	161,80 $\pm$ 5,07	157,40	160,00	168,60
Tinggi Mata (TMb)	149,80 $\pm$ 6,38	141,40	153,00	155,40
Tinggi Bahu (TB)	130,20 $\pm$ 3,90	125,20	130,00	133,80
Tinggi Siku Tangan (TSTb)	101,80 $\pm$ 1,79	99,60	102,00	103,60
Tinggi Pergelangan Tangan (TPT)	77,20 $\pm$ 2,28	75,20	77,00	80,20
Tinggi Ujung Tangan (TUT)	60,10 $\pm$ 3,21	57,40	59,00	64,40
Tinggi Siku Kaki (TSK)	46,20 $\pm$ 3,56	41,80	46,00	49,80
Tinggi Telapak Tangan (TTT)	72,80 $\pm$ 2,77	70,20	72,00	76,40
Panjang Lengan Atas (PLA)	27,60 $\pm$ 2,30	25,20	28,00	30,40
Panjang Lengan (PL)	51,80 $\pm$ 3,42	49,00	50,00	55,80
Keliling Genggaman Tangan (KGT)	17,62 $\pm$ 3,07	14,68	18,35	21,29
Diameter Genggaman Tangan (DGT)	4,80 $\pm$ 0,84	4,00	5,00	5,80

Data antropometri operator tersebut selanjutnya dibandingkan dengan dimensi mesin pemetik dengan tujuan untuk melihat kesesuaian pemakaian mesin oleh operator berdasarkan dimensi tubuh. Berdasarkan parameter pada Tabel 5, nilai persentil yang diperhitungkan dalam analisis antropometri adalah persentil 5. Hal tersebut menunjukkan bahwa 5% populasi operator mesin pemetik teh memiliki genggaman tangan dengan ukuran yang kecil sehingga operator mesin pemetik teh yang memiliki genggaman tangan yang lebih besar akan merasa nyaman dalam mengoperasikan mesin pemetik teh. Bila digunakan persentil 50 atau persentil 95 maka operator mesin pemetik teh dengan ukuran genggaman tangan yang kecil akan merasa tidak nyaman dalam mengoperasikan mesin pemetik teh (Syuaib, 2015). Data dimensi mesin pemetik secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Dimensi mesin pemanen daun teh tipe GT 120 Ochiai

Table 6. Dimensions of type GT 120 Ochiai tea leaf harvester machine

Parameter	Nilai
Diameter tuas kendali mesin	4 cm
Berat mesin	13,5 kg
Dimensi mesin (P x L x T)	158 x 245 x 50 cm
Lebar kliping	121 cm

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6 terlihat bahwa operator dapat menggenggam tuas kendali karena diameter tuas kendali (4 cm) sama dengan dengan rata-rata diameter genggaman tangan operator pada persentil 5 yaitu 4,0 cm. Menurut Dul & Weerdmeester (2008), jika tangan melakukan pekerjaan yang cukup berat, maka kenyamanan yang baik dalam menggenggam suatu batang yang memiliki diameter 3 cm.

Bila dilihat dari berat mesin pemetik daun teh yaitu 13,5 kg dan berat tubuh operator pada persentil 5 yaitu 51,5 kg maka operator masih merasa nyaman dalam mengoperasikan mesin pemetik karena menurut Kroemer & Grandjean (1997), kemampuan manusia mengangkat beban pada posisi tangan sejajar tubuh adalah 100% dari berat tubuh sedangkan pada posisi tangan membentuk sudut 15° adalah 30% dari berat tubuhnya. Hal tersebut menunjukkan operator tidak mengalami kesulitan dalam mengangkat mesin pemetik teh. Selain itu proses pengangkatan mesin pemetik teh dilakukan oleh 2 orang.

Pada proses pengoperasian mesin pemetik, operator juga tidak mengalami kesulitan. Hal ini karena tinggi badan operator pada persentil 5 adalah 157,40 cm masih dalam batas aman ketika mengoperasikan mesin pada blok dengan tinggi tanaman teh berkisar antara 75 cm-110 cm. Menurut Dewi *et al.* (2015), ukuran tubuh pemanen persentil 5 memiliki kondisi yang lebih sulit (ekstrim) pada saat proses pemanenan.



Gambar 5. Posisi operator mesin pemanen daun teh pada saat proses pemanenan
Figure 5. The position of the tea leaf harvester machine operator during the harvesting process



Gambar 6. Posisi operator saat mengangkat mesin
Figure 6. The position of the operator when lifting the machine

Posisi operator mesin pemetik teh pada saat proses pemanenan

Pengoperasian mesin pemetik teh dilakukan oleh 4 orang operator yang mempunyai peran yang berbeda. Pada saat proses panen teh, operator 1 dan 2 berada pada bagian depan yang bertugas mengangkat dan menarik mesin pemetik daun teh sesuai dengan jalur panen. Operator 3 berada pada bagian belakang yang bertugas menjaga hasil panen agar tetap berada pada penampung sedangkan operator 4 bertugas mengangkut hasil panen ke Tempat Penampungan Sementara (TPS) hasil panen (Gambar 5).

Elemen kerja pada aktivitas panen teh menggunakan mesin pemetik daun teh

Terdapat 3 (tiga) elemen kerja pada aktivitas panen teh menggunakan mesin pemetik daun teh yaitu mengangkat mesin, mengoperasikan mesin dan mengangkut hasil panen. Pengamatan tiap elemen kerja dilakukan dengan mengambil data berupa dokumentasi foto dan video secara langsung di lahan kebun,

selanjutnya hasil pengamatan diolah dalam *Software Ergofellow*. Deskripsi tiap elemen kerja dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengangkat mesin

Mesin pemetik daun teh tipe 120 merk Ochiai memiliki berat 13,5 kg dengan panjang 158 cm, lebar 245 cm dan tinggi 50 cm. Mesin tersebut diangkat dari gudang penyimpanan ke lahan kebun sebelum proses panen dilakukan (Gambar 6).

2. Pengoperasian mesin

Pengoperasian mesin pemetik daun teh dilakukan pada beberapa tinggi tanaman dan kemiringan lahan kebun teh. Posisi operator saat pengoperasian mesin pemetik daun teh pada ketinggian tanaman 75 cm – 80 cm dengan kemiringan lahan 5° – 10°, dan kemiringan 35°–40° (Gambar 7). Sedangkan posisi operator saat pengoperasian mesin pemetik daun teh pada ketinggian tanaman lebih dari 100 cm dengan kemiringan lahan 5°– 10°, dan kemiringan 35°–40° (Gambar 8).



Gambar 7. Kondisi operator saat mengoperasikan mesin pada tinggi tanaman 75 cm – 80 cm (a) kemiringan 5° – 10°, (b) kemiringan 35° – 40°

Figure 7. The condition of the operator when operating the machine at a plant height of 75 cm - 80 cm (a) slope of 5° – 10°, (b) slope of 35° – 40°



Gambar 8. Kondisi operator saat mengoperasikan mesin pada tinggi tanaman lebih dari 100 cm (a) kemiringan 5° – 10°, (b) kemiringan 35° – 40°

Figure 8. The condition of the operator when operating the machine at a plant height of more than 100 cm (a) slope of 5° – 10°, (b) slope of 35° – 40°

Berdasarkan Gambar 7 terlihat bahwa pada proses panen posisi operator 1 memegang mesin pemetik menggunakan 1 tangan sedangkan operator 2 menggunakan 2 tangan. Proses pemanen teh menggunakan mesin pemetik pada ketinggian tanaman lebih dari 100 cm (Gambar 8) menunjukkan bahwa posisi mesin pemetik teh harus sedikit diangkat oleh operator 1 dan operator 2. Sedangkan operator 3 berperan memegang teh hasil potongan yang tertampung pada kain dibagian belakang mesin.

3. Pengangkutan hasil panen

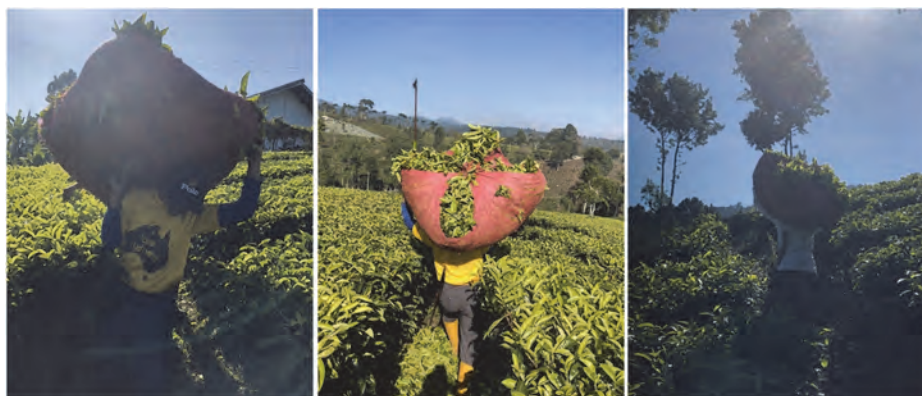
Teh petikan hasil panen yang telah ditampung pada waring diangkat dari kebun tempat pengoperasian mesin ke tempat pengumpulan hasil (TPS). Pengangkutan dilakukan dengan cara memanggul hasil panen dengan melewati jalan pada kondisi kemiringan yang berbeda sesuai dengan kondisi kemiringan kebun (Gambar 9).

Semakin miring jalan yang dilalui selama proses pengangkutan hasil maka beban kerja yang diterima

pemanen akan semakin besar. Berat teh hasil panen yang diangkut ke tempat pengumpulan hasil adalah berkisar antara 40 kg – 45 kg sedangkan berat pemanen pada persentil 5 adalah 51,6 kg. Menurut Kroemer & Grandjean (1997), kemampuan pekerja mengangkat beban maksimal dengan cara dipanggul adalah 130% dari berat tubuhnya. Hal ini berarti proses pengangkutan hasil panen teh ke tempat pengumpulan hasil masih di bawah ambang batas yang diperbolehkan.

Analisis Biomekanik Menggunakan Metode REBA (*Rapid Entire Body Assessment*)

Hasil analisis REBA menunjukkan bahwa terdapat beberapa postur kerja operator dengan resiko sedang dan resiko tinggi (Tabel 7). Menurut Restuputri *et al.* (2017), beberapa keluhan yang sering dialami pekerja yang termasuk dalam resiko sedang antara lain sakit di punggung, sakit pinggang, sakit lengan bawah dan sakit pada betis. Sedangkan pada resiko tinggi adalah gangguan kerangka, otot dan saraf perifer yang disebut *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) (Susanto *et al.*, 2017).



Gambar 9. Pengangkutan hasil panen ke tempat pengumpulan hasil
Figure 9. Transportation of crops to the point of collection

Tabel 7. Hasil analisis postur kerja operator menggunakan metode REBA
Table 7. The results of the operator's work posture analysis using the REBA method

Parameter	Hasil kode REBA	Kategori
Operator mengangkat mesin	5	Beresiko sedang
Operator 1 dan 2 mengoperasikan mesin pada kemiringan 05° – 10° dengan tinggi tanaman 75 cm – 80 cm.	5	Beresiko sedang
Operator 1 dan 2 mengoperasikan mesin pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman 75 cm – 80 cm	5	Beresiko sedang
Operator 1 dan 2 mengoperasikan mesin pada kemiringan 5° – 10° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm.	6	Beresiko sedang
Operator 1 dan 2 mengoperasikan mesin pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm.	9	Beresiko tinggi
Operator 3 pada kemiringan 5° – 10° dengan tinggi tanaman 75 cm – 80 cm.	4	Beresiko sedang
Posisi Operator 3 pada kemiringan 5° – 10° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm	5	Beresiko sedang
Posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman 75 cm – 80 cm.	5	Beresiko sedang
Posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm	7	Beresiko sedang
Posisi operator 4 pada saat memindahkan karung ke TPS dengan kemiringan 5° – 10°.	7	Beresiko sedang
Posisi operator 4 pada saat memindahkan karung ke TPS dengan kemiringan 35° – 40°.	10	Beresiko tinggi

Berdasarkan Tabel 7, terlihat beberapa pekerjaan dengan resiko sedang dan resiko tinggi. Besarnya resiko kerja yang dialami operator dapat dilihat dari postur kerja dimana posisi sudut siku terhadap lengan tangan operator 1 pada proses panen di kemiringan lahan 5° – 10° adalah 120°, sedangkan posisi sudut siku terhadap lengan tangan operator 1 pada proses panen di kemiringan lahan 35° – 40° mencapai 180°. Menurut Openshaw & Taylor (2007), posisi sudut siku terhadap lengan tangan operator 1 pada proses panen di kemiringan lahan 5° – 10° termasuk dalam zona 2 (zona kuning) atau resiko sedang, yaitu zona dimana terdapat banyak posisi tubuh yang ekstrim. Pada zona ini terdapat lebih besar tekanan pada otot dan sendi.

Pada proses panen di kemiringan lahan 35° – 40°, posisi sudut siku terhadap lengan tangan operator 1 termasuk dalam kategori zona 3 (zona merah) atau resiko tinggi, yaitu zona dimana terdapat sangat banyak posisi tubuh yang ekstrim, sebaiknya dihindari jika memungkinkan, terutama ketika mengangkat beban berat atau kegiatan yang dilakukan berulang-ulang (Openshaw & Taylor, 2007). Pada posisi tubuh ekstrim

yang dilakukan secara terus-menerus dan berulang-ulang maka akan mengalami gangguan kerangka, otot, dan saraf perifer yang disebut *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) (Susanto *et al.*, 2017). Beban kerja yang diterima operator 1 dan operator 2 saat mengoperasikan mesin panen teh pada lahan dengan kemiringan 35° – 40° dan tinggi tanaman lebih dari 100 cm lebih berat karena operator mengalami kesulitan dalam mengoperasikan mesin yang menyebabkan nilai score REBA sebesar 9 (Tabel 8). Berdasarkan data antropometri, tinggi operator pada persentil 5 adalah 157,40 cm dengan tinggi siku operator sebesar 99,6 cm. Hal tersebut berarti pada ketinggian tanaman teh yang lebih tinggi dari siku operator tersebut, operator harus sedikit mengangkat mesin sehingga membentuk sudut siku terhadap lengan tangan lebih kecil dari 90° padahal menurut Kroemer & Grandjean (1997) menyebutkan bahwa gaya momen paling besar pada siku yang membengkok kedalam (fleks) berada pada sudut gerak antara 90° dan 120°. Menurut Nurmiyanto (2004), yang menyatakan bahwa persendian merupakan titik kritis dalam setiap pergerakan. Pada bagian ini, beban atau tekanan ditransmisikan. Tubuh manusia

terdiri dari banyak penghubung (*link*) yang dibatasi oleh sendi-sendi. *Link* lengan bawah dibatasi sendi pergelangan tangan dan siku. Menurut Dewi *et al.*, (2015), pada saat mengangkat dan menarik mesin pemetik ketika proses panen, otot *branchioradialis* melakukan fleksi yang sangat kuat karena otot ini merupakan otot *superficial* pada sisi radial (sisi ibu jari), siku dan lengan bawah yang berhubungan dengan otot *fleksor jari superficialis* yang berfungsi untuk melakukan fleksi di keempat jari dan pergelangan tangan.

Nilai score REBA sebesar 9 menunjukkan *high risk* (resiko tinggi), dimana hasil ini menyatakan bahwa perlunya perbaikan sistem kerja pada aktivitas panen dengan kemiringan 35° – 40° dan tinggi tanaman diatas 100 cm. Perbaikan sistem kerja tersebut dapat dilakukan melalui sistem rotasi kerja, dan pembatasan waktu kerja khususnya pada lahan panen dengan resiko kerja yang tinggi.

Postur kerja lainnya dengan resiko tinggi adalah pada saat operator 4 pada memindahkan karung ke tempat penampungan hasil (TPS) dengan kemiringan 35°–40°. Hasil analisis REBA saat operator 4 memindahkan karung hasil panen ke TPS dengan kemiringan 35° – 40° memperlihatkan bahwa total skor

akhir REBA adalah 10 (Tabel 9) yang menunjukkan aktivitas tersebut termasuk dalam kategori resiko tinggi.

Berdasarkan Tabel 9 tingginya skor REBA dihasilkan dari posisi lengan atas yang berada 45° - 90° di depan tubuh, posisi tengkuk leher dan nilai beban lebih dari 10 kg. berdasarkan pengukuran, beban yang harus operator angkut dengan cara dipanggul adalah 40 kg – 45 kg. Kondisi jalan yang miring menyebabkan beban kerja semakin berat. Hasil kuisioner *Nordic Body Map* yang diberikan kepada operator 4 yang mengeluh pada bahu kanan dan pada pinggang, dan pada bahu kiri yang mengeluh sangat sakit. Hal tersebut selaras dengan hasil penelitian yang dilakukan Nur *et al.* (2016) yang menyatakan bahwa sebagian besar pemanen tebu mengalami keluhan atau rasa tidak nyaman pada bagian leher, bahu, punggung, tangan dan kaki. Hal ini diakibatkan para pekerja sering melakukan sikap kerja membungkuk baik pada saat menebang, mengumpulkan maupun menaikkan tebu ke truk. Selain itu berat tebu yang diangkat oleh pekerja mencapai di atas 50 kg dan dilakukan tanpa menggunakan alat bantu apapun. Menurut Kurniawidjaja (2012), beban yang berat berisiko menimbulkan iritasi, inflamasi, kelelahan otot serta kerusakan otot, tendon, dan jaringan sekitarnya.

Tabel 8. Hasil analisis REBA pada operator 1 dan operator 2 saat mengoperasikan mesin panen teh pada kemiringan lahan 35° – 40° dengan tinggi tanaman diatas 100 cm.

Table 8. The results of REBA analysis on operator 1 and operator 2 when operating the tea harvesting machine on a land slope of 35° – 40° with plant heights above 100 cm.

Parameter	Kode REBA	Keterangan
Posisi leher	2	Tegak, tidak menunduk lebih dari 20°
Posisi tengkuk	3	Menunduk dari 0° - 20°
Posisi kaki	2	Posisi berjalan dengan 1 kaki tumpuan (lebih dari 60°)
Nilai beban	3	Lebih dari 10 kg
Posisi lengan atas	4	Berada 45° - 90° di depan tubuh
Posisi lengan bawah	1	Pergerakan lengan diatas 100°
Posisi pergelangan tangan	2	Berada pada 15° keatas dan kebawah
Nilai <i>coupling</i>	1	Kondisi baik
Nilai aktifitas	2	Tindakan rentang kecil yang diulang (lebih dari 4x per menit)
Nilai akhir REBA	9	Resiko Tinggi

Tabel 9. Hasil analisis REBA saat operator 4 pada memindahkan karung hasil panen ke TPS dengan kemiringan 35° – 40°.

Table 9. Results of REBA analysis when operator 4 moves the harvest sacks to TPS with a slope angle of 35° – 40°.

Parameter	Kode REBA	Keterangan
Posisi leher	2	Tegak, tidak menunduk lebih dari 20°
Posisi tengkuk	3	Merunduk, dengan kemiringan sampai 20°
Posisi kaki	2	Posisi berjalan dengan 1 kaki tegak (lebih dari 60°)
Nilai beban	3	Lebih dari 10 kg
Posisi lengan atas	5	Berada 45° - 90° di depan tubuh
Posisi lengan bawah	2	Pergerakan lengan bawah berada pada 60° - 100°
Posisi pergelangan tangan	1	Berada pada 15° keatas dan kebawah
Nilai <i>coupling</i>	1	Kondisi baik
Nilai aktifitas	2	Tindakan rentang kecil yang diulang (lebih dari 4x per menit)
Nilai akhir REBA	10	Resiko Tinggi

Tabel 10. Hasil analisis postur kerja operator menggunakan metode OWAS
Table 10. The results of the operator's work posture analysis using the OWAS method

Parameter	Hasil kode OWAS	Kategori
Posisi operator 1 dan operator 2 pada kemiringan 35° – 40° dengan Tinggi Tanaman Kisaran 75 cm – 80 cm	1	Tidak diperlukan tindakan perubahan
Posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman kisaran 75 cm – 80 cm	1	Tidak diperlukan tindakan perubahan
Posisi operator 1 dan operator 2 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm.	2	Diperlukan tindakan perubahan
Posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm	3	Tindakan korektif harus dilakukan sesegera mungkin
Posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 5° – 10°.	1	Tidak diperlukan tindakan perubahan
Posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 35° – 40°.	3	Tindakan korektif harus dilakukan sesegera mungkin

Tabel 11. Posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman diatas 100 cm
Table 11. Position of operator 3 on a slope of 35° – 40° with plant heights above 100 cm

Parameter	Kode OWAS	Keterangan
Sikap punggung	4	Bengkok dan berputar
Sikap lengan	2	1 lengan berada di atas bahu
Sikap kaki	3	Berdiri dengan 1 kaki tegak lurus
Beban kerja	1	Beban di bawah 10 kg
Final Score OWAS	3	Tindakan korektif harus dilakukan sesegera mungkin

Analisis biomekanik menggunakan metode OWAS (*Ovako Working Posture Analysis System*)

Analisis OWAS dilakukan untuk mengetahui tindakan yang perlu dilakukan pada operator saat pengoperasian mesin pemetik teh. Hasil analisis OWAS (Tabel 10) menunjukkan bahwa posisi Operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm dan posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 35° – 40° harus segera dilakukan tindakan perubahan posisi tubuh saat bekerja.

Terdapat dua postur kerja operator saat aktivitas pemanenan teh yang perlu dilakukan tindakan korektif sesegera mungkin yaitu posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman diatas 100 cm dan posisi operator 4 yaitu mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 35° – 40°. Sedangkan posisi operator 1 dan operator 2 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm perlu dilakukan perubahan (Tabel 10).

Sikap kerja operator 3 ketika mengoperasikan mesin pemetik daun teh pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm yang paling berpengaruh terhadap skor OWAS adalah posisi punggung yang bengkok (membungkuk) dan berputar (Tabel 11).

Berdasarkan hasil analisis OWAS, walaupun operator 3 mengangkat beban yang lebih rendah dibandingkan dengan operator 1 dan 2, namun posisi

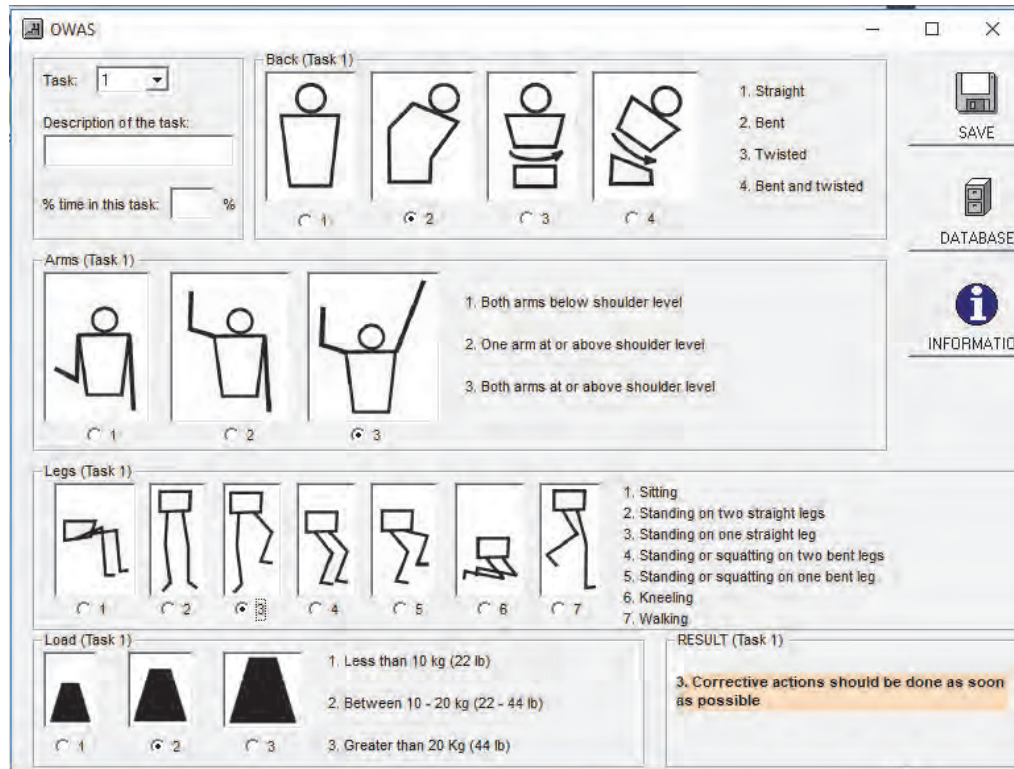
operator 3 dengan tubuh bengkok dan berputar juga posisi kaki dengan 1 tumpuan menjadi salah satu tindakan yang dapat menimbulkan resiko. Hasil analisis OWAS pada operator 3 saat panen di lahan dengan kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman diatas 100 cm (Gambar 10). Menurut Helander (2006), pada saat mengangkat beban dengan membungkuk, gaya dari beban yang diangkat menjadi sepuluh kali lebih besar dirasakan pada tulang belakang. Sedangkan Astuti & Suhardi (2007) dan Priyambada & Suharyanto (2018) menyatakan bila kegiatan membungkuk yang dilakukan dengan pengangkatan beban yang berat dapat menimbulkan *slipped disc*, yaitu rusaknya bagian *vertebratal disc* akibat kelebihan beban pengangkatan.

Postur kerja yang harus segera dilakukan tindakan korektif adalah pada operator 4 ketika mengangkat waring berisi daun teh hasil pemetikan ke TPS pada kemiringan lahan 35° – 40°. Sikap kerja posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan lahan 35° – 40° yaitu sikap punggung bengkok, kedua lengan di atas bahu, dan beban lebih dari 20 kg (Tabel 12).

Berdasarkan hasil analisis OWAS hal yang menimbulkan resiko ialah posisi operator 4 dengan sikap punggung yang bengkok karena mengangkat beban yang mencapai 40 kg – 45 kg pada kemiringan lahan yang tinggi (Gambar 11).

Tabel 12. Posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan lahan 35° – 40°
Table 12. Position of operator 4 picking up the harvest at slope of 35° – 40°

Parameter	Kode OWAS	Keterangan
Sikap punggung	2	Bengkok
Sikap lengan	3	Kedua lengan di atas bahu
Sikap kaki	3	Berdiri dengan 1 kaki ditekuk
Beban kerja	3	Beban lebih dari 20 kg
Final Score OWAS	3	Tindakan korektif harus dilakukan sesegera mungkin



Gambar 10. Hasil analisis OWAS pada operator 4 saat mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 35° – 40°.
Figure 10. The results of the OWAS analysis on operator 4 when picking up the harvest at a slope of 35° – 40°.

Postur punggung membungkuk menyebabkan tulang punggung bergerak ke sisi depan tubuh. Otot bagian perut dan sisi depan intervertebral disk pada bagian lumbar mengalami penekanan. Pada bagian ligamen sisi belakang dari *intervertebral disk* justru mengalami peregangannya atau pelenturan sehingga dapat menyebabkan *slipped disk* saat mengangkat beban berlebih dan keluarnya material pada *intervertebral disk* akibat desakan tulang belakang pada lumbar (Astuti & Suhardi, 2007; Priyambada & Suharyanto, 2018)

KESIMPULAN

Berdasarkan data antropometri operator, desain mesin tipe GT 120 merk Ochiai telah sesuai dengan karakteristik pemanen teh. Operator dapat menggenggam tuas kendali karena diameter tuas kendali

(4 cm) lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata diameter genggam tangan operator yaitu 4,8 cm. Selain itu, operator tidak kesulitan dalam mengoperasikan mesin pemetik daun teh karena rata-rata tinggi badan operator yaitu 161,8 cm masih dalam batas yang aman ketika mengoperasikan mesin pada blok pada tinggi tanaman teh berkisar antara 75 cm - 110 cm.

Berdasarkan hasil analisis REBA menunjukkan bahwa terdapat pekerjaan dengan resiko kerja tinggi yaitu pada saat operator 1 dan 2 mengoperasikan mesin pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm dan pada saat operator 4 pada saat memindahkan karung teh hasil petikan ke TPS dengan kemiringan 35° – 40°.

Berdasarkan hasil analisis OWAS terdapat dua postur kerja operator saat aktivitas pemanenan teh yang perlu dilakukan tindakan korektif seperti penerapan

sistem rotasi kerja yang harus dilakukan sesegera mungkin yaitu posisi operator 3 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm dan posisi operator 4 mengangkat hasil pemetikan pada kemiringan 35° – 40°. Beberapa tindakan kolektif yang dapat dilakukan antara lain penerapan sistem rotasi kerja. Sedangkan posisi operator 1 dan operator 2 pada kemiringan 35° – 40° dengan tinggi tanaman di atas 100 cm perlu dilakukan perubahan posisi tubuh saat bekerja terutama pada sikap punggung dan sikap lengan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh Direksi dan staf Pusat Penelitian Teh dan Kina Gambung yang telah membantu dalam menyelesaikan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R., & Suhardi, B. (2007). Analisis postur kerja manual material handling menggunakan metode OWAS (Ovako Work Postur Analysis System). *Jurnal Gema Teknik*, 10(1), 67–75.
- Dewi, N. S., Syuaib, M. F., & Saulia, L. (2015). Desain model diagnostik resiko ergonomi pada pemanenan kelapa sawit secara manual. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 3(1), 17 – 24.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2019). *Statistik Perkebunan Indonesia 2018 – 2020 : teh*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Dul, J., & Weerdmeester, B. (2008). *Ergonomics for beginners: a quick reference guide*. CRC Press.
- Effendi, D., Syakir, M., Yusron, M., & Wiratno. (2010). *Budi Daya dan Pascapanen Teh*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Han, Y., Xiao, R. H., Song, Y. Z., & Ding, Q. W. (2019). Design and evaluation of tea-plucking machine for improving quality of tea. *Applied Engineering in Agriculture*, 35(6), 979–986. <https://doi.org/10.13031/aea.13116>
- Helander, M. (2006). *Human factors and ergonomics*. Taylor & Francis Publishing Inc.
- Krisdiarto, A. W., Ambarita, R. F., & Supriyanto, G. (2018). Perbandingan kinerja dan kenyamanan penggunaan mesin petik teh e-tem collection box dan gunting petik the (Camelia sinensis (l) o. Kuntze). *Prosiding Seminar Instiper 19 September 2018*.
- Kroemer, K. H. E., & Grandjean, E. (1997). *Fitting the task to the human* (5 th). Taylor and Francis.
- Kurniawidjaja, L. (2012). *Teori dan aplikasi kesehatan kerja*. UII Press.
- Kusumawati, A., & Triaji, A. (2017). Perbandingan penggunaan mesin petik dan petik tangan terhadap hasil produksi pucuk teh (Camellia sinensis (L.) O. Kuntze) di Perkebunan Kayu Aro PTPN VI Kabupaten Kerinci Jambi. *Jurnal Agroteknose*, 8(2), 36–44.
- Mulyati, G. T., Maksum, M., Purwantana, B., & Ainuri, M. (2019). Ergonomic risk identification for rice harvesting worker. *The 3rd International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 311, 012032. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012032>
- Nur, R. F., Lestari, R., & Mustaniroh, S. A. (2016). Analisis Postur Kerja pada Stasiun Pemanenan Tebu dengan Metode OWAS dan REBA, Studi Kasus di PG Kebon Agung, Malang Working Posture Analysis on Sugar Cane Harvesting Station Using OWAS and REBA, a Case Study in PG Kebon Agung, Malang. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Agroindustri*, 5(1), 39–45.
- Nurmianto, E. (2004). *Ergonomi konsep dasar dan aplikasinya* (Ed. 2). Guna Widya.
- Ojanen, K., Pyykkanen, M., Peuraniemi, A., Suurnakki, T., & Keppainen, M. (2000). OWASCA : Computer-aided visualizing and training software for work posture analysis. *Journal of Occupational Health*, 273–278.
- Openshaw, S., & Taylor, E. (2007). *Ergonomics and design: a reference guide*. DIANE Publishing Company.
- Pheasant, S. (2003). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work* (2nd ed.). USA: Taylor & Francis.
- Priyambada, G., & Suharyanto. (2018). Analisis risiko postur kerja di industri kelapa sawit menggunakan metode ovako working analysis system dan nordic body map pada stasiun pemanenan dan penyortiran TBS (Studi Kasus di PT. X Provinsi Riau). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(2), 1–11.

- Priyambada, G., & Suharyanto. (2019). Analisis risiko postur kerja di industri kelapa sawit menggunakan metode ovako working analysis system dan nordic body map pada stasiun pemanenan dan penyortiran TBS. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(1), 43–56.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan. (2010). *Budidaya dan pascapanen teh*. Badan Penelitian dan Pengembangan Perkebunan.
- Restuputri, D. P., Lukman, M., & Wibisono. (2017). Metode REBA untuk pencegahan *musculoskeletal disorder* tenaga kerja. *Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 19. <https://doi.org/10.22219/jtiumm.vol18.no1.19-28>
- Sanjaya, A. A. (2002). Aplikasi Rapid Entire Body Assesment (REBA) dalam perbaikan postur kerja. In Adi Djoko Guritno & H. Purnomo (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Pengukuran Kinerja dan Perencanaan Strategis* (pp. 85–91). Jurusan Teknik dan Manajemen Industri - Universitas Isam Indonesia.
- Sita, K. (2019). Gender dan mekanisasi: Pengalaman pekerja perempuan berpartisipasi dalam kelompok petik mesin di Perkebunan Teh Gambung, Jawa Barat. *Umbara*, 4(2), 76. <https://doi.org/10.24198/umbara.v4i2.20461>
- Susanto, T., Purwandari, R., & Wuryaningsih, E. W. (2017). Prevalence and associated factors of health problems among Indonesian farmers. *Chinese Nursing Research*, 4(1), 31–37. <https://doi.org/10.1016/j.cnre.2017.03.008>
- Syuaib, M. F. (2015). Ergonomic of the manual harvesting tasks of oil-palm plantation in Indonesia based on anthropometric, postures and work motions analyses. *International Agricultural Engineering Journal*, 17(3), 248–262.
- Ula, L. H., Suyastiri, N. M., & Utami, H. H. (2019). Analisis risiko produksi daun teh basah berdasarkan pemetikan mekanik dan manual pada PT Perkebunan Nusantara IX Kebun Semugih Kabupaten Pemalang. *Jurnal Dinamika Sosial Ekonomi*, 20(1), 81–95.

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 7, Nomor 3, November 2020

**PERUBAHAN BIOKIMIA DAN INDIKATOR VIGOR BENIH KAKAO
PADA LIMA TARAF LAMANYA PENYIMPANAN**

**BIOCHEMICAL AND VIGOR INDICATOR CHANGES OF CACAO SEEDS
AT FIVE LEVELS OF STORAGE DURATION**

* Iing Sobari^{1),2)}, Sumadi²⁾, Santi Rosniawaty²⁾, Edi Wardiana¹⁾

¹⁾ **Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar**

Jalan Raya Pakuwon Km 2, Parungkuda, Sukabumi 43357 Indonesia

²⁾ **Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran**

Jl. Raya Bandung Sumedang Km 21, Jatinangor, Sumedang 45363 Indonesia

*iingsobari@gmail.com

(Tanggal diterima: 27 Agustus 2020, direvisi: 13 November 2020, disetujui terbit: 28 November 2020)

ABSTRAK

Selama masa penyimpanan, benih kakao mengalami berbagai proses yang akan berpengaruh terhadap kandungan cadangan makanannya dan akan berdampak terhadap kapasitas perkecambahan dan vigor benih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan biokimia dan vigor benih kakao setelah disimpan maksimum 4 minggu dengan selang waktu 1 minggu. Percobaan dilakukan di Laboratorium Terpadu dan rumah kaca Balittri, Sukabumi, Jawa Barat, mulai bulan Oktober sampai Desember 2019. Rancangan penelitian yang digunakan adalah acak lengkap dengan lima taraf perlakuan lamanya waktu penyimpanan benih yang diulang lima kali. Kelima perlakuan tersebut yaitu: (a) benih tanpa disimpan, (b) benih disimpan 1 minggu, (c) benih disimpan 2 minggu, (d) benih disimpan 3 minggu, dan (e) benih disimpan 4 minggu. Parameter yang diamati selama penyimpanan adalah perubahan biokimia benih dan banyaknya benih yang berkecambah, sedangkan selama perkecambahan adalah indikator vigor benih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyimpanan benih kakao selama 1-4 minggu menyebabkan penurunan kandungan lemak benih, sedangkan asam lemak bebas, protein, dan persentase benih berkecambah meningkat. Sampai umur 21 hari setelah semai, penyimpanan benih meningkatkan daya hantar listrik, tetapi menurunkan kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, viabilitas, dan panjang hipokotil. Benih yang disimpan selama satu minggu masih memiliki vigor yang baik (viabilitas 80%), sedangkan benih yang disimpan selama 2-4 minggu menurun tingkat vigornya (viabilitas maksimum sekitar 54,4%).

Kata kunci: Kemunduran benih; metabolisme benih; perkecambahan benih; *Theobroma cacao*; viabilitas benih

ABSTRACT

During the storage period, cocoa seeds undergo various processes that will affect the content of their food reserves and will have an impact on germination capacity and seeds vigor. The objective of this study is to investigate the changes of biochemical and vigor of cocoa seeds after storage for a maximum of 4 weeks with an interval of 1 week. The experiment was conducted at the Integrated Laboratory and Greenhouse of Balittri, Sukabumi, West Java, from October to December 2019. The completely randomized design with five treatments of seeds storage duration: (a) seeds unstored, (b) seeds stored for 1 week, (c) seeds stored for 2 weeks, (d) seeds stored for 3 weeks, and (e) seeds stored for 4 weeks, and five replications were used in this study. Parameters observed during seed storage were the biochemistry change of seeds and the percentage of germinated seeds, while during seed germination is an indicator of seed vigor. The results showed that storing cocoa seeds for 1-4 weeks decreased the fat content of the seeds, while the free fatty acids, protein, and percentage of germinated seeds increased. Until the 21st day after sowing, seed storage increases electrical conductivity but decreases growth rate, maximum growth potential, viability, and hypocotyl length. Seeds stored for one week still good in their vigor (viability of 80%), while seeds stored for 2-4 weeks have decreased their vigor (maximum viability of 54.4%).

Keywords: Seeds deterioration; seeds germination; seeds metabolism; seeds viability; *Theobroma cacao*

PENDAHULUAN

Peremajaan tanaman kakao yang ditargetkan 50.000 hektar per tahun (Yuniartha & Hidayat, 2019) berdampak positif terhadap meningkatnya permintaan benih kakao (*Thebroma cacao* L.). Benih kakao termasuk benih rekalsitran (Umarani, Kanthaiya Aadhavan, & Mohamed Faisal, 2015), yang harus dikecambahkan segera setelah panen (Lahay, Misrun, & Sipayung, 2018). Benih rekalsitran memiliki sifat sensitif terhadap desikasi (*desiccation-sensitive*), cepat berkecambah setelah buah matang, menghendaki kelembaban dan suhu tertentu, sensitif terhadap kadar air tinggi dan rendah, serta tidak tahan disimpan lama (Barbedo, Centeno, & Ribeiro, 2013; Berjak & Pammenter, 2013; Pammenter & Berjak, 2014; Umarani *et al.*, 2015; Viana *et al.*, 2020). Terdapat tiga aspek penting yang menyebabkan kerusakan benih rekalsitran selama penyimpanan, yaitu kandungan air biji, tingkat pengeringan, dan suhu penyimpanan (Umarani *et al.*, 2015).

Permasalahan yang sering dihadapi dalam pembenihan kakao yaitu apabila kebun benih berlokasi cukup jauh dengan kebun produksi sehingga memerlukan waktu yang cukup lama untuk distribusinya. Akibat kondisi tersebut, benih kakao akan mengalami penundaan dalam proses pengecambahannya. Selama proses penyimpanan benih akan terjadi proses perombakan cadangan makanan. Bahkan apabila kondisi lingkungan penyimpanan benih mendukung, maka benih akan berkecambah selama di penyimpanan. Sebaliknya, benih yang disimpan terlalu lama atau kondisi lingkungan ruang simpan tidak mendukung akan menyebabkan terjadinya kemunduran benih (*deteriorasi*) yang pada akhirnya akan berdampak negatif terhadap vigor benih.

Kemunduran benih dapat disebabkan karena cekaman kondisi lingkungan pertanaman, kerusakan fisik dan mekanis saat pemanenan, maupun kondisi yang tidak mendukung pada saat penyimpanan. Gejala kemunduran benih dapat terlihat secara fisiologis maupun biokimia. Gejala fisiologis ditandai dengan adanya perubahan warna benih serta banyaknya kecambah yang abnormal maupun yang tidak berkecambah sama sekali. Adapun gejala biokimia ditandai dengan adanya kerusakan membran seluler, kerusakan DNA dan gangguan RNA, serta adanya gangguan proses metabolisme dan kimiawi benih yang dapat mengakibatkan berkurangnya cadangan makanan akibat proses peroksidasi lemak dan gangguan sintesa protein (Walters, Ballesteros, & Vertucci, 2010; Jyoti & Malik, 2013).

Selama proses penyimpanan, benih akan mengalami beberapa proses yang akan memengaruhi jumlah kandungan cadangan makanannya. Perubahan

cadangan makanan ini akan berdampak terhadap proses perkecambahan dan vigor benih. Hasil penelitian Maemunah & Adelina (2009) memperlihatkan adanya perubahan biokimia benih, dan perbedaan persentase benih vigor serta pertumbuhan benihnya pada benih kakao yang disimpan maksimum 8 minggu dengan selang waktu 2 minggu. Terkait dengan hal itu, maka diperlukan informasi tentang karakter-karakter tersebut apabila benih kakao disimpan maksimum sampai 4 minggu dengan selang waktu 1 minggu. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perubahan biokimia di dalam benih kakao serta dampaknya terhadap vigor benih setelah disimpan maksimum sampai 4 minggu dengan selang waktu 1 minggu.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Terpadu dan rumah kaca Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri), Sukabumi, Jawa Barat, mulai bulan Oktober sampai dengan Desember 2019.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah acak lengkap dengan lima ulangan. Perlakuan pada percobaan ini terdiri dari 5 taraf lamanya waktu penyimpanan benih yaitu: (a) benih tanpa disimpan, (b) benih disimpan satu minggu, (c) benih disimpan dua minggu, (d) benih disimpan tiga minggu, dan (e) benih disimpan empat minggu. Setiap satuan percobaan menggunakan 60 biji benih.

Penyimpanan dan Penyemaian Benih

Benih yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao (Puslitkoka) di Jember, Jawa Timur (pengiriman selama 5 hari), selanjutnya sebanyak 60 biji dikemas dalam kantung plastik polypropylen beraerasi. Kantung plastik berisi benih kemudian dimasukkan ke dalam toples beraerasi yang diberi arang sekam dengan kadar air 34%. Setelah disimpan sesuai dengan perlakuan lama waktu penyimpanan, selanjutnya 25 biji benih kakao disemai pada bak persemaian berukuran 35 cm x 47 cm yang diisi dengan media pasir steril. Sterilisasi pasir menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Benih disemai dengan jarak 5 cm x 7 cm dan kemudian ditutup dengan pasir halus. Untuk mempertahankan kelembaban, maka dilakukan penyiraman setiap hari.

Parameter Pengamatan dan Analisis Data

Pengamatan dilakukan dua tahap, yaitu pada tahap penyimpanan dan tahap perkecambahan benih. Parameter yang diamati pada tahap penyimpanan benih

adalah: (1) parameter perubahan biokimia benih (kandungan karbohidrat, lemak, asam lemak bebas, protein, dan air) dan (2) banyaknya benih berkecambah selama penyimpanan. Adapun parameter yang diamati pada tahap perkecambahan adalah indikator vigor benih yang meliputi: (1) daya hantar listrik, (2) kecepatan tumbuh, (3) potensi tumbuh maksimum, (4) viabilitas, (5) bobot segar dan kering, (6) jumlah daun, (7) panjang epikotil, (8) panjang hipokotil, (9) jumlah akar, dan (10) panjang akar.

Kandungan karbohidrat ditentukan dengan metode *by difference*, kandungan lemak dan asam lemak bebas dengan metode *soxhlet*, dan kandungan protein terlarut dengan metode *Lowry*. Pengukuran daya hantar listrik dilakukan terhadap lima butir sampel benih untuk setiap satuan percobaan. Kelima sampel benih tersebut kemudian dimasukkan ke dalam botol kaca yang berisi 100 ml akuades dan direndam selama 24 jam. Selanjutnya, air rendaman benih diukur daya hantar listriknya dengan *Conductivity Meter*. Kecepatan tumbuh benih dihitung berdasarkan pengamatan jumlah benih yang berkecambah normal setiap harinya sampai pengamatan terakhir (21 hari setelah semai/HSS) dan dinyatakan dalam satuan persen per etmal. Pengamatan potensi tumbuh maksimum dilakukan pada benih dengan gejala munculnya akar atau plumula yang menembus kulit benih pada pengamatan hari ke-21, dan dinyatakan dalam persen.

Data yang diperoleh dianalisis ragam (*Anova*), dan apabila hasilnya nyata maka dilanjutkan dengan uji rata-rata perlakuan menggunakan uji Tukey pada taraf 5% serta analisis regresi antara lama penyimpanan benih dengan kandungan biokimia dan indikator vigor benih. Di samping itu, dilakukan juga analisis korelasi antar peubah perubahan biokimia dan indikator vigor benih. Analisis data ini dilakukan dengan software statistik Minitab versi 16.0 dan SPSS versi 21.0

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Ragam

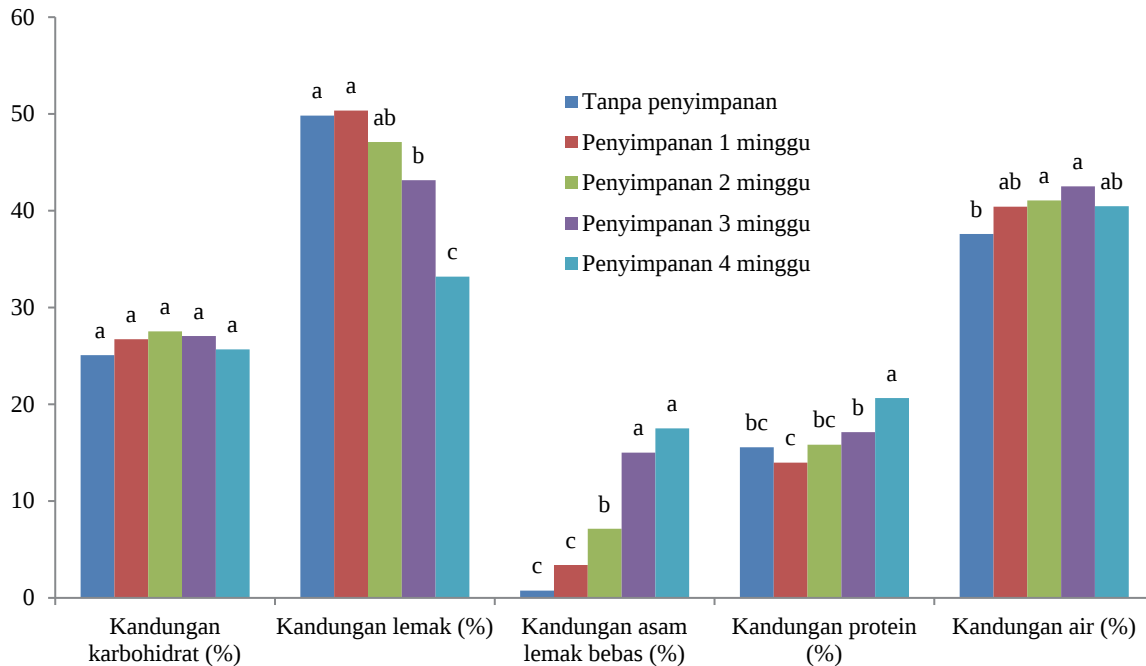
Hasil analisis ragam untuk parameter perubahan biokimia benih selama penyimpanan menunjukkan adanya pengaruh yang nyata perlakuan lamanya penyimpanan benih terhadap kandungan lemak, asam lemak bebas, protein, dan air, sedangkan kandungan karbohidrat tidak berbeda nyata (Tabel 1, Gambar 1). Persentase benih berkecambah selama penyimpanan memperlihatkan perbedaan yang nyata antar perlakuan (Tabel 1, Gambar 3). Untuk parameter indikator vigor benih, pengaruh yang nyata terjadi pada daya hantar listrik, kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, viabilitas, dan panjang hipokotil. Sementara itu, bobot segar, bobot kering, jumlah daun, panjang epikotil, jumlah dan panjang akar tidak berbeda nyata (Tabel 1, Gambar 4-6).

Tabel 1. Hasil analisis ragam untuk parameter perubahan biokimia dan indikator vigor benih kakao
Table 1. Result of variance analysis for biochemical and vigor indicators changes of cacao seeds

Parameter yang diamati	Nilai F	Nilai peluang (p)
1. Perubahan biokimia benih:		
- Kandungan karbohidrat	0,73	0,61
- Kandungan lemak	54,67	0,00 **
- Kandungan asam lemak bebas	130,87	0,00 **
- Kandungan protein	31,89	0,00 **
- Kandungan air	4,70	0,01 *
2. Persentase benih berkecambah selama penyimpanan	83,53	0,00 **
3. Indikator vigor benih:		
- Daya hantar listrik	56,03	0,00 **
- Kecepatan tumbuh	17,08	0,00 **
- Potensi tumbuh maksimum	21,85	0,00 **
- Viabilitas	37,50	0,00 **
- Bobot segar	2,07	0,13
- Bobot kering	1,49	0,25
- Jumlah daun	1,50	0,25
- Panjang epikotil	1,12	0,38
- Panjang hipokotil	6,93	0,00 **
- Jumlah akar	1,02	0,43
- Panjang akar	2,64	0,07

Keterangan: * dan ** masing-masing nyata pada taraf 5% dan 1%

Notes : * and ** significant at 5% and 1% level respectively



Gambar 1. Kandungan karbohidrat, lemak, asam lemak bebas, protein, dan air (%) benih kakao pada lima taraf lamanya penyimpanan
Figure 1. Carbohydrate, fat, free fatty acid, protein, and water content (%) of cacao seeds at five levels of storage duration

Perubahan Biokimia dan Persentase Benih Berkecambah Selama Penyimpanan

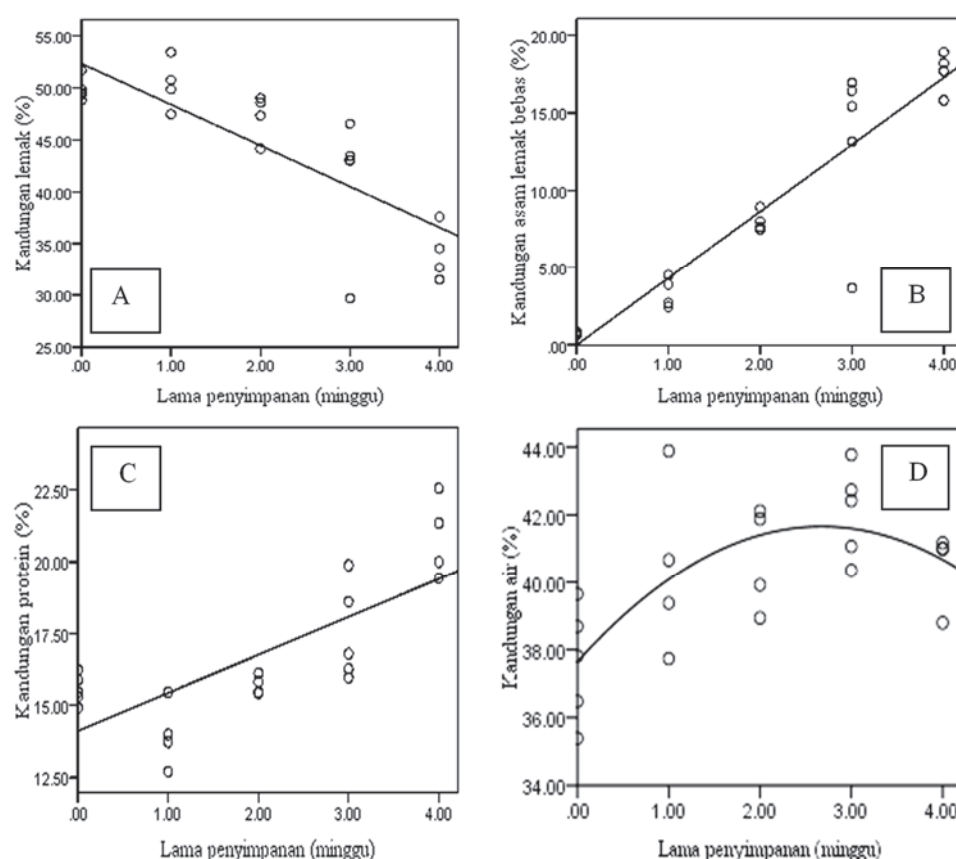
1. Kandungan lemak dan asam lemak bebas

Kandungan lemak tertinggi pada benih yang disimpan 1 dan 2 minggu (masing-masing 50,35% dan 47,10%) dan tidak berbeda nyata dengan benih yang tidak disimpan (49,83%), sedangkan yang terendah pada benih yang disimpan 4 minggu (33,19%). Hasil penelitian lainnya yang juga dilakukan pada benih kakao menunjukkan bahwa kandungan lemak sekitar 30-32% pada biji segar dan sekitar 50% pada biji kering (Permana, Indrati, Hastuti, & Suparmo, 2013). Kandungan asam lemak bebas tertinggi terjadi pada benih yang disimpan 3 dan 4 minggu (masing-masing 15,00% dan 17,51%), sedangkan yang terendah pada benih yang tidak disimpan (0,75%) dan tidak berbeda dengan yang disimpan 1 minggu (3,39%). Kandungan protein tertinggi pada benih yang disimpan 4 minggu (20,64%) berbeda dengan perlakuan lainnya. Kandungan air tertinggi pada benih yang disimpan 2 dan 3 minggu (masing-masing 41,05% dan 42,52%) tetapi tidak berbeda nyata dengan benih yang disimpan 1 dan 4 minggu (masing-masing 40,42% dan 40,47%), sedangkan yang terendah pada benih yang tidak disimpan (37,60%) (Gambar 1).

Hasil analisis regresi memperlihatkan adanya penurunan kandungan lemak (3,94 %/minggu) dan meningkatnya kandungan asam lemak bebas (4,32

%/minggu) secara linier sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih. Penurunan kandungan lemak diakibatkan oleh proses hidrolisis yang menghasilkan asam lemak bebas. Oleh karena itu, asam lemak bebas jadi meningkat sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih (Gambar 2).

Lemak merupakan salah satu sumber cadangan makanan yang diperlukan bagi proses perkecambahan benih. Pada benih yang mengalami penyimpanan terjadi penurunan kandungan lemak dan kerusakan beberapa bagian sel (Araldi, Coelho, & Maraschin, 2016; Orhevba, Adelola, & Bamidele, 2018). Pada proses penyimpanan biji bunga matahari terjadi penurunan kandungan minyak karena menurunnya kandungan lemak pada biji (Gupta, Sharma, & Munshi, 2009). Penurunan kandungan lemak pada benih yang mengalami penyimpanan terjadi karena adanya proses hidrolisis menjadi asam lemak bebas sehingga jumlah asam lemak tersebut meningkat sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih (Sukesh & Chandrashekar, 2011; Lampi *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2019). Hal yang sama terjadi juga pada biji kedelai yang mengalami penyimpanan (Panobianco & Vieira, 2007; Sharma, Gambhir, & Munshi, 2007; Liu, Liu, & Chen, 2019). Lebih lanjut dikemukakan bahwa di samping adanya peningkatan asam lemak bebas pada benih kedelai yang mengalami penyimpanan, juga terjadi peningkatan kandungan sterol, fosfolipid, dan trigliserida yang



Gambar 2. Regresi antara lama penyimpanan benih dengan kandungan lemak (A), asam lemak bebas (B), protein (C), dan air (D) benih kakao. $Y_A = 52,30 - 3,94X$; $R^2 = 0,68$ ($p < 0,01$), $Y_B = -0,01 + 4,32X$; $R^2 = 0,86$ ($p < 0,01$), $Y_C = 14,11 + 1,32X$; $R^2 = 0,59$ ($p < 0,01$), dan $Y_D = 37,65 + 3,00X - 0,56X^2$; $R^2 = 0,47$ ($p < 0,01$)

Figure 2. Regression between seeds storage duration and fat (A), free fatty acid (B), protein (C), and water (D) content of cacao seeds. $Y_A = 52,30 - 3,94X$; $R^2 = 0,68$ ($p < 0,01$), $Y_B = -0,01 + 4,32X$; $R^2 = 0,86$ ($p < 0,01$), $Y_C = 14,11 + 1,32X$; $R^2 = 0,59$ ($p < 0,01$), and $Y_D = 37,65 + 3,00X - 0,56X^2$; $R^2 = 0,47$ ($p < 0,01$)

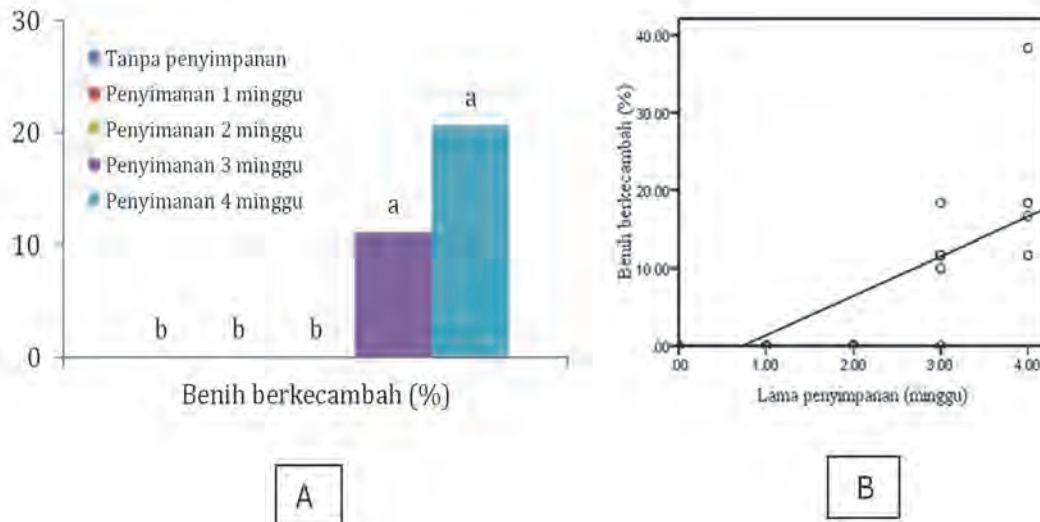
mengindikasikan aktifnya proses *gluconeogenesis* untuk menyeimbangkan kadar glukosa pada tahap awal perkecambahan (Sharma *et al.*, 2007). Pada penyimpanan benih kakao juga terjadi peningkatan kandungan asam lemak bebas sejalan dengan semakin lamanya proses penyimpanan benih (Maemunah & Adelina, 2009). Meningkatnya kandungan asam lemak sampai berakhirnya penelitian ini dikarenakan belum sepenuhnya dimanfaatkan dalam proses sintesa berikutnya, tetapi hanya terakumulasi saja di dalam benih.

2. Kandungan protein dan air

Kandungan protein benih kakao meningkat (1,32 %/minggu) secara linier sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih (Gambar 2). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian tentang penyimpanan benih rekalsitrasi tanaman eboni (*Diospyros celebica* Bakh.) (Yuniarti, Syamsuwida, & Aminah, 2013) dan jabon putih (*Anthocephalus Cadamba* (Roxb) Miq.) (Yuniarti &

Nurhasbi, 2015). Hasil penelitian pada benih tanaman *Hopea ponga* yang banyak ditemukan di India juga menunjukkan bahwa kandungan asam amino sebagai penyusun protein meningkat selama proses penyimpanan (Sukesh & Chandrashekar, 2011).

Peningkatan kandungan protein selama penyimpanan merupakan mekanisme pertahanan benih terhadap kehilangan air selama penyimpanan (Yuniarti *et al.*, 2013). Hal yang sama juga terjadi pada proses penyimpanan benih tanaman hutan *Fagus sylvatica* pada suhu di bawah 10 °C dengan kadar air benih 8 - 9%. Hal tersebut menunjukkan bahwa benih yang tertua ternyata masih mampu mempertahankan kandungan proteinnya pada sumbu embrio, dan protein tersebut berperan penting selama defisit dan penyimpanan air (Kalemba & Pukacka, 2008), terutama sekali protein dehydrin (Kalemba, Janowiak, & Pukacka, 2009; Kalemba & Pukacka, 2014). Benih kakao yang mengalami proses desikasi akibat penyimpanan ternyata mampu membentuk protein yang baru untuk mengganti protein



Gambar 3. Persentase benih berkecambah selama penyimpanan (A), dan regresi antara lamanya penyimpanan benih dengan persentase benih berkecambah ($Y = -3,70 + 5,07X$; $R^2 = 0,56$, $p < 0,01$) (B)

Figure 3. Percentage of germinated seeds during storage (A), and regression between seeds storage duration and percentage of germinated seeds ($Y = -3,70 + 5,07X$; $R^2 = 0,56$, $p < 0,01$) (B)

yang hilang. Salah satu protein yang terbentuk adalah protein dehidrin yang memiliki peranan dalam meningkatkan toleransi benih terhadap defisit air (Toruan-Mathius, Hasid, Haris, & Hutabarat, 2000). Kondisi yang sebaliknya terjadi pada benih rekalsitrasi tanaman sala (*Shorea robusta*) yang tidak mampu mempertahankan defisit air akibat proses penyimpanan. Pada benih tersebut memperlihatkan peningkatan aktivitas enzim protease sehingga kandungan proteinnya menurun, baik pada kotiledon maupun sumbu embrio (Chaitanya, Keshavkant, & Naithani, 2000).

Hubungan regresi antara lamanya penyimpanan benih dengan kandungan air benih tidak linier, tetapi membentuk hubungan yang kuadratik (Gambar 2). Kandungan air ini diduga bukan merupakan kandungan air yang ada di dalam benih saja, tetapi ada penambahan uap air yang berasal dari media simpan benih, yaitu arang sekam. Hasil penelitian Lahay *et al.* (2018) menunjukkan bahwa penyimpanan benih kakao dengan menggunakan media tambahan berupa serbuk gergaji dan/atau arang sekam terjadi peningkatan kadar air sampai hari ke-12. Sebaliknya, terjadi penurunan kadar air pada penyimpanan benih tanpa menggunakan media tambahan.

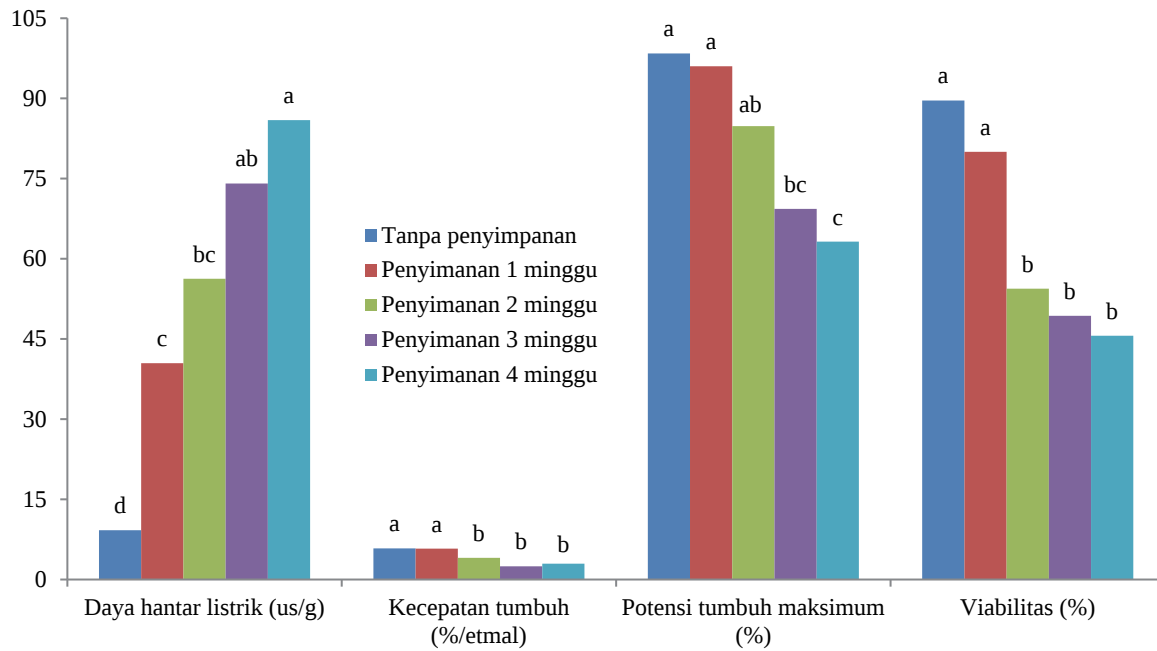
3. Persentase benih berkecambah selama penyimpanan

Selama penyimpanan benih terjadi proses perkecambahan. Lamanya penyimpanan berpengaruh nyata terhadap persentase benih yang berkecambah selama di penyimpanan. Pada penyimpanan benih 3 dan

4 minggu terjadi perkecambahan (masing-masing sebesar 11,11% dan 20,67%), sementara pada benih yang tidak disimpan dan benih yang disimpan 1 dan 2 minggu tidak terjadi perkecambahan (Gambar 3A). Hal ini mengindikasikan bahwa benih kakao termasuk ke dalam benih rekalsitrasi. Laju peningkatan perkecambahan selama penyimpanan yaitu sebesar 5,07%/minggu (Gambar 3B).

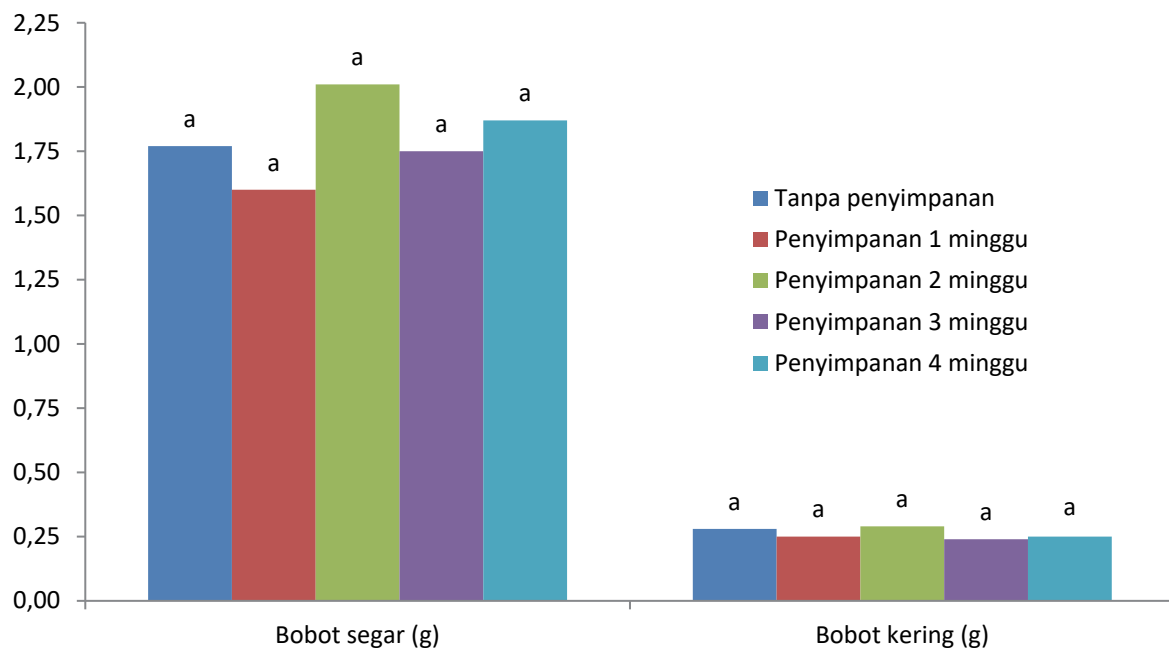
Pengaruh Lama Penyimpanan terhadap Indikator Vigor Benih

Periode lamanya penyimpanan benih berpengaruh nyata terhadap beberapa indikator vigor benih seperti: daya hantar listrik, kecepatan perkecambahan, potensi tumbuh maksimum, viabilitas, dan panjang hipokotil (Gambar 4 dan 6). Secara umum, penyimpanan benih selama 1 minggu memperlihatkan kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, viabilitas, dan panjang hipokotil yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya, tetapi tidak berbeda nyata dengan benih yang tidak disimpan. Pada peubah daya hantar listrik, benih yang disimpan 1 minggu lebih rendah daripada benih yang disimpan 3 dan 4 minggu, tetapi lebih tinggi dibandingkan dengan benih yang tidak disimpan (Gambar 4). Peubah lainnya, yaitu bobot segar dan kering (Gambar 5), serta jumlah daun, panjang epikotil, jumlah akar, dan panjang akar tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata antar perlakuan. Sementara itu, panjang hipokotil benih yang disimpan 1 dan 2 minggu tidak berbeda nyata dengan benih yang tidak disimpan (Gambar 6).



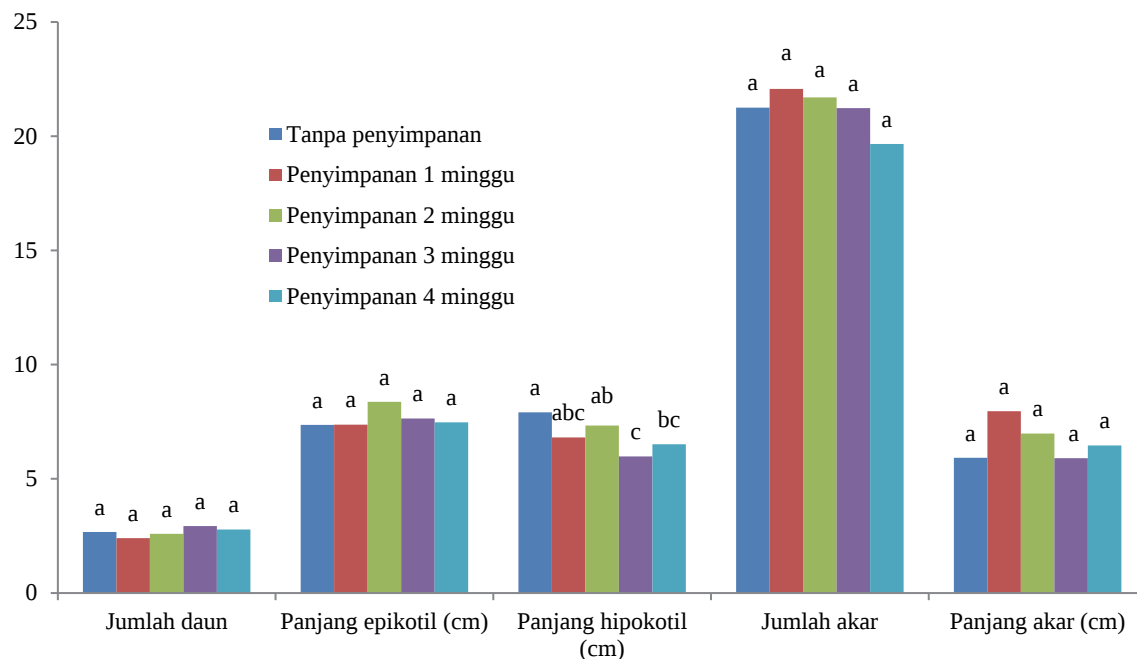
Gambar 4. Daya hantar listrik, kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, dan viabilitas benih kakao pada umur 21 hari setelah semai (HSS)

Figure 4. Electric conductivity, growth rate, maximum growth potential, and viability of cacao seeds at 21 days after sowing (DAS)



Gambar 5. Bobot segar dan kering benih kakao pada umur 21 hari setelah semai (HSS)

Figure 5. Fresh and dry weight of cacao seeds at 21 days after sowing (DAS)



Gambar 6. Jumlah daun, panjang epikotil dan hipokotil, serta jumlah dan panjang akar benih kakao pada umur 21 hari setelah semai (HSS)

Figure 6. Number of leaves, length of epycotyl and hypocotyl, and number and length of roots of cacao seeds at 21 days after sowing (DAS)

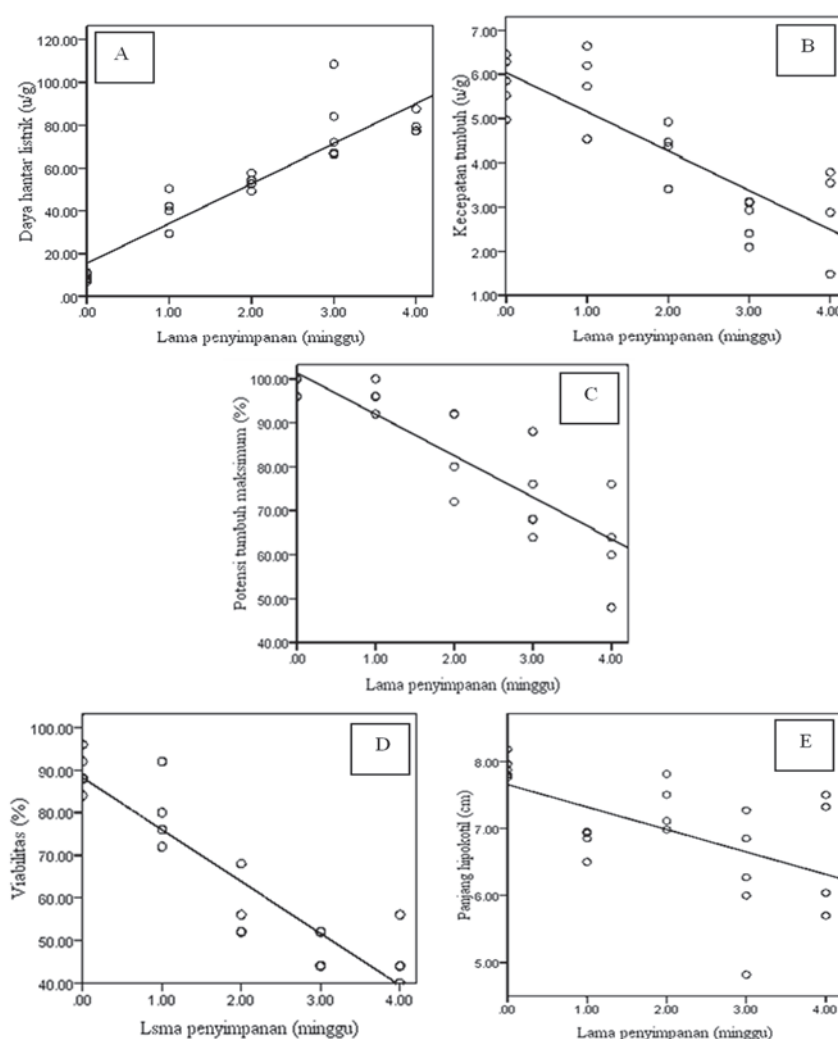
Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa semakin lama periode penyimpanan benih, maka semakin tinggi daya hantar listrik (18,64 us/g/minggu), sebaliknya semakin menurun kecepatan tumbuh (0,89%/etmal/minggu), potensi tumbuh maksimum (9,46%/minggu), viabilitas (12,18%/minggu), dan panjang hipokotil (0,34cm/minggu) (Gambar 7). Meningkatnya daya hantar listrik, dan menurunnya kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, dan viabilitas benih yang sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih, sejalan dengan hasil penelitian lain yang dilakukan pada berbagai jenis benih rekalsitran seperti benih kakao, pinus Brasil, jabon putih, kacang gude, guanandi, kapas, tengkawang, kedelai, beberapa benih tanaman hutan tropis, trema, dan benih tanaman pupuk hijau “tare” (Baharudin, Ilyas, Suhartanto, & Purwantara, 2010; Araldi & Coelho, 2015; Yuniarti & Nurhasybi, 2015; Manjunatha, Vasudevan, Umesha, & Sravani, 2016; Nery, Prudente, Alvarenga, Paiva, & Nery, 2016; Oliveira *et al.*, 2016; Rohandi & Widyani, 2016; Shibata & Coelho, 2016; Becerra-Vázquez, Sánchez-Nieto, Coates, Flores-Ortiz, & Orozco-Segovia, 2018; Yuniarti, Syamsuwida, & Kurniaty, 2018; Chandra, Sershen, Varghese, & Keshavkant, 2019; Mokhtari & Kizilsimsek, 2019).

Dari keempat indikator vigor benih seperti yang ditampilkan pada Gambar 4, secara umum ternyata

penyimpanan benih kakao sampai 1 minggu (ditambah 5 hari perjalanan) masih menampilkan vigor yang baik, terutama ditinjau dari viabilitas (80%), daya hantar listrik (40,47%), dan kecepatan tumbuh (5,77%) yang tidak berbeda nyata dengan benih yang tidak disimpan. Sementara itu, benih yang disimpan 2-4 minggu memiliki viabilitas maksimum 54,40% dan nyata lebih rendah dibandingkan dengan benih yang tidak disimpan (Gambar 4). Laju penurunan viabilitas benih sejalan dengan semakin lamanya penyimpanan benih sebesar 12,18%/minggu (Gambar 7D). Hasil penelitian Lahay *et al.* (2018) pada benih kakao yang disimpan dengan media kantong plastik beraerasi dan ditambah arang sekam atau serbuk gergaji, tetapi tidak dimasukkan ke dalam toples, masih mampu mempertahankan viabilitas sampai penyimpanan 12 hari. Hasil penelitian Nengsih (2018) menunjukkan bahwa penggunaan kemasan yang berventilasi masih mampu mempertahankan viabilitas benih kakao sampai penyimpanan selama 12 hari.

Korelasi Antar Karakter Biokimia dan Indikator Vigor Benih

Viabilitas benih berkorelasi positif dengan kandungan lemak, kecepatan tumbuh, dan potensi tumbuh maksimum, tetapi berkorelasi negatif dengan kandungan protein, asam lemak bebas, dan daya hantar listrik (Tabel 2). Lemak merupakan salah satu cadangan



Gambar 7. Regresi antara lamanya penyimpanan benih dengandaya hantar listrik (A), kecepatan tumbuh (B), potensi tumbuh maksimum (C), viabilitas (D), dan panjang hipokotil (E). $Y_A = 15,48+18,64X$; $R^2 = 0,85$ ($p<0,01$), $Y_B = 6,04-0,89X$; $R^2 = 0,72$ ($p<0,01$), $Y_C = 101,39-9,46X$; $R^2 = 0,77$ ($p<0,01$), $Y_D = 88,17-12,18X$; $R^2 = 0,84$ ($p<0,01$), $Y_E = 7,63-0,34X$; $R^2 = 0,34$ ($p<0,01$)

Figure 7. Regression between seeds storage duration and electric conductivity (A), growth rate (B), maximum growth potential (C), seeds viability (D), and hypocotyl length (E). $Y_A = 15,48+18,64 X$; $R^2 = 0,85$ ($p<0,01$), $Y_B = 6,04-0,89X$; $R^2 = 0,72$ ($p<0,01$), $Y_C = 101,39-9,46X$; $R^2 = 0,77$ ($p<0,01$), $Y_D = 88,17-12,18X$; $R^2 = 0,84$ ($p<0,01$), $Y_E = 7,63-0,34X$; $R^2 = 0,34$ ($p<0,01$)

makanan dan sebagai sumber energi bagi proses perkecambahan, sehingga semakin tinggi kandungan lemak maka semakin baik pula vigor benih. Pada tahap awal perkecambahan, lemak diproses menjadi asam lemak, dan tahap selanjutnya asam lemak tersebut dibutuhkan untuk sintesa sukrosa yang akan menghasilkan sumber karbon dan energi untuk mendukung proses perkecambahan (Leonova, Grimberg, Marttila, Stymne, & Carlsson, 2010; Ataíde *et al.*, 2013).

Pada penelitian ini, proses perombakan lemak menjadi gliserol dan asam lemak bebas berjalan secara

normal, tetapi asam lemak yang dihasilkan masih terakumulasi dalam biji dan belum dimanfaatkan secara optimal dalam sintesa sukrosa yang akan menghasilkan karbon dan energi yang diperlukan bagi perkecambahan. Kondisi seperti ini menyebabkan akumulasi asam lemak di dalam biji dan berdampak terhadap penurunan vigor benih. Tresniawati, Murniati, & Widajati (2014) menegaskan bahwa tingginya akumulasi asam lemak bebas dalam biji mengindikasikan rendahnya energi yang terbentuk yang diperlukan untuk mendukung proses perkecambahan, dan kondisi ini menurut Maemunah & Adelina (2009) menyebabkan terjadinya penurunan

persentase bibit vigor, tinggi bibit, jumlah daun, dan indeks vigor hipotetik. Hasil penelitian Panobianco & Vieira (2007), Pukacka & Ratajczak (2014), dan Erbaş, Tonguç, Karakurt, & Şanlı (2016) memperlihatkan adanya hubungan yang negatif antara kandungan lemak dengan asam lemak, sedangkan hasil penelitian Panobianco & Vieira (2007) dan Pukacka & Ratajczak (2014) memperlihatkan adanya hubungan yang negatif antara kandungan lemak dengan daya hantar listrik. Selanjutnya, Pukacka & Ratajczak (2014), Pamungkas, Supriyon, & Purwanto (2018), dan Prado, Krzyzanowski, Martins, & Viera (2019) menambahkan bahwa daya hantar listrik memiliki hubungan yang negatif dengan beberapa indikator vigor benih.

Lemak yang terakumulasi dalam biji berupa trigliserida, dan pada awal perkecambahan lemak tersebut dihidrolisis dengan bantuan enzim lipase (Barros, Fleuri, & MacEdo, 2010). Oleh karena itu, aktivitas enzim lipase pada awal perkecambahan meningkat dengan tajam karena enzim tersebut bertanggung jawab dalam mobilisasi lemak (Ataíde *et al.*, 2013). Pada fase perkecambahan berikutnya, lemak terdegradasi menjadi gliserol dan asam lemak (Leonova *et al.*, 2010; Ataíde *et al.*, 2013), sehingga terjadi penurunan kandungan lemak, sementara itu kandungan asam lemak bebas meningkat (Gambar 1 dan 2). Oleh karena itu, terjadi korelasi negatif antara kandungan lemak dengan asam lemak bebas (Tabel 2). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sharma *et al.* (2007) pada perkecambahan benih kedelai dan Leonova *et al.* (2010) pada proses pengecambahan biji gandum.

Kandungan protein berkorelasi negatif dengan kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, dan viabilitas benih (Tabel 2). Hasil ini sejalan dengan hasil penelitian lain yang menunjukkan adanya peningkatan akumulasi protein dalam sumbu biji benih *Fagus sylvatica* yang disimpan dalam waktu yang lama, dan kandungan protein tersebut berkorelasi negatif dengan viabilitas (Kalemba & Pukacka, 2008; Kalemba & Pukacka, 2014). Pada penyimpanan benih rekalsitran *Vatica chinensis* terlihat bahwa peningkatan kandungan protein dan modifikasi gula menyebabkan terjadinya penurunan viabilitas benih (Sukesh & Chandrashekar, 2011). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa benih tanaman kapok (*Ceiba pentandra*) kaya akan kandungan protein dan karbohidrat, tetapi kandungan tersebut menurun seiring dengan perkembangan perkecambahan. Hal ini mengindikasikan peran karbohidrat dan protein dalam pertumbuhan sumbu embrionik (Kiran, Rao, Sirisha, & Rao, 2012). Penurunan vigor benih berhubungan secara langsung dengan protein yang terlibat dalam metabolisme. Oleh karena itu, protein yang

terakumulasi dalam benih perlu segera disintesa untuk menghasilkan energi yang diperlukan bagi proses perkecambahan (Zhang, Wang, Liu, Møller, & Song, 2015). Sintesa protein akan menghasilkan energi yang diperlukan dalam proses perkecambahan, sehingga akan dapat meningkatkan vigor benih. Melalui proses sintesa ini, protein biji akan menurun secara bertahap sejalan dengan meningkatnya indikator vigor benih.

Kandungan air dan daya hantar listrik memiliki korelasi yang negatif dengan indikator vigor benih (Tabel 2). Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa kandungan air yang ada diduga bukan merupakan air yang terkandung dalam biji saja, melainkan ada tambahan uap air yang berasal dari media simpan arang sekam sehingga tidak berperan langsung dalam mendukung proses perkecambahan. Selain itu, kemungkinan lain yang bisa terjadi adalah karena adanya kebocoran membran yang menyebabkan substrat cadangan makanan keluar dari biji. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa menurunnya vigor benih karena meningkatnya daya hantar listrik akibat adanya kebocoran bahan cadangan makanan yang terkandung dalam biji karena adanya kerusakan membran sel (Manju & Kumar, 2015; Pamungkas *et al.*, 2018). Pengaruh negatif meningkatnya daya hantar listrik terhadap vigor benih juga sejalan dengan hasil penelitian Manju & Kumar (2015), Szemruch *et al.* (2015), dan Pamungkas *et al.* (2018).

Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan dampak negatif penyimpanan benih terhadap cadangan bahan makanan yang terkandung dalam biji dan terhadap beberapa indikator vigor benih. Namun demikian, benih-benih yang mengalami penyimpanan sampai 1 minggu ditambah 5 hari lamanya periode pengiriman benih ternyata masih mampu berkecambah dengan normal, dan viabilitasnya pada 21 HSS masih tinggi (80%) serta tidak berbeda nyata dengan benih yang tidak mengalami penyimpanan (Gambar 3). Penelitian ini baru sampai tahap perkecambahan awal, sehingga belum diketahui dampak lanjutannya pada tahap pembibitan hingga benih siap salur. Perlakuan invigorasi benih, manipulasi lingkungan tumbuh, penggunaan media pembibitan yang optimal, dan/atau aspek agronomi lainnya, dapat diaplikasikan pada penelitian berikutnya dengan tujuan untuk meminimalisasi kekurangan yang dimiliki oleh benih-benih yang telah mengalami penyimpanan. Kegiatan penelitian yang dimaksud diharapkan dapat menyelamatkan benih-benih kakao yang mengalami proses penyimpanan karena adanya kendala dalam proses distribusinya dan/atau karena aspek manajemen kebun lainnya.

Tabel 2. Korelasi antar karakter biokimia dan indikator vigor benih kakao
Table 2. Correlation between characters of biochemical and vigor indicators of cacao seeds

Peubah yang dikorelasikan	Lemak	Asam lemak bebas	Protein	Air	Benih berkecambah	Daya hantar listrik	Kecepatan tumbuh	Potensi tumbuh maksimum	Viabilitas	Panjang hipokotil
- Lemak	-	-0,88**	-0,89**	-0,20	-0,91**	-0,79**	0,66**	0,81**	0,71**	0,45*
- Asam lemak bebas			0,81**	0,45*	0,91**	0,90**	-0,84**	-0,92**	-0,85**	-0,58**
- Protein		-	-		0,87**	0,69**	-0,67**	-0,79**	-0,66**	-0,33
- Air				-	0,26	0,58**	-0,59**	-0,41	-0,64**	-0,53*
- Benih berkecambah					-	0,75**	-0,69**	-0,84**	-0,68**	-0,52*
- Daya hantar listrik						-	-0,81**	-0,81**	-0,90**	-0,66**
- Kecepatan tumbuh							-	0,81**	0,92**	0,62**
- Potensi tumbuh maksimum								-	0,84**	0,49*
- Viabilitas									-	0,55**
- Panjang hipokotil										-

KESIMPULAN

Penyimpanan benih kakao selama 1-4 minggu dalam kantong plastik polypropenil beraerasi dan kemudian dimasukkan ke dalam toples beraerasi yang diberi arang sekam dengan kadar air 34%, dapat menurunkan kandungan lemak benih (3,94%/minggu) secara linier, tetapi meningkatkan asam lemak bebas (4,32%/minggu), protein (1,32%/minggu), dan persentase benih berkecambah (5,07%/minggu) juga secara linier. Sampai umur 21 hari setelah semai, penyimpanan benih meningkatkan daya hantar listrik (18,64 us/g/minggu), tetapi menurunkan kecepatan tumbuh (0,87%/etmal/minggu), potensi tumbuh maksimum (9,46%/minggu), viabilitas (12,18%/minggu), dan panjang hipokotil (0,34cm/minggu). Benih yang disimpan selama satu minggu masih memiliki vigor yang baik dengan tingkat viabilitasnya 80% dan tidak berbeda dengan benih yang tidak disimpan. Sementara itu, benih yang disimpan selama 2-4 minggu menurun tingkat vigornya secara nyata dengan viabilitas maksimum yang dapat dicapai sekitar 54,4%. Semakin tinggi kandungan lemak benih, maka semakin meningkat indikator vigor benih (kecepatan tumbuh, potensi tumbuh maksimum, viabilitas benih, dan panjang hipokotil), tetapi sebaliknya semakin tinggi kandungan asam lemak bebas, protein, dan air, maka semakin menurun indikator vigor benih.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Terpadu, serta para Laboran dan Teknisi Litkayasa Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar yang telah membantu terlaksananya penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Badan Litbang Pertanian yang telah mendanai penelitian ini melalui DIPA Balittri TA 2019.

KONTRIBUSI PENULIS

1. Iing Sobari (Kontributor Utama)
2. Sumadi (Kontributor Anggota)
3. Santi Rosniawaty (Kontributor Anggota)
4. Edi Wardiana (Kontributor Utama).

DAFTAR PUSTAKA

- Araldi, C. G., & Coelho, C. M. M. (2015). Establishment of post-harvest early-developmental categories for viability maintenance of *Araucaria angustifolia* seeds. *Acta Botanica Brasilica*, 29(4), 524–531. <https://doi.org/10.1590/0102-33062015abb0061>.
- Araldi, C. G., Coelho, C. M. M., & Maraschin, M. (2016). Metabolic profile of Brazilian pine embryos and megagametophyte of stored seeds. *African Journal of Agricultural Research*, 11(9), 760–768. <https://doi.org/10.5897/ajar2015.10054>.
- Ataíde, G. M., Borges, E. E. L., Gonçalves, J. F. C., Guimarães, V. M., Flores, A. V., & Bicalho, E. M. (2013). Alterations in seed reserves of *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr All. ex Benth.) during hydration. *Journal of Seed Science*, 35(1), 56–63. <https://doi.org/10.1590/s2317-15372013000100008>.
- Baharudin, Ilyas, S., Suhartanto, M. R., & Purwantara, A. (2010). Pengaruh lama penyimpanan dan perlakuan benih terhadap peningkatan vigor benih kakao Hibrida. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 13(1), 73–84.
- Barbedo, C. J., Centeno, D. C., & Ribeiro, R. C. L. F. (2013). Do recalcitrant seeds really exist? *Hoehnea*, 40(4), 583–593. <https://doi.org/10.1590/s2236-89062013000400001>.
- Barros, M., Fleuri, L. F., & MacEdo, G. A. (2010). Seed lipases: Sources, applications and properties - A review. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(1), 15–29. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322010000100002>.
- Becerra-Vázquez, Á. G., Sánchez-Nieto, S., Coates, R., Flores-Ortiz, C. M., & Orozco-Segovia, A. (2018). Seed longevity of five tropical species from South-Eastern Mexico: Changes in seed germination during storage. *Tropical Conservation Science*, 11, 1–17. <https://doi.org/10.1177/1940082918779489>.
- Berjak, P., & Pammenter, N. W. (2013). Implications of the lack of desiccation tolerance in recalcitrant seeds. *Frontiers in Plant Science*, 4(NOV), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00478>.
- Chaitanya, K. S. K., Keshavkant, S., & Naithani, S. C. (2000). Changes in total protein and protease activity in dehydrating recalcitrant Sal (*Shorea robusta*) seeds. *Silva Fennica*, 34(1), 71–77. <https://doi.org/10.14214/sf.646>.

- Chandra, J., Serksen, Varghese, B., & Keshavkant, S. (2019). The potential of ROS inhibitors and hydrated storage in improving the storability of recalcitrant *Madhuca latifolia* seeds. *Seed Science and Technology*, 47(1), 33–45. <https://doi.org/10.15258/sst.2019.47.1.04>.
- Erbaş, S., Tonguç, M., Karakurt, Y., & Şanlı, A. (2016). Mobilization of seed reserves during germination and early seedling growth of two sunflower cultivars. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 89, 217–222. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2016.089.028>.
- Gupta, R., Sharma, S., & Munshi, S. K. (2009). Physical characteristics and biochemical composition of seeds influenced by their position in different whorls of sunflower head-effect of storage. *Helia*, 32(50), 135–144. <https://doi.org/10.2298/HEL0950135G>.
- Jyoti, & Malik, C. P. (2013). Seed deterioration: A Review. *Int. J. LifeSc. Bt & Pharm. Res.*, 2(3), 374–385.
- Kalemba, E. M., Janowiak, F., & Pukacka, S. (2009). Desiccation tolerance acquisition in developing beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds: The contribution of dehydrin-like protein. *Trees*, 23(2), 305–315. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0278-8>.
- Kalemba, E. M., & Pukacka, S. (2008). Changes in late embryogenesis abundant proteins and a small heat shock protein during storage of beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Environmental and Experimental Botany*, 63, 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.12.011>.
- Kalemba, E. M., & Pukacka, S. (2014). Carbonylated proteins accumulated as vitality decreases during long-term storage of beech (*Fagus sylvatica* L.) seeds. *Trees*, 28, 503–515. <https://doi.org/10.1007/s00468-013-0967-9>.
- Kiran, C. R., Rao, D. B., Sirisha, N., & Rao, T. R. (2012). Impact of germination on biochemical and antioxidant enzymes of *Ceiba pentandra* (Kapok) seeds. *American Journal of Plant Sciences*, 03, 1187–1192. <https://doi.org/10.4236/ajps.2012.39144>.
- Lahay, R. R., Misrun, S., & Sipayung, R. (2018). The storage capacity of cocoa seeds (*Theobroma cacao* L.) through giving Polyethylene Glycol (PEG) in the various of storage container. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 122(1), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012040>.
- Lampi, A.-M., Damerau, A., Li, J., Moision, T., Partanen, R., Forsell, P., & Piironen, V. (2015). Changes in lipids and volatile compounds of oat flours and extrudates during processing and storage. *Journal of Cereal Science*, 62, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.011>.
- Leonova, S., Grimberg, A., Marttila, S., Stymne, S., & Carlsson, A. S. (2010). Mobilization of lipid reserves during germination of oat (*Avena sativa* L.), a cereal rich in endosperm oil. *Journal of Experimental Botany*, 61(11), 3089–3099. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq141>.
- Liu, K., Liu, Y., & Chen, F. (2019). Effect of storage temperature on lipid oxidation and changes in nutrient contents in peanuts. *Food Science and Nutrition*, 7(7), 2280–2290. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1069>.
- Maemunah, & Adelina, E. (2009). Lama penyimpanan dan invigorasi terhadap vigor bibit kakao (*Theobroma cacao* L.). *Media Litbang Sulteng*, 2(1), 56–61.
- Manju, V., & Kumar, S. (2015). Seed Leachate conductivity and its correlation with the seed viability and germination of Tnau Papaya Cv. Co8 seeds stored under different environmental conditions. *International Journal of Agricultural Science and Research (IJASR)*, 5(4), 127–130. Retrieved from <http://www.tjprc.org/view-archives.php>.
- Manjunatha, B., Vasudevan, S. N., Umesha, U., & Sravani, C. (2016). Studies on influence of modified atmospheric storage conditions on biochemical parameters in pigeonpea seeds. *Journal of Applied and Natural Science*, 8(3), 1249–1252. <https://doi.org/10.31018/jans.v8i3.949>.
- Mokhtari, N. B. P., & Kizilsimsek, M. (2019). Application of electrical conductivity test to determine vigor of Common Vetch (*Vicia sativa* L.). *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(3), 2153–2157.
- Nengsih, Y. (2018). Teknik pengemasan benih kakao (*Theobroma cacao* L.) dalam penyimpanan. *Jurnal Media Pertanian*, 3(2), 89–98. Retrieved from <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>.
- Nery, F. C., Prudente, D. O., Alvarenga, A. A., Paiva, R., & Nery, M. C. (2016). Storage of *Calophyllum brasiliense* Cambess. seeds. *Brazilian Journal of Biology*, 77(3), 431–436. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.08115>.

- Oliveira, A. dos S., Carvalho, M. L. M. de, Bárbara, C. das N. V., Guimarães, R. M., Oliveira, J. A., & Pereira, D. de S. (2016). Biochemical changes in fiber naturally colored cottonseeds during storage. *Journal of Seed Science*, 38(2), 101–109. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n2156374>.
- Orhevba, Adelola, B., & Bamidele, A. (2018). Comparative analysis of the effect of hermetic storage models on some quality parameters of soybean seeds. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 20(1), 137–142.
- Pammenter, N. W., & Berjak, P. (2014). Physiology of desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds and the implications for cryopreservation. *International Journal of Plant Sciences*, 175(1), 21–28. <https://doi.org/10.1086/673302>.
- Pamungkas, P. B., Supriyon, & Purwanto, E. (2018). The relations of electric conductivity with physiological characteristic of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seeds by matriconditioning invigoration treatment when stored. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(4), 883–888. <https://doi.org/10.11118/actaun201866040883>.
- Panobianco, M., & Vieira, R. D. (2007). Electrical conductivity and deterioration of soybean seeds exposed to different storage conditions. *Revista Brasileira de Sementes*, 29(2), 97–105. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000200013>.
- Permana, I. D. G. M., Indrati, R., Hastuti, P., & Suparmo. (2013). Aktivitas lipase indigenous selama perkecambahan biji kakao (*Theobroma cacao* L.). *Agritech*, 33(2), 176–181.
- Prado, J. P. D., Krzyzanowski, F. C., Martins, C. C., & Viera, R. D. (2019). Physiological potential of soybean seeds and its relationship to electrical conductivity. *Journal of Seed Science*, 41(4), 407–415.
- Pukacka, S., & Ratajczak, E. (2014). Factors influencing the storability of *Fagus sylvatica* L. seeds after release from dormancy. *Plant Growth Regulation*, 72(1), 17–27. <https://doi.org/10.1007/s10725-013-9832-5>.
- Rohandi, A., & Widyani, N. (2016). Perubahan fisiologis dan biokimia benih Tengawang selama penyimpanan. *Jurnal Penelitian Ekosistem Dipterokarpa*, 2(1), 9–20. <https://doi.org/10.20886/jped.2016.2.1.9-20>.
- Sharma, S., Gambhir, S., & Munshi, S. K. (2007). Changes in lipid and carbohydrate composition of germinating soybean seeds under different storage conditions. *Asian Journal of Plant Sciences*, 6(3), 502–507. <https://doi.org/10.3923/ajps.2007.502.507>.
- Shibata, M., & Coelho, C. M. M. (2016). Early harvest increases post-harvest physiological quality of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae) seeds. *Int. J. Trop. Biol.*, 64(2), 885. <https://doi.org/10.15517/rbt.v64i2.19254>.
- Sukesh, & Chandrashekar, K. R. (2011). Biochemical change during the storage of seed of *Hopea ponga* (Dennst.) Mabberty: An endemic species of Western Ghats. *Research Journal of Seed Science*, 4(2), 1060116.
- Szemruch, C., Del Longo, O., Ferrari, L., Renteria, S., Murcia, M., Cantamutto, M., & Rondanini, D. (2015). Ranges of vigor based on the electrical conductivity test in dehulled sunflower seeds. *Research Journal of Seed Science*, 8(1), 12–21. <https://doi.org/10.3923/rjss.2015.12.21>.
- Toruan-Mathius, N., Hasid, R., Haris, N., & Hutabarat, T. (2000). Physiological and biochemical changes in cocoa seed (*Theobroma cacao* L.) caused by desiccation. *Menara Perkebunan*, 68(1), 20–29.
- Tresniawati, C., Murniati, E., & Widajati, E. (2014). Perubahan fisik, fisiologi dan biokimia selama pemasakan benih dan studi rekalsitransi benih Kemiri Sunan. *J. Agron. Indonesia*, 42(1), 74–79.
- Umarani, R., Kanthaiya Aadhavan, E., & Mohamed Faisal, M. (2015). Understanding poor storage potential of recalcitrant seeds. *Current Science*, 108(11), 2023–2034. <https://doi.org/10.18520/cs/v108/i11/2023-2034>.
- Viana, W. G., Lando, A. P., Angelica da Silva, R., Dias da Costa, C., Vieira, P. H. M., & Steiner, N. (2020). Physiological performance of *Garcinia gardneriana* (Planch. & Triana) Zappi: a species with recalcitrant and dormant seeds. *Journal of Seed Science*, 42, 1–12.
- Walters, C., Ballesteros, D., & Vertucci, V. A. (2010). Structural mechanics of seed deterioration: Standing the test of time. *Plant Science*, 179(6), 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.06.016>.
- Yuniartha, L., & Hidayat, Kh. (2019). Kementan alokasikan dana Rp 84,58 miliar untuk peremajaan kebun kakao. *Kontan.co.id*. 8 September 2019.

- Yuniarti, N., & Nurhasybi, N. (2015). Viability and biochemical content changes in seed storage of Jabon Putih (*Anthocephalus cadamba* (Roxb) Miq.). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 21(2), 92–98. <https://doi.org/10.7226/jtfm.21.2.92>.
- Yuniarti, N., Syamsuwida, D., & Aminah, A. (2013). Dampak perubahan fisiologi dan biokimia benih Eboni (*Diospyros celebica* Bakh.) selama penyimpanan. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 10(2), 65–71. <https://doi.org/10.20886/jpht.2013.10.2.65-71>.
- Yuniarti, N., Syamsuwida, D., & Kurniaty, R. (2018). Perubahan viabilitas, vigor, dan biokimia benih Trema (*Trema orientalis* Linn. Blume) selama penyimpanan. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 7(1), 83–92.
- Zhang, H., Wang, W. Q., Liu, S. J., Møller, I. M., & Song, S. Q. (2015). Proteome analysis of poplar seed vigor. *PLoS ONE*, 10(7), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132509>.

Jurnal
**TANAMAN INDUSTRI
DAN PENYEGAR**
Journal of Industrial and Beverage Crops
Volume 7, Nomor 3, November 2020

**KEMAMPUAN BLASTOSPORA *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae*
DAN *Lecanicillium lecanii* DALAM MENGINFEKSI KUMBANG
*Hypothenemus hampei***

**THE ABILITY OF *Paecilomyces Fumosoroseus*, *Metarhizium Anisopliae* AND *Lecanicillium Lecanii*
BLASTOSPORES IN INFECTING *Hypothenemus Hampei* BEETLES**

* Samsudin, Khaerati, Gusti Indriati, Arlia Dwi Hapsari

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar
Jalan Raya Pakuwon Km 2 Parungkuda, Sukabumi 43357, Indonesia

*samsudin.afaqih@gmail.com

(Tanggal diterima: 30 Mei 2020, direvisi: 31 Agustus 2020, disetujui terbit: 29 November 2020)

ABSTRAK

Hypothenemus hampei merupakan hama penggerek buah kopi (PBKo) yang sulit dikendalikan karena hidup di dalam buah kopi. Blastospora jamur patogen serangga (JPS) diharapkan efektif mengendalikan hama tersebut. Tujuan penelitian untuk mengevaluasi kemampuan blastospora *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae* dan *Lecanicillium lecanii* dalam menginfeksi, mematikan dan menghambat perkembangan *H. hampei* pada buah kopi di laboratorium. Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Desember 2019 di Laboratorium Proteksi Tanaman, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar, Sukabumi. Penelitian menggunakan 14 perlakuan, yaitu 3 jenis jamur (*P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii*) dengan masing-masing 4 kepadatan (10^8 , 10^7 , 10^6 , dan 10^5 blastospora/ml), kontrol positif menggunakan insektisida nabati (Biotris) dan kontrol negatif, serta diulang 4 kali. Parameter yang diamati adalah mortalitas, jumlah gergakan, dan perkembangan serangga setelah perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua blastospora mampu menginfeksi dan mematikan imago *H. hampei* di laboratorium. Mortalitas tertinggi terjadi pada perlakuan *P. fumosoroseus* dengan kepadatan 10^8 blastospora/ml (P1) sebesar 39,91%, sedangkan jumlah gergakan terendah pada perlakuan *L. lecanii* 10^6 blastospora/ml (L3) dengan daya hambat sebesar 28,57%. Semua jenis blastospora juga dapat menghambat perkembangan serangga dalam buah kopi, dengan tingkat penghambatan tertinggi pada perlakuan *M. anisopliae* 10^8 blastospora/ml (M1) yaitu 78,69% untuk telur dan 74,24% untuk larva. Blastospora dari tiga jenis JPS berpotensi dikembangkan sebagai bioinsektisida pengendali PBKo.

Kata kunci: Bioinsektisida; entomopatogen; *Hypothenemus hampei*; kopi

ABSTRACT

Hypothenemus hampei is a coffee berry borers (CBB) that is difficult to control because it lives inside the coffee berries. Blastospores of entomopathogen fungal are expected to be effective in controlling these pests. The purpose of this study was to evaluate the ability of blastospores *Paecilomyces fumosoroseus*, *Metarhizium anisopliae* and *Lecanicillium lecanii* to infect, kill and inhibit the development of *H. hampei* on coffee cherries in the laboratory. The study was conducted from March to December 2019 at the Plant Protection Laboratory, Indonesian Industrial and Beverage Crops Research Institute, Sukabumi. The study used 14 treatments, namely 3 types of fungi are *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* and *L. lecanii* with every 4 densities are 10^8 , 10^7 , 10^6 , and 10^5 blastospores/ml, positive control using botanical insecticides (Biotris) and negative control, and repeated 4

times. The parameters observed were mortalities, number of bor holes, and insect development after treatment. The results showed that all blastospores were able to infect and kill *H. imago* in the laboratory. The highest mortality occurred in the treatment of *P. fumosoroseus* with 10^8 blastospores/ml densities (P1) by 39.91%. Blastospores of 3 entomopathogens were able to inhibit the number of bor holes on the coffee cherries, with the highest inhibition in the treatment of *L. lecanii* 10^6 blastospores/ml (L3) by 28.57%. All types of blastospores can also inhibit insect development in the coffee cherries. Treatment of *M. anisopliae* 10^8 blastospore/ml (M1) was able to reduce the number of eggs and nymphs by 78.69% and 74.24% respectively compared to negative controls. Blastospores from three types of entomopathogens have the potential to be developed as bioinsecticides to control CBB.

Keywords: Bioinsecticide; coffee; *Hypothenemus hampei*; entomopathogen

PENDAHULUAN

Hama penggerek buah kopi (PBKo) (*Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Scolytidae) merupakan hama utama tanaman kopi di Indonesia (Sulistiyowati, Mangoendihardjo, & Wagiman, 1999). Rata-rata tingkat serangan PBKo secara nasional di perkebunan rakyat mencapai lebih dari 20%, mengakibatkan kehilangan hasil di atas 10% (Wiradiputra, 2014). Hasil penelitian Hayata (2016), kehilangan hasil pada pertanaman kopi Liberika di Kabupaten Tanjung Jabung Barat setiap tahunnya mencapai 3,95 – 7,11%, dengan rata-rata intensitas serangan menurut Meilin, Nasamsir, & Riyanto (2017) berkisar 9,11 - 10,80%. Kehilangan hasil pada pertanaman kopi Arabika di Sulawesi Selatan menurut Laila, Agus, & Saranga (2011) berkisar 30 - 60%.

Pengendalian hama PBKo dengan memanfaatkan jamur patogen serangga (JPS) telah lama dikembangkan. Jamur *Beauveria bassiana* dan *Metarhizium anisopliae* telah digunakan sebagai agens hayati pengendali berbagai hama tanaman termasuk PBKo (Jaramillo, Montoya, Benavides, & Góngora B, 2015; Apriyanto & Nadrawati, 2019). Hasil penelitian Bustillo, Bernal, Benavides, & Chaves (1999), menunjukkan bahwa jamur *B. bassiana* dan *M. anisopliae* dalam bentuk konidia mampu menginfeksi kumbang *H. hampei* di laboratorium. Hasil evaluasi infektifitas beberapa isolat *B. bassiana* dan *M. anisopliae* oleh Apriyanto & Nadrawati (2019) menunjukkan bahwa JPS tersebut mampu mematikan imago *H. hampei* rata-rata di atas 60%. Selain kedua jenis JPS tersebut, *Paecilomyces lilacinus* (Bustillo *et al.*, 1999) dan *Penicillium* sp. (Hendry, Daud, & Agus, 2016) juga memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai agens hayati pengendali PBKo.

Pemanfaatan JPS dalam bentuk blastospora yang diproduksi melalui proses fermentasi cair dalam fermentor diharapkan lebih efisien dan efektif mengendalikan *H. hampei*. Menurut Hegedus, Bidochka, Miranpuri, & Khachatourians (1992), blastospora lebih infektif terhadap serangga inang karena bersifat kurang hidrofobik dibandingkan dengan konidia. Blastospora *M. anisopliae* yang menempel pada

integumen larva nyamuk *Aedes aegypti* (Alkhaibari *et al.*, 2016) dan *Culex quinquefasciatus* (Alkhaibari *et al.*, 2018) lebih virulen daripada konidia karena dapat menginfeksi langsung ke dalam tubuh inang. Hasil penelitian Bernardo *et al.* (2018), menunjukkan bahwa blastospora *M. robertsii*, *M. anisopliae* dan *B. bassiana* lebih virulen terhadap tungau *Rhipicephalus microplus* dibandingkan dengan konidia. Demikian juga Correa, Duarte, Silva, Moura Mascarin, & Delalibera (2020) melaporkan bahwa blastospora *B. bassiana* dan tiga isolat *Cordyceps fumosorosea* lebih efektif dalam membunuh *Bemisia tabaci*, *Spodoptera frugiperda* dan *Chrysodeixis includens* daripada konidianya.

Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan blastospora *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* dalam menginfeksi, mematikan dan menghambat perkembangan *H. hampei* pada buah kopi di tingkat Laboratorium.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret sampai Desember 2019 di Laboratorium Proteksi Tanaman, Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balittri), Sukabumi. JPS yang digunakan adalah isolat jamur *Paecilomyces fumosoroseus* dan *Metarhizium anisopliae* yang diperoleh dari Laboratorium Proteksi Tanaman, Pusat Penelitian Teh dan Kina, Gambung, serta isolat *Lecanicillium lecanii* dari Laboratorium Proteksi Tanaman, Balittri.

Produksi Blastospora JPS dengan Media Cair

Blastospora diproduksi menggunakan media cair dalam bioreaktor mengikuti metode Lozano-Contreras *et al.* (2007) yang dimodifikasi. Isolat jamur *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* ditumbuhkan pada media *potato dextrose agar* (PDA) dalam cawan petri berdiameter 9 cm. Jamur diinkubasi pada suhu 25°C selama 21 hari dalam kondisi gelap sampai terbentuk spora. Media yang digunakan untuk memproduksi blastospora adalah *Potato Carrot Broth* (PCB) yang terbuat dari ekstrak kentang (20%), ekstrak wortel (20%) dan molase (5%) dengan perbandingan (1:1:1).

Ekstrak kentang dan wortel dibuat dengan cara merebus kentang dan wortel masing-masing sebanyak 200 gram dalam 1.000 ml air sampai mendidih, kemudian disaring dan diambil ekstrakanya.

Perbanyakan blastospora dan perlakuan pada serangga uji untuk masing-masing jenis JPS dilakukan secara terpisah dan bertahap. Media PCB sebanyak tiga liter dimasukkan ke dalam bioreaktor *LiFplus GX* secara aseptik. Kemudian sebanyak 3 potong jamur yang mengandung spora dimasukkan kedalamnya, dan diinkubasi selama 7 hari pada suhu 23°C. Untuk mengetahui jumlah blastospora dilakukan sampling dengan mengambil 1 ml dari media dalam bioreaktor secara aseptis ke dalam *microtube* 1,5 ml steril dan disentrifugasi dengan kecepatan 5.000 rpm selama 5 menit. Supernatan dibuang dan pelet biomassa blastospora diencerkan dengan aquades steril dengan pengenceran antara $10^{-1} - 10^{-4}$. Suspensi blastospora pada pengenceran 10^{-4} dari setiap jenis jamur dihitung menggunakan *haemocytometer* di bawah mikroskop Olympus BX53 dengan perbesaran 10 x 40. Untuk mendapatkan kerapatan blastospora dilakukan seri pengenceran sampai diperoleh kerapatan blastospora sesuai perlakuan ($10^5 - 10^8$ blastospora/ml).

Kemampuan Blastospora JPS dalam Menginfeksi dan Mematikan *H. hampei*

Pengujian kemampuan blastospora JPS dalam menginfeksi dan mematikan imago *H. hampei* mengikuti metode Balakrishnan & Naik (2014). Suspensi blastospora hasil perbanyakan dari masing-masing jenis JPS dilakukan seri pengenceran persepuluhan sehingga mendapatkan kerapatan $10^5 - 10^8$ blastospora/ml. Perlakuan menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan 14 perlakuan dan diulang 4 kali (Tabel 1).

Buah kopi yang digunakan adalah buah kopi Robusta berumur sekitar 6 bulan yang sudah mengeras. Sebelum digunakan buah kopi dicuci dengan aquades untuk menghilangkan kotoran dan kontaminan dari lapang, kemudian dikeringkan. Aplikasi dilakukan dengan cara menyemprotkan suspensi blastospora secara merata pada seluruh permukaan buah dan dibiarkan sampai kering. Selanjutnya 10 buah kopi yang sudah diberi perlakuan dimasukkan ke dalam gelas plastik, dan pada waktu yang bersamaan dimasukkan sebanyak 10 ekor imago *H. hampei*, kemudian gelas plastik ditutup rapat.

Tabel 1. Perlakuan blastospora jamur patogen serangga pada imago *H. hampei*

Tabel 1. *Treatment of entomopathogen blastospores to H. hampei beetles*

No.	Kode perlakuan	Jenis JPS dan kerapatannya (blastospora/ml)
1.	P1	<i>P. fumosoroseus</i> 10^8
2.	P2	<i>P. fumosoroseus</i> 10^7
3.	P3	<i>P. fumosoroseus</i> 10^6
4.	P4	<i>P. fumosoroseus</i> 10^5
5.	M1	<i>M. anisopliae</i> 10^8
6.	M2	<i>M. anisopliae</i> 10^7
7.	M3	<i>M. anisopliae</i> 10^6
8.	M4	<i>M. anisopliae</i> 10^5
9.	L1	<i>L. lecanii</i> 10^8
10.	L2	<i>L. lecanii</i> 10^7
11.	L3	<i>L. lecanii</i> 10^6
12.	L4	<i>L. lecanii</i> 10^5
13.	K1	Kontrol (+) α -eleostearic acid (5
14.	K0	ml/lit) Kontrol (-) aquades

Pengamatan dilakukan setiap hari selama 15 hari untuk melihat mortalitas *H. hampei*. Untuk memastikan kematian serangga uji disebabkan oleh jamur, maka bangkai serangga uji yang mati dilembapkan pada kertas tisu selama 2-3 hari, kemudian diamati di bawah mikroskop dengan perbesaran 2,5 x 10. Persentase imago yang mati dihitung dengan menggunakan rumus:

$$M = \frac{a}{a + b} \times 100\%$$

Keterangan:

M = Mortalitas (%)

a = Jumlah imago yang mati

b = Jumlah imago yang hidup

Pada pengamatan hari ke-15 dihitung jumlah lubang gerakan dan perkembangan hidup *H. hampei* di dalam buah. Nilai hambatan serangan didapatkan dengan cara menghitung total lubang gerakan yang terdapat pada buah kopi yang digunakan sebagai pakan *H. hampei*. Jumlah lubang gerakan diamati pada bagian bawah buah (diskus) yang ditandai dengan adanya kotoran bekas gerakan di sekitar lubang masuk. Persentase hambatan serangan dihitung menggunakan rumus (Setiawati, Murtiningsih, & Hasyim, 2011):

$$H = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

Keterangan:

H = Hambatan serangan (%)

a = Jumlah lubang gerakan pada perlakuan kontrol negatif

b = Jumlah lubang gerakan pada perlakuan blastospora

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan blastospora JPS terhadap perkembangan hidup *H. hampei* di dalam buah kopi, dilakukan dengan cara membelah semua buah kopi yang telah diberi perlakuan, kemudian dihitung jumlah telur dan larva yang hidup di dalamnya. Persentase penghambatan perkembangan hidup *H. hampei* dihitung dengan membandingkan jumlah telur dan larva pada perlakuan dengan kontrol negatif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

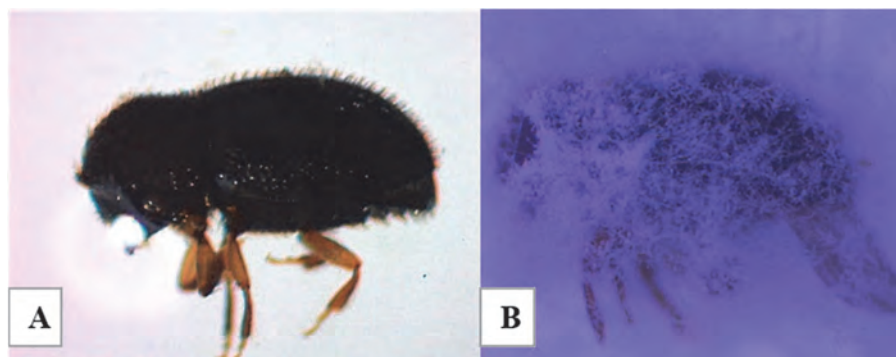
Produksi Blastospora JPS Menggunakan Media Cair PCB

Produksi blastospora menggunakan media cair PCB di dalam bioreaktor menghasilkan blastospora jamur *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* dengan rata-rata kerapatan berturut-turut $(1,29 \pm 0,25) \times 10^9$, $(5,25 \pm 0,18) \times 10^8$ dan $(8,40 \pm 0,15) \times 10^8$ blastospora/ml. Hasil tersebut menunjukkan bahwa populasi blastospora jamur *P. fumosoroseus* yang diproduksi dalam bioreaktor menggunakan media PCB lebih tinggi dibandingkan dengan jamur *M. anisopliae* dan *L. lecanii*. Meskipun populasi blastospora ketiga JPS yang dihasilkan berbeda, akan tetapi kuantitas dari ketiganya masih dalam kisaran normal. Secara kuantitatif penggunaan media cair PCB menghasilkan populasi blastospora JPS yang relatif sama dengan yang menggunakan media berbahan kimia sintetik yang telah

umum digunakan, seperti *collagen pepton*, *casamino acid* dan *yeast extract*. Kuantitas blastospora yang dihasilkan sangat ditentukan oleh kandungan karbon (C) dan nitrogen (N) dalam media perbanyakan. Menurut Jaronski & Mascarin (2017) media yang mengandung C dan N tinggi cenderung akan menghasilkan biomassa vegetatif (blastospora, badan hifa, miselium, dan mikrosklerotia) lebih banyak. Hasil penelitian Lozano-Contreras *et al.* (2007) menunjukkan bahwa populasi blastospora *P. fumosoroseus* yang diproduksi menggunakan dua jenis media dengan sumber N berbeda yaitu M1 (*casamino acids*) dan M2 (*collagen peptone* dan *yeast extract*) masing-masing 1×10^6 blastospora/ml (M1) dan 2×10^{10} blastospora/ml (M2). Demikian juga hasil penelitian Pham, Kim, Kim, & Kim (2009) produksi blastospora jamur *Beauveria bassiana* dengan komposisi Karbon (C) dan Nitrogen (N) yang optimal dari media yang digunakan menghasilkan populasi dengan kerapatan $8,54 \times 10^8$ blastospora/ml.

Kemampuan Blastospora dalam Menginfeksi dan Mematikan Imago *H. hampei*

Hasil pengamatan di bawah mikroskop terhadap bangkai imago *H. hampei* yang diletakkan pada kertas tisu yang dilembapkan terlihat pada Gambar 1B. Pada pengamatan hari ke-3 miselia JPS berwarna putih mulai terlihat pada ruas-ruas antar segmen tubuh bagian tungkai dan abdomen, kemudian menyebar menyelimuti seluruh bagian tubuh kumbang *H. hampei*. Miselia jamur berwarna putih yang keluar dari tubuh serangga menunjukkan bahwa blastospora JPS berhasil menginfeksi dan berkembang di dalam tubuh serangga inang. Setelah menginfeksi serangga inang, JPS akan menghasilkan beberapa enzim, antara lain: protease, kitinase, dan lipase yang berfungsi untuk mendegradasi kutikula serangga (Dias, Neves, Furlaneto-Maia, & Furlaneto, 2008; Jaronski, 2016).



Gambar 1. Kumbang *H. hampei* (A) sehat dan (B) terinfeksi blastospora JPS
Figure 1. Healthy *H. hampei* beetles (A) and infected with JPS blastospores (B)

Tabel 2. Rata-rata mortalitas imago *H. hampei* setelah perlakuan blastospora
Table 2. The average mortalities of *H. hampei* adults after blastospore treatments

Perlakuan	Rata-rata mortalitas (%) hari ke-		
	5	10	15
P1 (<i>P. fumosoroseus</i> 10 ⁸ blastospora/ml)	21,91 b	28,82 b	39,91 c
P2 (<i>P. fumosoroseus</i> 10 ⁷ blastospora/ml)	0,79 a	5,20 a	26,19 bc
P3 (<i>P. fumosoroseus</i> 10 ⁶ blastospora/ml)	0,79 a	7,23 a	27,89 bc
P4 (<i>P. fumosoroseus</i> 10 ⁵ blastospora/ml)	0,79 a	9,61 a	19,75 ab
M1 (<i>M. anisopliae</i> 10 ⁸ blastospora/ml)	0,79 a	0,79 a	19,75 ab
M2 (<i>M. anisopliae</i> 10 ⁷ blastospora/ml)	0,79 a	5,20 a	18,09 ab
M3 (<i>M. anisopliae</i> 10 ⁶ blastospora/ml)	0,79 a	0,79 a	17,72 ab
M4 (<i>M. anisopliae</i> 10 ⁵ blastospora/ml)	0,79 a	0,79 a	16,06 ab
L1 (<i>L. lecanii</i> 10 ⁸ blastospora/ml)	0,79 a	0,79 a	20,47 abc
L2 (<i>L. lecanii</i> 10 ⁷ blastospora/ml)	0,79 a	13,30 ab	25,10 bc
L3 (<i>L. lecanii</i> 10 ⁶ blastospora/ml)	0,79 a	0,79 a	14,02 ab
L4 (<i>L. lecanii</i> 10 ⁵ blastospora/ml)	0,79 a	11,64 ab	14,02 ab
K1 (Insektisida nabati Biotris/kontrol positif)	7,23 ab	7,23 ab	13,68 ab
K0 (Kontrol negatif)	0,79 a	5,20 a	5,20 a

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%
Notes: Numbers followed by the same letters in the same column are not significantly different according to DMRT test at 5% levels

Mekanisme infeksi JPS pada serangga inang menurut Prayogo, Tengkan, & Marwoto (2005) dimulai dari penempelan blastospora pada kutikula serangga, kemudian blastospora berkecambah, selanjutnya menembus kutikula secara mekanik dan kimiawi dengan mengeluarkan enzim kitinase dan protease. Tahap akhir dari infeksi ini adalah terbentuknya blastospora baru yang akan menyerang jaringan tubuh lainnya. Gejala imago *H. hampei* yang mati terinfeksi JPS adalah tubuhnya mengeras seperti mumi dan ditandai dengan seluruh bagian tubuhnya diselimuti miselium jamur berwarna putih.

Rata-rata persentase mortalitas imago *H. hampei* pada perlakuan tiga jenis JPS di laboratorium pada pengamatan hari ke-5, 10, dan 15 disajikan pada Tabel 2. Hasil pengamatan pada hari ke-5 dan ke-10 setelah perlakuan, hanya perlakuan P1 (*P. fumosoroseus* 10⁸ blastospora/ml) yang memiliki nilai mortalitas berbeda nyata dengan kontrol negatif (K0). Hasil pengamatan hari ke-15 selain perlakuan P1 terlihat perlakuan P2 (*P. fumosoroseus* 10⁷ blastospora/ml), P3 (*P. fumosoroseus* 10⁶ blastospora/ml), dan L2 (*L. lecanii* 10⁷ blastospora/ml) berbeda nyata dengan kontrol negatif.

Kemampuan blastospora jamur *P. fumosoroseus* menginfeksi imago *H. hampei* lebih tinggi dibandingkan dengan *M. anisopliae* dan *L. lecanii*. Hasil ini diduga karena blastospora jamur *P. fumosoroseus* memiliki virulensi dan patogenisitas yang lebih baik daripada *M. anisopliae* dan *L. lecanii*. Menurut Prayogo *et al.* (2005) keberhasilan JPS menginfeksi serangga inang ditentukan

oleh media tumbuh, tingkat virulensi, patogenisitas dan viabilitas jamur tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan mortalitas serangga uji seiring dengan meningkatnya kepadatan blastospora yang diaplikasikan. Mortalitas akibat infeksi blastospora *P. fumosoroseus* tertinggi sebesar 39,91% pada perlakuan kepadatan 10⁸ blastospora/ml, *M. anisopliae* tertinggi sebesar 19,75% pada kepadatan 10⁸ blastospora/ml, sementara pada *L. lecanii* sebesar 25,10% pada kepadatan 10⁷ blastospora/ml. Semakin tinggi kepadatan blastospora yang digunakan akan semakin besar peluang menempel pada tubuh serangga, sehingga persentase kematian pada kumbang *H. hampei* semakin tinggi. Kemampuan blastospora menginfeksi imago *H. hampei* diduga difasilitasi oleh enzim protease yang mampu mendegradasi kulit serangga tersebut. Hasil penelitian Dias *et al.* (2008) menunjukkan bahwa enzim protease yang diproduksi oleh jamur *B. bassiana* mampu mendegradasi kutikula imago PBKo saat proses infeksi.

Persentase mortalitas kumbang *H. hampei* pada semua perlakuan blastospora *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* masih dibawah 50%, sehingga tidak dapat dihitung nilai LC₅₀. Hasil ini masih dibawah penelitian sebelumnya yang menggunakan konidia JPS. Pada kondisi laboratorium jamur *B. bassiana* dan *M. anisopliae* mampu mematikan imago PBKo, masing-masing 91% dan 94% (Jaramillo *et al.*, 2015), 80% dan 60% (Apriyanto & Nadrawati, 2019) dan *B. bassiana* dengan konsentrasi 10⁷ konidia/ml menyebabkan mortalitas 83% yang diaplikasikan sebelum infestasi dan

62% aplikasi setelah infestasi (Samuels, Pereira, & Gava, 2002). Berdasarkan laporan hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa infektifitas blastospora JPS lebih tinggi dibandingkan dengan konidianya. Rendahnya infektifitas blastospora JPS yang digunakan pada penelitian ini diduga terkait dengan kualitas blastospora yang diproduksi dengan menggunakan media PCB. Meskipun kuantitas blastospora yang dihasilkan cukup tinggi, akan tetapi virulensinya masih kurang. Nuryanti, Wibowo, & Azis (2012) melaporkan bahwa tingkat virulensi *B. bassiana* terhadap walang sangit *Leptocoris acuta* sangat dipengaruhi oleh kandungan nutrisi media perbanyakannya.

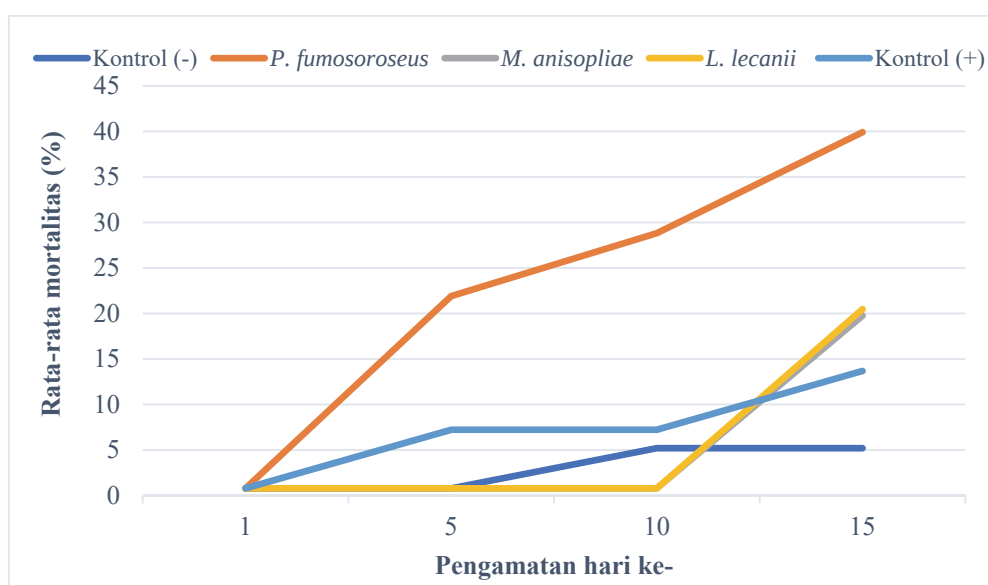
Proses infeksi blastospora terhadap kumbang *H. hampei* terlihat lambat. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan kontrol (-) secara umum baru terlihat pada pengamatan hari ke-15, kecuali perlakuan P1 (*P. fumosoroseus* 10^8 blastospora/ml) dan L1 (*L. lecanii* 10^8 blastospora/ml) (Gambar 2). Hal itu disebabkan karena serangan uji yang digunakan adalah stadia dewasa dari *H. hampei* yang memiliki elitra keras. Penelitian tentang infektifitas JPS umumnya menggunakan serangan uji pada stadia larva atau nimfa, sehingga menyebabkan mortalitas serangan uji sangat tinggi dan cepat. Jamur *P. fumosoroseus* FG340 dengan konsentrasi 10^4 konidia/ml dan *M. anisopliae* FT83 dengan kepadatan 10^7 konidia/ml mampu mematikan 100% larva *Spodoptera exigua* instar kedua masing-masing dalam waktu 6 dan 3 hari (Han, Jin, Kim, & Lee, 2014). Jamur *L. lecanii* pada kepadatan 10^9 konidia/ml mampu mematikan 100% nimfa instar ketiga *Helopeltis antonii* dengan nilai LC_{50} sebesar $1,03 \times 10^6$ konidia/ml, nilai LT_{50} dan LT_{90} masing-masing

1,198 (1 – 2 hari) dan 5,25 (5 – 6 hari) (Anggarawati, Santoso, & Anwar, 2018).

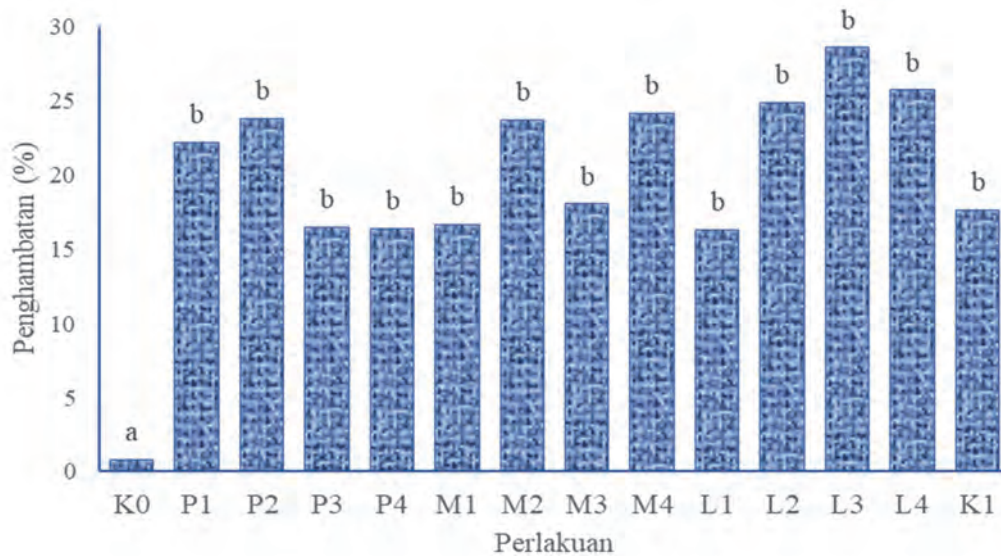
Penghambatan Serangan dan Perkembangan *H. hampei* pada Buah Kopi

Nilai rata-rata hambatan serangan pada perlakuan blastospora tiga jenis JPS terlihat pada Gambar 3. Seluruh perlakuan berbeda nyata dengan kontrol negatif dan tidak berbeda nyata dengan kontrol positif. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan blastospora *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* mampu memberikan efek menghambat serangan *H. hampei* yang sama dengan kontrol positif yang menggunakan insektisida nabati berbahan aktif α -eleostearic acid.

Penghambatan menggerek setelah perlakuan blastospora JPS ini diduga akibat infeksi dapat menurunkan kemampuan serangga untuk membuat gerakan pada buah kopi. Blastospora JPS diduga menghasilkan senyawa metabolit sekunder yang dapat mencegah proses makan dari serangga inang. Hasil review Prayogo & Suharsono, (2005) diketahui bahwa miselium jamur *L. lecanii* mampu melumpuhkan inangnya karena menghasilkan senyawa *cyclodepsipeptide*, *bassianolide*, asam *dipicolinic* dan *C25 compounds*. Senyawa *C25 compounds* ini menurut Pranata, Ratnasari, Isnawati, & Prayogo (2014) bersifat antimakan (*antifeedant*). Penelitian yang dilakukan oleh Indriati, Samsudin, & Amaria (2015) menunjukkan bahwa jamur *L. lecanii* mampu mengurangi makan sebesar 83,04% dari nimfa *H. antonii* pada pucuk tanaman teh di laboratorium.



Gambar 2. Keefektifan blastospora *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* pada kumbang *H. hampei*
Figure 2. Effectiveness of *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* and *L. lecanii* blastospores to *H. hampei* beetles



Gambar 3. Rata-rata persentase hambatan menggerek kumbang *H. hampei* pada buah kopi setelah aplikasi blastospora *P. fumosoroseus* P1-P4 (10^8 , 10^7 , 10^6 dan 10^5 blastospora/ml), *M. anisopliae* M1-M4 (10^8 , 10^7 , 10^6 dan 10^5 blastospora/ml), dan *L. lecanii* L1-L4 (10^8 , 10^7 , 10^6 dan 10^5 blastospora/ml), K0 kontrol negatif dan K1 Biotris

Figure 3. Average borer inhibitions of *H. hampei* on coffee cherries after applications blastospores of *P. fumosoroseus* P1-P4 (10^8 , 10^7 , 10^6 , 10^5 blastospore/ml), *M. anisopliae* M1-M4 (10^8 , 10^7 , 10^6 , 10^5 blastospore/ml), *L. lecanii* L1-L4 (10^8 , 10^7 , 10^6 , 10^5 blastospore/ml), K0 negative control and K1 Biotris

Tabel 3. Rata-rata penurunan persentase jumlah telur dan larva *H. hampei*
Table 3. Average percentage reduction in the number of eggs and larvae of *H. Hampei*

Perlakuan	Jumlah telur (butir)	Jumlah larva (ekor)	Penurunan jumlah telur (%)	Penurunan jumlah larva (%)
P1	14,75 de	14,75 de	67,32 ab	69,53 ab
P2	20,00 bcd	19,00 bcd	55,93 bcd	60,64 bcd
P3	20,25 bcd	19,25 bcd	54,78 bcd	59,93 bcd
P4	24,50 b	20,50 bc	45,55 cd	57,62 cd
M1	9,75 e	12,50 e	78,72 a	74,02 a
M2	16,75 cd	13,25 e	63,38 abc	73,01 a
M3	16,75 cd	17,75 bcde	63,40 abc	63,33 abcd
M4	20,75 bcd	22,25 b	53,84 bcd	53,81 d
L1	16,50 cde	15,75 cde	63,91 abc	67,37 abc
L2	23,75 b	18,00 bcde	46,31 cd	62,75 abcd
L3	23,25 bc	18,00 bcde	48,86 bcd	62,73 abcd
L4	24,50 b	22,75 b	45,97 cd	52,98 d
Kontrol (+)	25,75 b	20,25 bcd	43,09 d	57,74 cd
Kontrol (-)	45,75 a	48,25 a	-	-

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT taraf 5%
Notes: Numbers followed by the same letters in same column are not significantly different according to DMRT test at 5% levels

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semua perlakuan blastospora dari tiga jenis JPS berpengaruh nyata terhadap rata-rata jumlah telur dan larva yang hidup di dalam buah kopi dibandingkan dengan kontrol negatif (K0), sehingga menyebabkan persentase penurunan jumlah telur dan larva yang signifikan (Tabel 3). Jumlah telur paling sedikit ditemukan pada perlakuan M1 (*M. anisopliae* dengan kerapatan 10^8 blastospora/ml) yaitu 9,75 butir dengan penurunan

jumlahnya dibandingkan dengan kontrol (-) sebesar 78,72%. Sedangkan jumlah larva paling sedikit pada perlakuan M1 dan M2 berturut-turut sebanyak 12,50 dan 13,25 ekor, dengan penurunan jumlah larva dibandingkan dengan kontrol (-) sebesar 74,02% dan 73,01%. Rata-rata penurunan jumlah telur dan larva akibat perlakuan blastospora JPS berturut-turut pada kisaran 43,09 – 78,72% dan 52,98 – 74,02%. Hasil ini menunjukkan bahwa blastospora JPS selain mampu

mematikan (*insecticidal*) dan menghambat makan (*antifeedant*) juga bersifat menghambat peneluran (*antioviposition*) terhadap imago *H. hampei*.

Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa blastospora jamur *P. fumosoroseus* lebih bersifat insektisidal dibandingkan dengan *M. anisopliae* dan *L. lecanii*, karena tingkat mortalitas *H. hampei* lebih tinggi (Tabel 2). Sedangkan blastospora jamur *M. anisopliae* bersifat antioviposisi karena jumlah telur dan larva PBKo lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan lainnya (Tabel 3). Ketiga jenis JPS diduga menghasilkan metabolit sekunder yang bersifat *antifeedant* sehingga mampu menurunkan jumlah gergaji *H. hampei* pada buah kopi.

KESIMPULAN

Blastospora *P. fumosoroseus*, *M. anisopliae* dan *L. lecanii* mampu menginfeksi dan mematikan imago *H. hampei*. Mortalitas PBKo tertinggi pada perlakuan jamur *P. fumosoroseus* kerapatan 10^8 blastospora/ml sebesar 39,91%. Blastospora ketiga jenis JPS juga dapat menurunkan jumlah gergaji imago PBKo pada buah kopi dengan persentase penurunan tertinggi pada perlakuan *L. lecanii* 10^6 blastospora/ml sebesar 28,57%. Ketiga jenis blastospora JPS mampu menurunkan jumlah telur dan larva yang hidup di dalam buah kopi secara signifikan jika dibandingkan dengan kontrol negatif. Jumlah telur dan larva *H. hampei* pada perlakuan *M. anisopliae* kerapatan 10^8 blastospora/ml paling sedikit, yaitu 9,75 butir telur dan 12,43 larva, dengan persentase penurunan sebesar 78,69% untuk telur dan 74,24% untuk larva. Blastospora dari 3 jenis JPS berpotensi untuk dikembangkan sebagai pengendali hama PBKo alternatif, ramah lingkungan dan dapat berkembang secara alamiah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Sumantri sebagai teknisi litkayasa di Laboratorium Proteksi Tanaman, Balittri dan Maulidia Nur Asifa mahasiswa magang dari Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten yang telah membantu penelitian.

KONTRIBUTOR PENULIS

1. Samsudin (Kontributor Utama)
2. Khaerati (Kontributor Anggota)
3. Gusti Indriati (Kontributor Anggota)
4. Arlia Dwi Hapsari (Kontributor Anggota)

DAFTAR PUSTAKA

- Alkhaibari, A. M., Carolino, A. T., Yavasoglu, S. I., Maffei, T., Mattoso, T. C., Bull, J. C., ... Butt, T. M. (2016). *Metarhizium brunneum* blastospore pathogenesis in *Aedes aegypti* larvae: Attack on several fronts accelerates mortality. *PLoS Pathogens*, 12(7), 1-19.
- Alkhaibari, A. M., Lord, A. M., Maffei, T., Bull, J. C., Olivares, F. L., Samuels, R. I., & Butt, T. M. (2018). Highly specific host-pathogen interactions influence *Metarhizium brunneum* blastospore virulence against *Culex quinquefasciatus* larvae. *Virulence*, 9(1), 1449-1467.
<https://doi.org/10.1080/21505594.2018.1509665>
- Anggarawati, S. H., Santoso, T., & Anwar, R. (2018). Penggunaan cendawan entomopatogen *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin dan *Lecanicillium lecanii* (Zimm) Zare & Gams untuk mengendalikan *Helopeltis antonii* Sign (Hemiptera: Miridae). *Jurnal Silviculture Tropika*, 8(3), 197-202.
- Apriyanto, D., & Nadrawati. (2019). Laboratory evaluation of Bengkulu isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against coffee berry borer, *Hypothenemus hampei*, using spraying method. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 19(2), 93.
<https://doi.org/10.23960/j.hptt.21993-100>
- Balakrishnan, M. M., & Naik, P. R. (2014). Infectivity of ten *Metarhizium anisopliae* isolates to the coffee berry borers *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(5), 246-249.
- Bernardo, C. C., Barreto, L. P., e Silva, C. de S. R., Luz, C., Arruda, W., & Fernandes, É. K. K. (2018). Conidia and blastospores of *Metarhizium* spp. and *Beauveria bassiana* s.l.: Their development during the infection process and virulence against the tick *Rhipicephalus microplus*. *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 9(5), 1334-1342.
<https://doi.org/10.1016/j.ttbdis.2018.06.001>
- Bustillo, A. E., Bernal, M. G., Benavides, P., & Chaves, B. (1999). Dynamics of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* infecting *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) populations emerging from fallen coffee berries. *The Florida Entomologist*, 82(4), 491. <https://doi.org/10.2307/3496468>
- Correa, B., Duarte, V., Silva, D., Moura Mascarin, G., & Delalibera, I. (2020). Comparative analysis of blastospore production and virulence of *Beauveria bassiana* and *Cordyceps fumosorosea* against soybean pests. *BioControl*, 6(5), 323-337.
<https://doi.org/10.1007/s10526-020-09999-6>

- Dias, B. A., Neves, P. M. O. J., Furlaneto-Maia, L., & Furlaneto, M. C. (2008). Cuticle-degrading proteases produced by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* in the presence of coffee berry borer cuticle. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39(2), 301–306. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822008000200019>
- Han, J. H., Jin, B. R., Kim, J. J., & Lee, S. Y. (2014). Mycobiology virulence of entomopathogenic fungi *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces fumosoroseus* for the microbial control of *Spodoptera exigua*. *Mycobiology*, 42(4), 385–390.
- Hayata, H. (2016). Hubungan persentase serangan hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr. (Coleoptera: Curculionidae)) dengan dugaan kehilangan hasil di Kecamatan Betara Tanjung Jabung Barat. *Jurnal Media Pertanian*, 1(2), 85–90.
- Hegedus, D. D., Bidochka, M. J., Miranpuri, G. S., & Khachatourians, G. G. (1992). A comparison of the virulence, stability and cell-wall-surface characteristics of three spore types produced by the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 36(6), 785–789. <https://doi.org/10.1007/BF00172195>
- Hendry, N., Daud, I. D., & Agus, N. (2016). Efektivitas *Beauveria bassiana* dan *Penicillium* sp. dalam pengendalian *Hypothenemus hampei* Ferr. pada tanaman kopi. *J. Sains & Teknologi*, 16(1), 81–86. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(9\).3936-42](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(9).3936-42)
- Indriati, G., Samsudin, & Amaria, W. (2015). Potensi *Lecanicillium lecanii* untuk pengendalian *Helopeltis antonii* pada tanaman teh. *Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar*, 2(2), 99–106.
- Jaramillo, J. L., Montoya, E. C., Benavides, P., & Góngora B, C. E. (2015). *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* mix to control the coffee berry borer in soil fruits. *Revista Colombiana de Entomologia*, 41(1).
- Jaronski, S. T., & Mascarini, G. M. (2017). Mass production of fungal entomopathogens. In *microbial control of insect and mite pests: From theory to practice* (pp. 141–155). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00009-3>
- Jaronski, Stefan T. (2016). *Mass Production of Entomopathogenic Fungi: State of the Art. Chapter 9, PART III, Mass Production, Formulation and Quality Control* (pp:141-155). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803527-6.00009-3>
- Laila, M. S. I., Agus, N., & Saranga, A. P. (2011). Aplikasi konsep pengendalian hama terpadu untuk pengendalian hama bubuk buah kopi (*Hypothenemus hampei*). *Jurnal Fitomedika*, 7(3), 162–166.
- Lozano-Contreras, M. G., Elías-Santos, M., Rivas-Morales, C., Luna-Olvera, H. A., Galán-Wong, L. J., & Maldonado-Blanco, M. G. (2007). *Paecilomyces fumosoroseus* blastospore production using liquid culture in a bioreactor. *African Journal of Biotechnology*, 6(18), 2095–2099.
- Meilin, A., Nasamsir, N., & Riyanto, S. (2017). Tingkat serangan hama utama dan produksi kopi liberika tunggal komposit (*Coffea* sp.) di Kecamatan Betara Kabupaten Tanjung Jabung Barat. *Jurnal Media Pertanian*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.33087/jagro.v2i1.121>
- Nuryanti, N. S. P., Wibowo, L., & Azis, A. (2012). Penambahan beberapa jenis bahan nutrisi pada media perbanyakan untuk meningkatkan virulensi *Beauveria bassiana* terhadap hama walang sangit. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 12(1), 64–70. <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11264-70>
- Pham, T. A., Kim, J. J., Kim, S. G., & Kim, K. (2009). Production of blastospore of entomopathogenic submerged batch culture. *Mycobiology*, 37(3), 218–224.
- Pranata, R., Ratnasari, E., Isnawati, & Prayogo, Y. (2014). Penggunaan cendawan entomopatogen *Lecanicillium lecanii* untuk menanggulangi hama penggerek polong kedelai *Etiella zinckenella* secara in Vitro. *Jurnal LenteraBio*, 3(3), 168–173.
- Prayogo, Y., & Suharsono. (2005). Optimalisasi pengendalian hama pengisap polong kedelai (*Riptortus linearis*) dengan cendawan entomopatogen *Verticillium lecanii*. *Jurnal Litbang Pertanian*, 24(4), 123–130.
- Prayogo, Y., Tengkano, W., & Marwoto. (2005). Prospek cendawan entomopatogen *Metarhizium anisopliae* untuk mengendalikan ulat grayak *Spodoptera litura* pada kedelai. *Jurnal Litbang Pertanian*, 24(1), 19–26.
- Samuels, R. I., Pereira, R. C., & Gava, C. A. T. (2002). Infection of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Scolytidae) by Brazilian isolates of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycotina: Hyphomycetes). *Biocontrol Science and Technology*, 12(5), 631–635. <https://doi.org/10.1080/0958315021000016298>

- Setiawati, W., Murtiningsih, R., & Hasyim, A. (2011). Laboratory and field evaluation of essential oils from *Cymbopogon nardus* as oviposition deterrent and ovicidal activities against *Helicoverpa armigera* hubner on chili pepper. *Indonesian Journal of Agricultural Science*, 12(1), 9–16. <https://doi.org/10.21082/ijas.v12n1.2011.p9-16>
- Sulistiyowati, E., Mangoendihardjo, S., & Wagiman, F. X. (1999). Respon fungsional parasitoid *Cephalonomia stephanoderis* Betr. terhadap bubuk buah kopi, *Hypothenemus hampei* ferr. *Pelita Perkebunan*, 15(2), 101–108.
- Wiriyadiputra, S. (2014). Pola distribusi hama penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei*) pada kopi arabika and robusta. *Pelita Perkebunan*, 30(2), 123–136. <https://doi.org/10.22302/icri.jur.pelitaperkebunan.v30i2.5>

MITRA BESTARI
JURNAL TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR
VOLUME 7 NOMOR 3 2020

Prof. (R). Dr. Supriadi, M.Sc.

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Fitopatologi

Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M.Agr.

Institut Pertanian Bogor
Pascapanen Pertanian

Prof. (R). Dr. Ir. Joni Munarso, M.S.

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian
Teknologi Pascapanen

Dr. Ir. Dono Wahyuno

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Fitopatologi

Reflinur, SP., MSi., Ph.D

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik
Bioteknologi

Prof. Dr. Ir. Jajang Sauman Hamdani, MS

Universitas Padjadjaran
Budidaya Pertanian

Ir. Octivia Trisilawati, M.Sc

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Budidaya Tanaman

Dr. Ika Roostika Tambunan, S.P.,b M.Si

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik
Bioteknologi Pertanian

Dr. Ir. Joko Pitono

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat
Budidaya Tanaman

Afik Hardanto, S.TP., M.Sc., PhD

Universitas Jenderal Soedirman
Teknik Pertanian

KETENTUAN PENULISAN NASKAH

JURNAL TANAMAN INDUSTRI DAN PENYEGAR

CAKUPAN

Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar (JTIDP) adalah *peer-reviewed open access* jurnal yang menerbitkan hasil penelitian tanaman industri (karet, makadamia, iles-iles, kemiri, melinjo, kemiri sunan) dan tanaman penyegar (kopi, kakao, teh, asam, cola) yang belum pernah dipublikasikan sebelumnya.

Lingkup **Jurnal Tanaman Industri Dan Penyegar (JTIDP)** adalah:

1. Lingkup bidang ilmu/keilmuan: Pertanian Mikrobiologi, Sosial-Ekonomi Pertanian, Agronomi, Bioteknologi Tanaman, Pemuliaan Tanaman, Perlindungan Tanaman, Fisiologi Tanaman, Ilmu Tanah, Teknologi Benih
2. Lingkup tanaman komoditas utama: karet, kopi, kakao, teh, kemiri sunan
3. Lingkup tanaman komoditas sekunder: makadamia, melinjo, asam, iles-iles, kola, kemiri

PENGAJUAN NASKAH

Naskah yang diajukan belum pernah diterbitkan atau tidak sedang dalam proses evaluasi publikasi lain, telah mendapat persetujuan dari tim penulis sebagai pihak yang sama-sama bertanggung jawab terhadap naskah. Naskah dikirim melalui portal *Open Journal System* dengan alamat:

<http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/index.php/bultri>

Pengiriman naskah disertai surat pengantar dari kepala unit dan *Ethical Statement*, serta *Copyright Transfer Agreement* jika naskah disetujui terbit.

PENYIAPAN NASKAH

Naskah: Ditulis dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris, diketik pada kertas HVS ukuran A4 dengan jarak 2 spasi, dalam format *Microsoft Office Word*, jenis dan ukuran font *Times New Roman* 12, dan disarankan tidak lebih dari 20 halaman. Susunan naskah terdiri dari: Judul, Nama dan Institusi Penulis, Abstrak dan Kata kunci, *Abstract* dan *Keywords*, Pendahuluan, Bahan dan Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terimakasih (apabila diperlukan), dan Daftar Pustaka.

Judul: Ringkas, jelas, menggambarkan isi dan substansi tulisan, tidak lebih dari 15 kata, ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris dengan huruf kapital.

Nama dan Institusi Penulis: Nama penulis ditulis lengkap tanpa gelar, penulis pertama adalah penulis utama. Nama dan alamat institusi ditulis lengkap untuk penulis pertama, kedua, ketiga, dan seterusnya, serta dilengkapi alamat email penulis korespondensi dan diberikan tanda *.

Abstrak: Merupakan intisari dari seluruh tulisan, memuat masalah, tujuan, metode (dilengkapi tempat dan waktu), dan hasil penelitian. Ditulis satu paragraf dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris serta tidak lebih dari 250 kata.

Kata kunci: Kata yang mewakili isi naskah, dapat berupa kata tunggal atau majemuk, terdiri atas tiga sampai dengan lima kata, dan ditulis dalam Bahasa Indonesia serta Bahasa Inggris

Pendahuluan: Memuat latar belakang, perumusan masalah, tujuan, dan sitasi pustaka yang relevan.

Bahan dan Metode: Memuat uraian tentang tempat dan waktu, bahan, tahapan pelaksanaan, dan metode analisis yang digunakan.

Hasil dan Pembahasan: Hasil yang dikemukakan relevan dengan permasalahan dan tujuan penelitian, serta metode dan peubah yang digunakan. Pembahasan ditulis dengan ringkas, fokus pada interpretasi dari hasil yang diperoleh, dan bukan merupakan pengulangan dari bagian hasil.

a. Tabel: Tabel diberi judul singkat tetapi jelas dengan keterangan dan sumber secukupnya sehingga disajikan secara mandiri. Semua simbol, istilah, dan singkatan dalam tabel harus dijelaskan pada keterangan. Tiap tabel diberi nomor secara berurutan dan diulas di dalam naskah. Judul, keterangan, dan sumber ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.

b. Gambar dan foto: Tiap gambar dan foto diberi nomor secara berurutan dan diulas dalam naskah. Semua simbol dan singkatan harus dijelaskan. Judul, keterangan, dan sumber ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Resolusi gambar dan foto disarankan tidak lebih dari 300 dpi dengan kualitas normal.

c. Grafik dan diagram: Grafik dan diagram dibuat dengan garis yang cukup tebal sehingga memungkinkan penciutan dalam proses pencetakan. Tiap grafik dan diagram diberi nomor secara berurutan dan diulas dalam naskah. Semua simbol, istilah, dan singkatan harus dijelaskan. Judul, keterangan, dan sumber ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris.

Kesimpulan: Uraian singkat dalam bentuk kalimat utuh yang menjawab tujuan dan permasalahan penelitian, bila perlu dilengkapi dengan saran atau implikasi.

Ucapan Terima Kasih: Ditujukan kepada pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan kegiatan atau pendanaan.

Kontribusi Penulis: Menjelaskan kontribusi penulis pada tulisan ini dengan menyebutkan pembagian porsi masing-masing penulis sebagai kontributor utama atau kontributor anggota.

Daftar Pustaka: Jumlah pustaka minimal sepuluh dan 80% berasal dari sumber acuan primer, serta dianjurkan terbitan lima tahun terakhir. Penyusunan daftar pustaka wajib menggunakan aplikasi manajemen referensi seperti *Mendeley* atau *Endnote*. Daftar pustaka disusun secara alfabetis, nama penulis yang sama ditulis lengkap dan disusun berdasarkan tahun terlama. Penulisan daftar pustaka dan sitasi dalam naskah mengacu pada *American Psychological Association 6th edition (APA) style*. Penjelasan cara penulisan daftar pustaka dan sitasi dapat diunduh di <http://balittri.litbang.pertanian.go.id/index.php/publikasi/category/58-ketentuan-penulisan>

Contoh penulisan sitasi:

1. Satu atau dua orang penulis
Herman & Pranowo (2013)
2. Nama penulis 3 sampai 5, nama belakang untuk semua penulis ditulis pada saat pertama kali, selanjutnya hanya nama belakang penulis pertama diikuti *et al.*
Waller, Bigger, Hillocks, & Ruth (2007)
Waller *et al.* (2007)
3. Nama penulis 6 atau lebih, hanya nama belakang penulis pertama diikuti *et al.*
Karmawati *et al.* (2010)
4. Sitasi lebih dari satu dalam satu pernyataan disusun berdasarkan tahun terlama.
(Midgarden & Lira, 2006; Martono *et al.*, 2013)
5. Nama penulis yang sama dalam tahun yang sama dengan publikasi berbeda dibubuhi huruf (a,b,c, dan seterusnya) pada tahun publikasi.
(Widyotomo, 2012a; Widyotomo, 2012b)

Contoh penulisan daftar pustaka:

Artikel Jurnal

Herman, M., & Pranowo, D. (2013). Pengaruh mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan dan serapan hara P benih kakao (*Theobroma cacao* L.). *Buletin Riset Tanaman Rempah dan Aneka Tanaman Industri*, 4(2), 129–138.

Buku

Karmawati, E., Mahmud, Z., Syakir, M., Ardana, I. K., Munarso, J., & Rubiyo. (2010). *Budidaya dan pasca panen kakao* (p. 92). Bogor: Badan Litbang Pertanian.

Artikel dalam buku

Wardiana, E. (2012). Pengembangan konsep interaksi genotipe dengan lingkungan (GxE) untuk mendukung rantai nilai kopi. In Rubiyo, Syafaruddin, B. Martono, R. Harni, U. Daras, & E. Wardiana (Eds.), *Bunga Rampai: Inovasi Teknologi Tanaman Kopi untuk Perkebunan Rakyat* (pp. 35–46). Sukabumi: Unit Penerbitan dan Publikasi Balittri.

Disertasi / Tesis / Skripsi

Milly, P. J. (2003). *Antimicrobial properties of liquid smoke fractions* (Master's Thesis, University of Georgia, Athens, Georgia).

Naskah Prosiding

Martono, B., Rubiyo, Rudi, T. S., & Udarno, M. L. (2013). Seleksi pohon induk kopi excelsa. In *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Kopi: Peran Inovasi Teknologi Kopi Menuju Green Economy Nasional* (pp. 43–46). Bogor, 28 Agustus 2013.

Naskah Online

Garson, G. D. (2008). *Path analysis*. Retrieved from <http://www2.faculty.chass.ncsu.edu/garson/pa765/path.htm>.

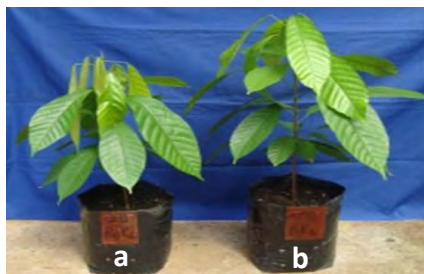
Contoh penampilan tabel:

Tabel 1. Pengaruh berbagai jenis tanaman penangung terhadap persentase tanaman berbuah tanaman kopi Arabika umur 9 bulan
 Table 1. Effect of various shading trees on percentage of fruit set of coffee at 9 months old

Jenis tanaman penangung	Intensitas cahaya matahari (%)	Tanaman berbuah (%)
Ceremai	80	30,56 a
Belimbing wuluh	66	22,22 a
Kayumanis	78	16,67 a
Gliricidia	34	83,34 b
KK (%)	-	42,82

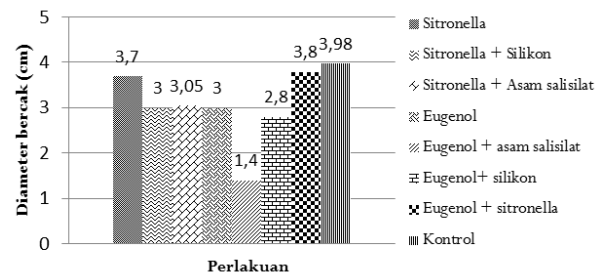
Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada uji Tukey taraf 5%
 Notes : Numbers followed by the same letter in the same column are not significantly different at Tukey test 5% level

Contoh penampilan gambar/foto:

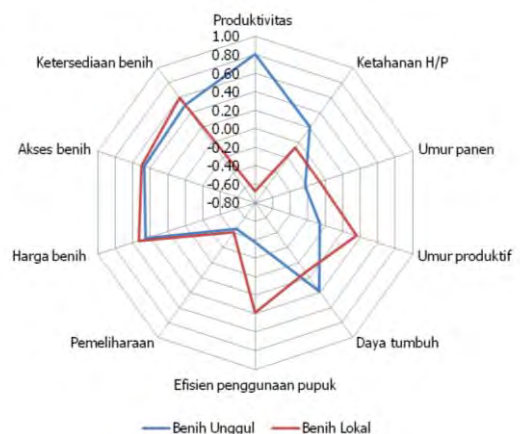


Gambar 1. Pertumbuhan bibit kakao hibrida: (a) tanpa perlakuan dan (b) perlakuan benih dengan media tanam
 Figure 1. Growth of hybrid cacao seedlings: (a) without treatment and (b) with seed treatment and planting medium

Contoh penampilan grafik/diagram:



Gambar 1. Pengaruh formula fungisida nabati eugenol dan sitronella terhadap diameter bercak *P. palmivora* pada buah kakao
 Figure 1. The effect of eugenol and citronella botanical fungicides to colony diameter of *P. palmivora* on cocoa pods



Gambar 1. Peta persepsi petani terhadap atribut benih unggul dan benih lokal
 Figure 1. Farmer's perception map for superior and local coffee seed attributes



9 772356 129070