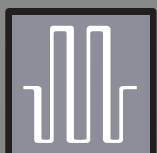


jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Impact of Land Use Change to Dependable Flow in Kuncir River, Nganjuk District, East Java

Liyantono, Dept. of Mechanical and Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Technology,
Bogor Agricultural University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia.

E-mail: liyantono@apps.ipb.ac.id

Fajardo, Orang Tua Group, Jakarta Barat 11740, Indonesia. Email: fajardoid@yahoo.com

Tasuku Kato, Dept. of Ecoregion Science, Faculty of Agriculture,
Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu Campus, Fuchu-shi, Tokyo 183-8538, Japan.
Email: taskkato@cc.tuat.ac.jp

Abstract

Currently, Kuncir River is a source of irrigation water in the southern of Nganjuk District. The potential of Kuncir River was assessed by measuring the dependable flow as an indicator of water supply for irrigated areas. The objective of this study was to estimate the river discharge and its dependable flow for irrigation from Kuncir River in Nganjuk District. River discharge data was collected from Kuncir River, rainfall data was collected from Nganjuk District, East Java and climate data was collected from climatology station of Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan, Nganjuk. There were two major steps on this study which were model development and model simulation using SWAT after calibration and validation. Model simulation showed NS value of 0.67 with mean daily flow of $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Based on land use change scenario, the conversion of 50% on forest and 50% on range-grasses into agriculture land could increase 3.1% and 2.5% of average river discharge, respectively.

Keywords: Kuncir River, dependable flow, SWAT

Abstrak

Sungai Kuncir merupakan sumber air irigasi di bagian selatan Kabupaten Nganjuk. Potensi Sungai Kuncir dapat dikaji melalui perhitungan debit andalan untuk dijadikan indikator jumlah pemenuhan air di daerah irigasi. Penelitian ini bertujuan menduga debit air sungai dan menghitung besar debit andalan untuk irigasi pada Sungai Kuncir, Kabupaten Nganjuk. Data debit sungai dikumpulkan langsung di Sungai Kuncir, data hujan dikumpulkan dari Dinas PU dan Pengairan Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur, dan data iklim dikumpulkan dari stasiun kimatologi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan, Nganjuk. Penelitian dilakukan melalui dua tahap, yaitu proses pembangunan model dan proses simulasi dengan SWAT setelah melalui proses kalibrasi dan validasi. Simulasi model memiliki nilai NS sebesar 0.67 dan debit rata-rata harian sebesar $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Skenario perubahan lahan menggambarkan konversi 50% lahan hutan dan 50% semak belukar menjadi lahan pertanian berpotensi meningkatkan nilai debit rata-rata Sungai Kuncir masing-masing sebesar 3.1% dan 2.5%.

Kata kunci: Sungai Kuncir, debit andalan, SWAT

Diterima: 22 Februari 2016; Disetujui: 04 April 2016

Introduction

Water shortages during dry season potentially decrease agricultural production in Indonesia. One of the affected areas is Nganjuk District located in the Eastern part of Java Island. Nganjuk District is a wide agricultural area and needs an efficient water management especially during dry season (Liyantono *et al.* 2013). Kuncir River is one of

irrigation source located in Southern of Nganjuk District (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Nganjuk, 2012). This river receives runoff, irrigation and domestic waste drain that flows into Brantas River where its water managed for agriculture, industry, tourism, mining, energy and water supply. The potency of Kuncir River can be assessed by measuring its dependable flow as an indicator of water supply to the community area.

Dependable flow is the total of the available flow to supply the water needs according to its probability. Dependable flow is measured to quantify the available planned flow of a river basin which is calculated on probability concept (Pereira *et al.* 1984).

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a GIS tools based on spatially distributed watershed and that can be used to estimate impacts of watershed management on water flow, sediment and agricultural chemical yields of long periods in large ungauged basins (Arnold *et al.* 1998, Srinivasan *et al.* 1998). SWAT is based on physics, efficient on computations and capable to make long time simulations. Major components of SWAT are weather, hydrology, soil, plant growth, nutrients, pesticides and land management. Herewith, a watershed is divided into subwatersheds having unique soil/landuse characteristics which is called hydrologic response units (HRUs) (Arnold *et al.* 1998, Srinivasan *et al.* 1998).

The objective of this research is to estimate Kuncir River flow and to obtain the dependable flow for irrigation. To achieve this objective, a widely used parameters of SWAT was selected. The ability of SWAT to simulate various hydrological processes was also explored by applying different objective functions and statistical analysis.

Materials and Methods

Studied Area

Figure 1a shows Kuncir River Sub-Basin, Nganjuk District, East Java. Kuncir River is located on the Southern part of Nganjuk District (Fig.1b). The outlet for this study was chosen based on the monitoring points on the field observation, located at 7.672 °S and 111.843 °E covering an area of 96.29 km². The river flows into the Brantas River. The covered area is predominated by flat lowland in the northern parts and mountains in the southern parts. The elevation varies from 75 to 2535 m.

Data Source and Description

Digital Elevation Model (DEM) was derived from Indonesia Elevation Map (Peta Kontur Rupa Bumi Indonesia) 2001. Daily weather data (temperature, precipitation, wind speed, radiation and humidity) was collected from climatology station of Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan located in the watershed (Fig.1b). Precipitation data was collected from Public Works and Irrigation Services Nganjuk District. The climate data ranged from 2010 to 2013 which matched with the period of field observation. Land use was derived from Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) of Nganjuk District with scale 1:25,000. Soil type was derived from landsystem map of Java Island with scale 1:250,000. Three soil classes were found in studied area which was differed by the soil texture and drainage type. There were 3 hydrology classes, type A, B and D. Daily discharge for the period of 2010 to 2013 was used to calibrate and validate SWAT.

Modeling Process

Modeling process was divided into two big steps: data preparation and model simulation. Inputted data for the sub-basin was prepared and followed by: (i) watershed delineation and derivation of sub-basin characteristization, (ii) hydrological response unit definition, (iii) model running and parameter sensitivity analysis, and (iv) calibration and validation of the model including uncertainty analysis. Model results considered acceptable if coefficient of determination (R^2) greater than 0.5. If $R^2 < 0.5$, calibration and validation then performed using Nash-Sutcliffe (NS) efficiency model to known how well the plot of observed versus simulated value fits the 1:1 line. The model was satisfactory if NS reach 0.5 and $R^2 > 0.5$ (Moriasi *et al.* 2007, Santi *et al.* 2001). Another step was calculated the dependable flow using Weibull method after validation the model.

The total precipitation (PRECIP) was the major inflow component, whereas the actual

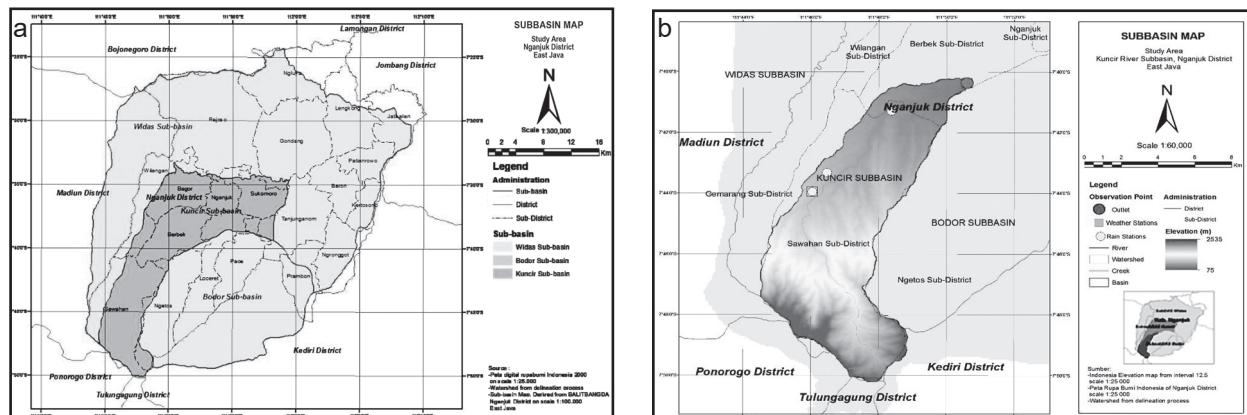


Figure 1. Location of basin and sub-basins (a) and elevation of Kuncir River Sub-basin in Nganjuk District, East Java (b).

Table 1. Selected hydrologic parameters for sensitivity analysis.

Parameter	Process	Rank	Variation range	Fitted value
Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (CH_K2 in mm h^{-1})	Channel flow	1	0 - 150	0.160
SCS curve number (CN2)	Runoff	2	$\pm 25\%$	0.196
Base flow recession constant (ALPHA_BF in days)	Groundwater	3	0 - 1	0.510
Surface runoff lag coefficient (SURLAG)	Groundwater	4	0 - 10	0.129
Manning's roughness coefficient for main channel (CH_N2)	Channel flow	5	0 - 1	0.313

evapotranspiration (ET) and the basin water yield (WYLD) were the major outflow components. The WYLD in the SWAT model is defined as the summation of the surface water flow (Q_{surf}), the water that enters the stream from soil profile as lateral flow contribution (Q_{lat}) and the water that returns to the stream from the shallow aquifer also known as groundwater contribution (Q_{gw}) minus the total loss of water from the tributary channels as a transmission through the bed and finally reach the shallow aquifer as recharge. Another component was the percolation below the root zone commonly called groundwater recharge (PERC), which could be an inflow for flow at downstream of the subbasins. The water that remains in the soil profile of each subbasin is then considered as the soil water (SW) remaining at the end of the period.

Landuse Scenario

Land use change scenario was developed to know the impact sensitivity of land use change on Kuncir River flow. Land use change is tending to agricultural land because majority people in this area are farmer. These scenarios were:

1. Partial Deforestation to Agriculture (PFA). This scenario manipulates the forest land cover by decrease 50% of forest area and convert it to agricultural land.
2. Partial Range-Grasses to Agriculture (PRA). This scenario manipulates the range-grasses land cover by decrease 50% of range-grasses area and convert it to agricultural land.

Model Calibration

After the first run (simulation) of the model, the responsiveness of different parameters was identified through sensitivity analysis. There were 4 (four) sensitive parameters to get high accuracy of predicted flow: SCS-Curve Number (CN2), available groundwater capacity (SOL_AWC), evaporation compensation factor (ESCO) and alpha base flow recession factor (ALPHA_BF) (Ferijal 2012). Since every basin have different characteristic, the sensitivity analysis was performed to define the rank of the most sensitive parameter on predicted

flow. The fine tuning of the sensitive parameters then resulted in ranked outputs that show how the catchment behaves under the given conditions (see Table 1).

Model calibration of SWAT model can be performed automatically by comparing the observed flow and predicted flow. The observed data was daily flow for 2010-2013 period obtained from Kuncir monitoring station. Statistic indicators used for calibration was coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe efficiency (NS) such as recommended by The American of Civil Engineers (Ahl *et al.* 2008).

Model Validation

The validation of the model was performed using flowdata at Kuncir monitoring station. Observed flow then compared with the calibrated flow resulted from SWAT model. The comparison between the calibrated flow and observed flow was done using NS model. Modeling process will be continue if NS is on the satisfied category (NS >0.5) and validated with R^2 factor (>0.5) (Moriasi *et al.* 2007).

Results and Discussion

Parameter Sensitivity Analysis and Calibration Model

The Results from the sensitivity analysis in form of hydrological parameter (see Table 1) showed different responses and the most sensitive parameters on the output flow. The parameters were ranked from the highest impact on simulation and changed through the calibration process. For example, CN2 before the analysis was 15 and after the analysis was performed, it changed to 0.196.

Sensitivity analysis result for 2010-2013 period shows the model had higher ranges than the observed flow with NS -1.09 and R^2 0.40. The averaged value of observed data was $6.93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and model data was $6.67 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. The daily average was relatively similar between observed and model data though NS value was categorized here as poor caused by the uncalibrated parameters that could

Table 2. Annual water balance components at Kuncir outlet (all values are in millimetres of water).

Year	PRECIP	ET	Q_{lat}	Q_{surf}	Q_{gw}	WYLD	PERC	SW
2010	5443.90	1541.68	1261.26	1916.47	205.11	3375.94	494.04	49.70
2011	3194.10	954.95	754.96	1262.10	168.62	2180.32	291.48	45.63
2012	2608.60	937.42	631.61	840.27	101.64	1568.70	229.73	43.15
2013	3800.00	1244.24	945.68	1236.72	175.98	2351.49	360.92	29.25

Table 3. Water balance components at Kuncir outlet for land use change scenario.

Scenario	Q_{ave} ($m^3 s^{-1}$)	Q_{lat} ($mm yr^{-1}$)	Q_{surf} ($mm yr^{-1}$)	Q_{gw} ($mm yr^{-1}$)	WYLD ($mm yr^{-1}$)	PERC ($mm yr^{-1}$)
Control	7.15	898.38	1313.89	162.84	2369.11	344.04
PFA	7.37	744.82	1565.85	119.23	2423.91	264.89
PRA	7.33	778.09	1477.25	162.84	2412.21	330.58

underestimate the observed flow. The averaged flow for the auto-calibration model was $7.15 m^3 s^{-1}$ with NS 0.67 and R^2 0.67 that shows better performance based on the recommendation from previous experiments (Santhi et al. 2001, Moriasi et al. 2007, Fiseha et al. 2012).

Time series of precipitation shows similar fluctuations with weir discharge (Fig.2). The lower discharge on June to November (dry season period) related to the precipitation data. Water discharge is affected by many factors but among these factors, rainfall and land use are the two most often researched (Wei et al. 2007). This condition occurred because the rain intensity and duration, which affect the amount of infiltration, groundwater and surface flow (Muchtar and Abdullah 2007).

Water Balance

The annual water balance for the entire subbasin is shown in Table 2. The total precipitation (PRECIP) was the major inflow component, whereas the actual evapotranspiration (ET) and the basin water yield (WYLD) were the major outflow components. The maximum value of WYLD occurred in 2010, and minimum in 2012. WYLD is highly affected by Q_{lat} and Q_{surf} , contrast with Q_{gw} and T_{Loss} which have smaller impact on WYLD changes. In 2010 and

2012, Q_{lat} were 37.36% and 40.26%, Q_{surf} 56.77% and 53.56%, SW 49.70 mm and 43.15 mm.

In the period of 2010-2013, precipitation was high throughout the years. The increase of precipitation is associated with hydrological components, and influences WYLD. Maximum WYLD is related to groundwater flow. One of factors affects the groundwater contribution according to Fiseha et al. (2012) is the land cover characteristic was dominated by agriculture and mixed urban areas that can potentially minimize the infiltration potential of the soil and increase runoff coefficient. The lower contribution of surface flow is disagree with Fiseha et al. (2012) and NJIT (2010). The possible factors to affect the surface flow are: the dominance of soil characteristics, soil water and temporal distribution of precipitation.

Dependable Flow

Dependable flow resulted from model has similar shape with the observed data (Fig.3). Dependable flow was derived from monthly mean flow of the observed data on 80% probability for 2010-2013 periods. Previous experiments by Indarto et al. 2012 and Indra 2012 stated that dependable flow was the minimum discharge on a probability used to calculate the planned flow from a water source.

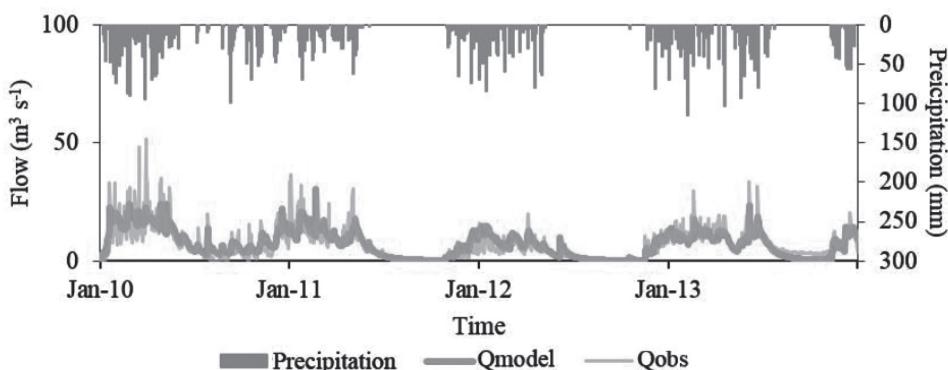


Figure 2. Auto-calibration results for daily flow at Kuncir outlet (2010-2013).

It means that 80% probability is only 80% of the minimum water discharge to be supplied for the area.

Flow duration curve (FDC) which was calculated in logarithmic scale (Fig.4) shows the model performs well with the observed data. FDC was made by ranking the highest value of data to the lowest value of data. Probability was then given to according the rank and then plotted with the water discharge. Logarithmic FDC performs well and produces globally less biased estimates than linear FDC. The raw data was logarithmically transformed to avoid negative estimates. The advantage in applying this method is that it keeps most of the dataset variance in a limited number of shape functions and to reduce the influence of the largest observed values (Sauquet and Catalogne 2011).

FDC divided the dependable flow into 3 groups: Q_0 - Q_{10} for high flow, Q_{20} - Q_{60} for medium flow and Q_{70} - Q_{100} for low flow. Q_{10} in FDC has the high flow ($14.90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) meaning that this flow has low proportion (10%) on 2010-2013 period. Q_{100} has the lowest flow ($0.13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) which can be considered as the minimum flow in Kuncir River. Mohamoud (2008) described furthermore the three categories of water (river) flow. High flow primarily occurs because of the intense storm rain. Medium flow is variated in every region, depended on dryness index, elevation proportion and percentage of soil water. Low flow is depended on dryness index and available water capacity ration in every layer of soil.

Impact of Land Use Change on Water Flow

Simulation in land use change scenario indicates an increase of river discharge (Fig.5) and is also

visualized in FDC (Fig.6). PFA converts 50% on forest (approximately 17.58% of watershed area) into agricultural land. This scenario resulted in higher average of water discharge ($7.37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) than the control simulation. Water balance components of PFA on Table 3 also have an increase of surface water contribution and water yield for 19.17% and 2.31% and the decrease of lateral and base flow contribution of 17.09% and 26.78%. A total of 50% of range-grasses field (approximately 12.8% of watershed area) is converted to agricultural field in PRA scenario. Daily mean flow in PRA is $7.33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and shows the increase of water discharge on control simulation. Similar to PFA, water yield is also increased by 1.82%. Higher contribution is showed by surface flow (12.43%) and lower contribution is showed by lateral flow (13.39%).

Model simulation for both scenarios indicates an increase on Kuncir River flow as well as the increase of conversion of forest and range-grasses. FDC shows that both scenarios have different response to probability of exceedance. PRA in 10% probability have the higher dependable flow. Otherwise, PFA and control have lower dependable flow. Three experiments have similar water discharge (~ $19.18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in 2% probability of exceedance. Different response is showed by PRA and PFA on 80% probability of exceedance. PRA have lower water discharge (under control simulation) of $1.16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and PFA have higher water discharge (above control simulation) of $1.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Although water discharge was increased, the increasing is small. Based on the model, forest, range-grasses, and agricultural land cover were almost have same impact to dependable flow.

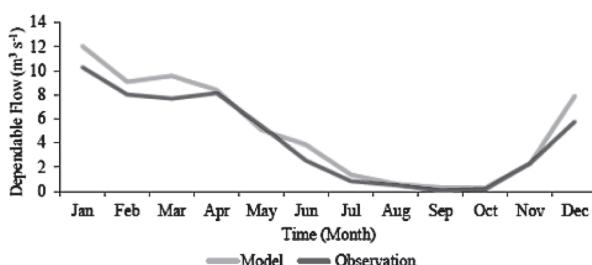


Figure 3. Monthly dependable flow from period 2010-2013 on 80% probability.

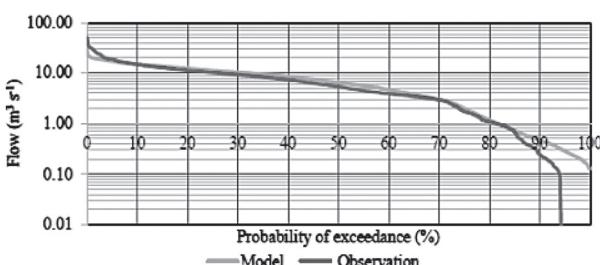


Figure 4. Flow duration curves for Kuncir outlet.

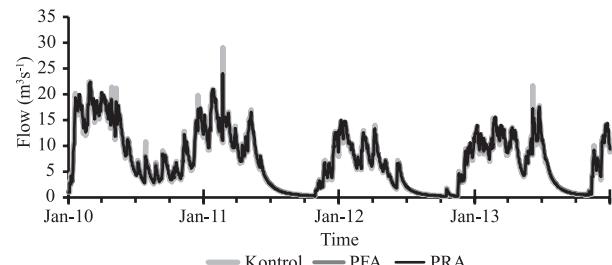


Figure 5. Daily water flow resulted from two land use change simulations.

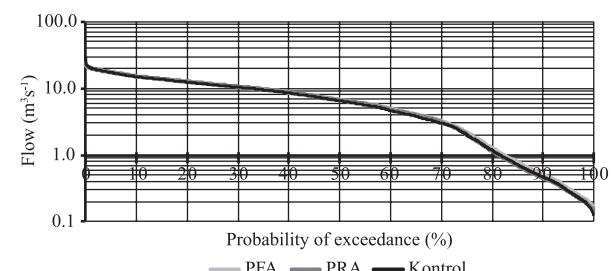


Figure 6. Flow duration curves for Kuncir outlet for two land use change scenario.

Conclusion

SWAT model has been succeed to calibrate and validate in the study area, which located in Kuncir River Subbasin, Nganjuk District, using time series data of precipitation and water discharge. Model simulation is well correlated with observed flow with NS 0.67. Average flow of model simulation is $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, very close to actual average of observation flow ($6.93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Water balance components analysis showed that precipitation is highly related to water yield, which affects the river flow. High correlation between model and observed flow is also showed by FDC, which explains the river flow on probability of exceedance in a period of time. FDC is derived from dependable flow analysis on 80% probability. Land use change scenario draws the sensitivity of Kuncir River flow on land conversion very well. The conversion of forest and range-grasses into agricultural land is potentially less increasing the water discharge of Kuncir River.

Acknowledgements

The authors are grateful and appreciate to Public Works and Irrigation Service of Nganjuk District for allowing to use weather and other data.

References

- Ahl RS, Woods SW, Zuurig HR. 2008. Hydrologic calibration and validation of SWAT in a snow-dominated rocky mountain watershed. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(6):1411.
- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. 1998. Large Area Hydrologic Model and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1):73-89.
- Ferjali T. 2012. Prediksi hasil limpasan permukaan dan laju erosi dari subDAS Krueng Jreu menggunakan model SWAT. *Jurnal Agrisa*. 16(1):29-38.
- Fiseha BM, Setegn SG, Melesse AM, Volpi E, Fiori A. 2012. Hydrological analysis of the upper Tiber River basin, Central Italy: a watershed modelling approach. *Hydrological Processes*. doi: 10.1002/hyp.9234.
- Indarto A, Juwono PT, Rispingintati. 2012. Kajian potensi Sungai Srinjing untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri. *Jurnal Teknik Pengairan*. 3(2):174-184.
- Indra Z. 2012. Analisis debit Sungai Munte dengan metode Mock dan metode NRECA untuk kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Sipil Statik*. 1(1):34-38.
- Liyantono, Kato T, Kuroda H, Yoshida K. 2013. GIS analysis of conjunctive water resource use in Nganjuk District, East Java, Indonesia. Barker R (Editor). *Paddy and Water Environment*. ISSN 1611-2490. doi: 10.1007/s10333-011-0304-0.
- Muchtar A, Abdullah N. 2007. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi debit Sungai Mamasa. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 2(1):174-187.
- Mohamoud YM. 2008. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Journal Hydrological Sciences*. 53(4):706-724.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3):885-900.
- [NJIT] New Jersey Institute of Technology. 2010. SWAT modelling analysis for the Neshanic River Watershed [Internet]. [downloaded 2013 Dec 1]. Available at: <http://ims.njit.edu/neshanic/docs/plan/AppFSWATModelingReport.pdf>.
- Pereira MVF, Oliveira GC, Costa CCG, Kelman J. 1984. Stochastic Streamflow Models for Hydroelectric Systems. *Water Resources Research*. 20: 379-390.
- Santhi CA, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Houck LM. 2001. Validation of SWAT model on a larger river basin with point and non point sources. *Journal of the American Water Resources Association*. 37(5):1169-1188.
- Sauquet E, and Catalogne C. 2011. Comparison of catchment grouping methods for flow duration curve estimation at ungauged sites in France. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15:2421-2435. doi:10.5194/hess-15-2421-2011.
- Srinivasan R, Ramanarayanan TS, Arnold JG, Bednarz ST. 1998. Large Area Hydrologic Model and Assessment Part II: Model Application. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1):91-101.
- Wei W, Chen LD, Fu BJ, Huang ZL, Wu DP, Gui LD. 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*. 335: 247–25.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Impact of Land Use Change to Dependable Flow in Kuncir River, Nganjuk District, East Java

Liyantono, Dept. of Mechanical and Biosystem Engineering, Faculty of Agricultural Technology,
Bogor Agricultural University, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia.

E-mail: liyantono@apps.ipb.ac.id

Fajardo, Orang Tua Group, Jakarta Barat 11740, Indonesia. Email: fajardoid@yahoo.com

Tasuku Kato, Dept. of Ecoregion Science, Faculty of Agriculture,
Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu Campus, Fuchu-shi, Tokyo 183-8538, Japan.
Email: taskkato@cc.tuat.ac.jp

Abstract

Currently, Kuncir River is a source of irrigation water in the southern of Nganjuk District. The potential of Kuncir River was assessed by measuring the dependable flow as an indicator of water supply for irrigated areas. The objective of this study was to estimate the river discharge and its dependable flow for irrigation from Kuncir River in Nganjuk District. River discharge data was collected from Kuncir River, rainfall data was collected from Nganjuk District, East Java and climate data was collected from climatology station of Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan, Nganjuk. There were two major steps on this study which were model development and model simulation using SWAT after calibration and validation. Model simulation showed NS value of 0.67 with mean daily flow of $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Based on land use change scenario, the conversion of 50% on forest and 50% on range-grasses into agriculture land could increase 3.1% and 2.5% of average river discharge, respectively.

Keywords: Kuncir River, dependable flow, SWAT

Abstrak

Sungai Kuncir merupakan sumber air irigasi di bagian selatan Kabupaten Nganjuk. Potensi Sungai Kuncir dapat dikaji melalui perhitungan debit andalan untuk dijadikan indikator jumlah pemenuhan air di daerah irigasi. Penelitian ini bertujuan menduga debit air sungai dan menghitung besar debit andalan untuk irigasi pada Sungai Kuncir, Kabupaten Nganjuk. Data debit sungai dikumpulkan langsung di Sungai Kuncir, data hujan dikumpulkan dari Dinas PU dan Pengairan Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur, dan data iklim dikumpulkan dari stasiun kimatologi Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan, Nganjuk. Penelitian dilakukan melalui dua tahap, yaitu proses pembangunan model dan proses simulasi dengan SWAT setelah melalui proses kalibrasi dan validasi. Simulasi model memiliki nilai NS sebesar 0.67 dan debit rata-rata harian sebesar $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Skenario perubahan lahan menggambarkan konversi 50% lahan hutan dan 50% semak belukar menjadi lahan pertanian berpotensi meningkatkan nilai debit rata-rata Sungai Kuncir masing-masing sebesar 3.1% dan 2.5%.

Kata kunci: Sungai Kuncir, debit andalan, SWAT

Diterima: 22 Februari 2016; Disetujui: 04 April 2016

Introduction

Water shortages during dry season potentially decrease agricultural production in Indonesia. One of the affected areas is Nganjuk District located in the Eastern part of Java Island. Nganjuk District is a wide agricultural area and needs an efficient water management especially during dry season (Liyantono *et al.* 2013). Kuncir River is one of

irrigation source located in Southern of Nganjuk District (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Nganjuk, 2012). This river receives runoff, irrigation and domestic waste drain that flows into Brantas River where its water managed for agriculture, industry, tourism, mining, energy and water supply. The potency of Kuncir River can be assessed by measuring its dependable flow as an indicator of water supply to the community area.

Dependable flow is the total of the available flow to supply the water needs according to its probability. Dependable flow is measured to quantify the available planned flow of a river basin which is calculated on probability concept (Pereira *et al.* 1984).

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) is a GIS tools based on spatially distributed watershed and that can be used to estimate impacts of watershed management on water flow, sediment and agricultural chemical yields of long periods in large ungauged basins (Arnold *et al.* 1998, Srinivasan *et al.* 1998). SWAT is based on physics, efficient on computations and capable to make long time simulations. Major components of SWAT are weather, hydrology, soil, plant growth, nutrients, pesticides and land management. Herewith, a watershed is divided into subwatersheds having unique soil/landuse characteristics which is called hydrologic response units (HRUs) (Arnold *et al.* 1998, Srinivasan *et al.* 1998).

The objective of this research is to estimate Kuncir River flow and to obtain the dependable flow for irrigation. To achieve this objective, a widely used parameters of SWAT was selected. The ability of SWAT to simulate various hydrological processes was also explored by applying different objective functions and statistical analysis.

Materials and Methods

Studied Area

Figure 1a shows Kuncir River Sub-Basin, Nganjuk District, East Java. Kuncir River is located on the Southern part of Nganjuk District (Fig.1b). The outlet for this study was chosen based on the monitoring points on the field observation, located at 7.672 °S and 111.843 °E covering an area of 96.29 km². The river flows into the Brantas River. The covered area is predominated by flat lowland in the northern parts and mountains in the southern parts. The elevation varies from 75 to 2535 m.

Data Source and Description

Digital Elevation Model (DEM) was derived from Indonesia Elevation Map (Peta Kontur Rupa Bumi Indonesia) 2001. Daily weather data (temperature, precipitation, wind speed, radiation and humidity) was collected from climatology station of Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Sawahan located in the watershed (Fig.1b). Precipitation data was collected from Public Works and Irrigation Services Nganjuk District. The climate data ranged from 2010 to 2013 which matched with the period of field observation. Land use was derived from Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) of Nganjuk District with scale 1:25,000. Soil type was derived from landsystem map of Java Island with scale 1:250,000. Three soil classes were found in studied area which was differed by the soil texture and drainage type. There were 3 hydrology classes, type A, B and D. Daily discharge for the period of 2010 to 2013 was used to calibrate and validate SWAT.

Modeling Process

Modeling process was divided into two big steps: data preparation and model simulation. Inputted data for the sub-basin was prepared and followed by: (i) watershed delineation and derivation of sub-basin characterization, (ii) hydrological response unit definition, (iii) model running and parameter sensitivity analysis, and (iv) calibration and validation of the model including uncertainty analysis. Model results considered acceptable if coefficient of determination (R^2) greater than 0.5. If $R^2 < 0.5$, calibration and validation then performed using Nash-Sutcliffe (NS) efficiency model to known how well the plot of observed versus simulated value fits the 1:1 line. The model was satisfactory if NS reach 0.5 and $R^2 > 0.5$ (Moriasi *et al.* 2007, Santi *et al.* 2001). Another step was calculated the dependable flow using Weibull method after validation the model.

The total precipitation (PRECIP) was the major inflow component, whereas the actual

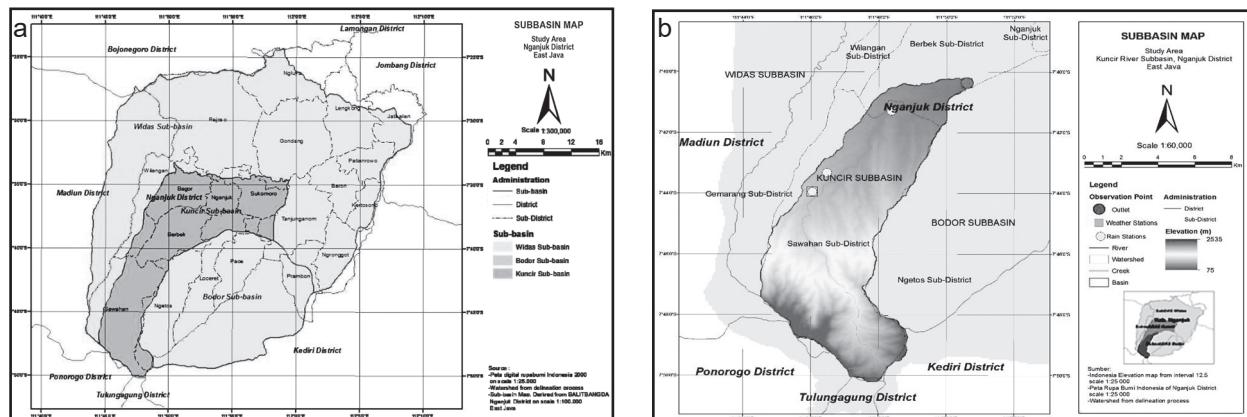


Figure 1. Location of basin and sub-basins (a) and elevation of Kuncir River Sub-basin in Nganjuk District, East Java (b).

Table 1. Selected hydrologic parameters for sensitivity analysis.

Parameter	Process	Rank	Variation range	Fitted value
Effective hydraulic conductivity in main channel alluvium (CH_K2 in mm h^{-1})	Channel flow	1	0 - 150	0.160
SCS curve number (CN2)	Runoff	2	$\pm 25\%$	0.196
Base flow recession constant (ALPHA_BF in days)	Groundwater	3	0 - 1	0.510
Surface runoff lag coefficient (SURLAG)	Groundwater	4	0 - 10	0.129
Manning's roughness coefficient for main channel (CH_N2)	Channel flow	5	0 - 1	0.313

evapotranspiration (ET) and the basin water yield (WYLD) were the major outflow components. The WYLD in the SWAT model is defined as the summation of the surface water flow (Q_{surf}), the water that enters the stream from soil profile as lateral flow contribution (Q_{lat}) and the water that returns to the stream from the shallow aquifer also known as groundwater contribution (Q_{gw}) minus the total loss of water from the tributary channels as a transmission through the bed and finally reach the shallow aquifer as recharge. Another component was the percolation below the root zone commonly called groundwater recharge (PERC), which could be an inflow for flow at downstream of the subbasins. The water that remains in the soil profile of each subbasin is then considered as the soil water (SW) remaining at the end of the period.

Landuse Scenario

Land use change scenario was developed to know the impact sensitivity of land use change on Kuncir River flow. Land use change is tending to agricultural land because majority people in this area are farmer. These scenarios were:

1. Partial Deforestation to Agriculture (PFA). This scenario manipulates the forest land cover by decrease 50% of forest area and convert it to agricultural land.
2. Partial Range-Grasses to Agriculture (PRA). This scenario manipulates the range-grasses land cover by decrease 50% of range-grasses area and convert it to agricultural land.

Model Calibration

After the first run (simulation) of the model, the responsiveness of different parameters was identified through sensitivity analysis. There were 4 (four) sensitive parameters to get high accuracy of predicted flow: SCS-Curve Number (CN2), available groundwater capacity (SOL_AWC), evaporation compensation factor (ESCO) and alpha base flow recession factor (ALPHA_BF) (Ferijal 2012). Since every basin have different characteristic, the sensitivity analysis was performed to define the rank of the most sensitive parameter on predicted

flow. The fine tuning of the sensitive parameters then resulted in ranked outputs that show how the catchment behaves under the given conditions (see Table 1).

Model calibration of SWAT model can be performed automatically by comparing the observed flow and predicted flow. The observed data was daily flow for 2010-2013 period obtained from Kuncir monitoring station. Statistic indicators used for calibration was coefficient of determination (R^2) and Nash-Sutcliffe efficiency (NS) such as recommended by The American of Civil Engineers (Ahl *et al.* 2008).

Model Validation

The validation of the model was performed using flowdata at Kuncir monitoring station. Observed flow then compared with the calibrated flow resulted from SWAT model. The comparison between the calibrated flow and observed flow was done using NS model. Modeling process will be continue if NS is on the satisfied category (NS >0.5) and validated with R^2 factor (>0.5) (Moriasi *et al.* 2007).

Results and Discussion

Parameter Sensitivity Analysis and Calibration Model

The Results from the sensitivity analysis in form of hydrological parameter (see Table 1) showed different responses and the most sensitive parameters on the output flow. The parameters were ranked from the highest impact on simulation and changed through the calibration process. For example, CN2 before the analysis was 15 and after the analysis was performed, it changed to 0.196.

Sensitivity analysis result for 2010-2013 period shows the model had higher ranges than the observed flow with NS -1.09 and R^2 0.40. The averaged value of observed data was $6.93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and model data was $6.67 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. The daily average was relatively similar between observed and model data though NS value was categorized here as poor caused by the uncalibrated parameters that could

Table 2. Annual water balance components at Kuncir outlet (all values are in millimetres of water).

Year	PRECIP	ET	Q_{lat}	Q_{surf}	Q_{gw}	WYLD	PERC	SW
2010	5443.90	1541.68	1261.26	1916.47	205.11	3375.94	494.04	49.70
2011	3194.10	954.95	754.96	1262.10	168.62	2180.32	291.48	45.63
2012	2608.60	937.42	631.61	840.27	101.64	1568.70	229.73	43.15
2013	3800.00	1244.24	945.68	1236.72	175.98	2351.49	360.92	29.25

Table 3. Water balance components at Kuncir outlet for land use change scenario.

Scenario	Q_{ave} ($m^3 s^{-1}$)	Q_{lat} ($mm yr^{-1}$)	Q_{surf} ($mm yr^{-1}$)	Q_{gw} ($mm yr^{-1}$)	WYLD ($mm yr^{-1}$)	PERC ($mm yr^{-1}$)
Control	7.15	898.38	1313.89	162.84	2369.11	344.04
PFA	7.37	744.82	1565.85	119.23	2423.91	264.89
PRA	7.33	778.09	1477.25	162.84	2412.21	330.58

underestimate the observed flow. The averaged flow for the auto-calibration model was $7.15 m^3 s^{-1}$ with NS 0.67 and R^2 0.67 that shows better performance based on the recommendation from previous experiments (Santhi et al. 2001, Moriasi et al. 2007, Fiseha et al. 2012).

Time series of precipitation shows similar fluctuations with weir discharge (Fig.2). The lower discharge on June to November (dry season period) related to the precipitation data. Water discharge is affected by many factors but among these factors, rainfall and land use are the two most often researched (Wei et al. 2007). This condition occurred because the rain intensity and duration, which affect the amount of infiltration, groundwater and surface flow (Muchtar and Abdullah 2007).

Water Balance

The annual water balance for the entire subbasin is shown in Table 2. The total precipitation (PRECIP) was the major inflow component, whereas the actual evapotranspiration (ET) and the basin water yield (WYLD) were the major outflow components. The maximum value of WYLD occurred in 2010, and minimum in 2012. WYLD is highly affected by Q_{lat} and Q_{surf} , contrast with Q_{gw} and T_{Loss} which have smaller impact on WYLD changes. In 2010 and

2012, Q_{lat} were 37.36% and 40.26%, Q_{surf} 56.77% and 53.56%, SW 49.70 mm and 43.15 mm.

In the period of 2010-2013, precipitation was high throughout the years. The increase of precipitation is associated with hydrological components, and influences WYLD. Maximum WYLD is related to groundwater flow. One of factors affects the groundwater contribution according to Fiseha et al. (2012) is the land cover characteristic was dominated by agriculture and mixed urban areas that can potentially minimize the infiltration potential of the soil and increase runoff coefficient. The lower contribution of surface flow is disagree with Fiseha et al. (2012) and NJIT (2010). The possible factors to affect the surface flow are: the dominance of soil characteristics, soil water and temporal distribution of precipitation.

Dependable Flow

Dependable flow resulted from model has similar shape with the observed data (Fig.3). Dependable flow was derived from monthly mean flow of the observed data on 80% probability for 2010-2013 periods. Previous experiments by Indarto et al. 2012 and Indra 2012 stated that dependable flow was the minimum discharge on a probability used to calculate the planned flow from a water source.

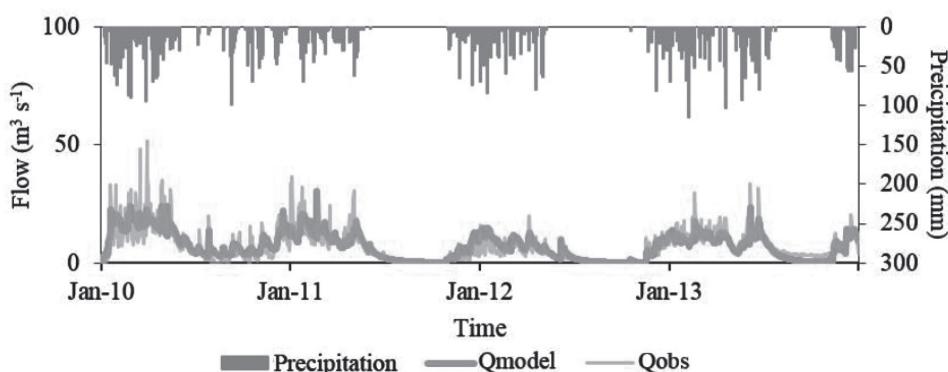


Figure 2. Auto-calibration results for daily flow at Kuncir outlet (2010-2013).

It means that 80% probability is only 80% of the minimum water discharge to be supplied for the area.

Flow duration curve (FDC) which was calculated in logarithmic scale (Fig.4) shows the model performs well with the observed data. FDC was made by ranking the highest value of data to the lowest value of data. Probability was then given to according the rank and then plotted with the water discharge. Logarithmic FDC performs well and produces globally less biased estimates than linear FDC. The raw data was logarithmically transformed to avoid negative estimates. The advantage in applying this method is that it keeps most of the dataset variance in a limited number of shape functions and to reduce the influence of the largest observed values (Sauquet and Catalogne 2011).

FDC divided the dependable flow into 3 groups: Q_0 - Q_{10} for high flow, Q_{20} - Q_{60} for medium flow and Q_{70} - Q_{100} for low flow. Q_{10} in FDC has the high flow ($14.90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) meaning that this flow has low proportion (10%) on 2010-2013 period. Q_{100} has the lowest flow ($0.13 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) which can be considered as the minimum flow in Kuncir River. Mohamoud (2008) described furthermore the three categories of water (river) flow. High flow primarily occurs because of the intense storm rain. Medium flow is variated in every region, depended on dryness index, elevation proportion and percentage of soil water. Low flow is depended on dryness index and available water capacity ration in every layer of soil.

Impact of Land Use Change on Water Flow

Simulation in land use change scenario indicates an increase of river discharge (Fig.5) and is also

visualized in FDC (Fig.6). PFA converts 50% on forest (approximately 17.58% of watershed area) into agricultural land. This scenario resulted in higher average of water discharge ($7.37 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) than the control simulation. Water balance components of PFA on Table 3 also have an increase of surface water contribution and water yield for 19.17% and 2.31% and the decrease of lateral and base flow contribution of 17.09% and 26.78%. A total of 50% of range-grasses field (approximately 12.8% of watershed area) is converted to agricultural field in PRA scenario. Daily mean flow in PRA is $7.33 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and shows the increase of water discharge on control simulation. Similar to PFA, water yield is also increased by 1.82%. Higher contribution is showed by surface flow (12.43%) and lower contribution is showed by lateral flow (13.39%).

Model simulation for both scenarios indicates an increase on Kuncir River flow as well as the increase of conversion of forest and range-grasses. FDC shows that both scenarios have different response to probability of exceedance. PRA in 10% probability have the higher dependable flow. Otherwise, PFA and control have lower dependable flow. Three experiments have similar water discharge (~ $19.18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) in 2% probability of exceedance. Different response is showed by PRA and PFA on 80% probability of exceedance. PRA have lower water discharge (under control simulation) of $1.16 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ and PFA have higher water discharge (above control simulation) of $1.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Although water discharge was increased, the increasing is small. Based on the model, forest, range-grasses, and agricultural land cover were almost have same impact to dependable flow.

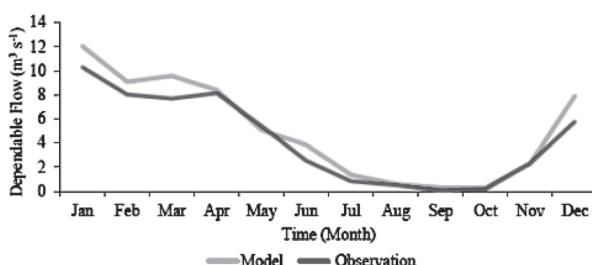


Figure 3. Monthly dependable flow from period 2010-2013 on 80% probability.

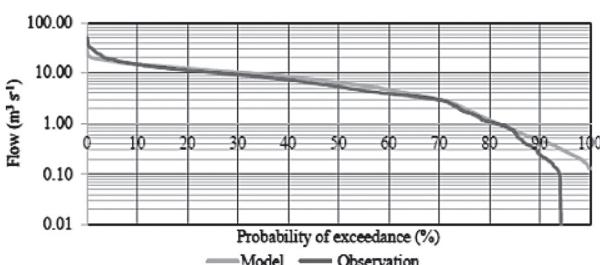


Figure 4. Flow duration curves for Kuncir outlet.

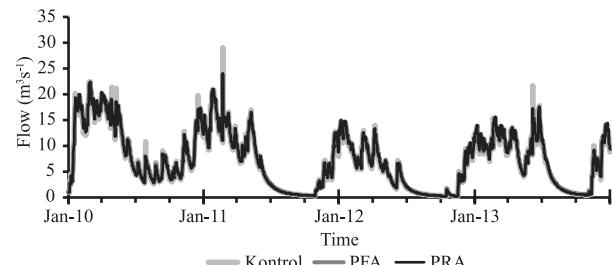


Figure 5. Daily water flow resulted from two land use change simulations.

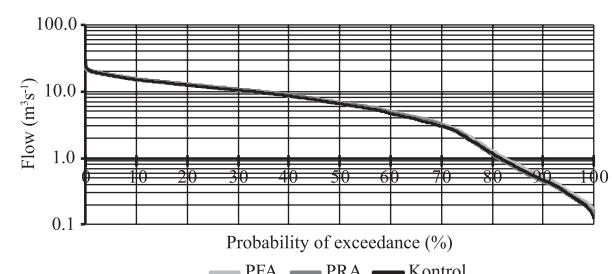


Figure 6. Flow duration curves for Kuncir outlet for two land use change scenario.

Conclusion

SWAT model has been succeed to calibrate and validate in the study area, which located in Kuncir River Subbasin, Nganjuk District, using time series data of precipitation and water discharge. Model simulation is well correlated with observed flow with NS 0.67. Average flow of model simulation is $7.15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, very close to actual average of observation flow ($6.93 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Water balance components analysis showed that precipitation is highly related to water yield, which affects the river flow. High correlation between model and observed flow is also showed by FDC, which explains the river flow on probability of exceedance in a period of time. FDC is derived from dependable flow analysis on 80% probability. Land use change scenario draws the sensitivity of Kuncir River flow on land conversion very well. The conversion of forest and range-grasses into agricultural land is potentially less increasing the water discharge of Kuncir River.

Acknowledgements

The authors are grateful and appreciate to Public Works and Irrigation Service of Nganjuk District for allowing to use weather and other data.

References

- Ahl RS, Woods SW, Zuurig HR. 2008. Hydrologic calibration and validation of SWAT in a snow-dominated rocky mountain watershed. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(6):1411.
- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. 1998. Large Area Hydrologic Model and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1):73-89.
- Ferjali T. 2012. Prediksi hasil limpasan permukaan dan laju erosi dari subDAS Krueng Jreu menggunakan model SWAT. *Jurnal Agrisa*. 16(1):29-38.
- Fiseha BM, Setegn SG, Melesse AM, Volpi E, Fiori A. 2012. Hydrological analysis of the upper Tiber River basin, Central Italy: a watershed modelling approach. *Hydrological Processes*. doi: 10.1002/hyp.9234.
- Indarto A, Juwono PT, Rispingintati. 2012. Kajian potensi Sungai Srinjing untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri. *Jurnal Teknik Pengairan*. 3(2):174-184.
- Indra Z. 2012. Analisis debit Sungai Munte dengan metode Mock dan metode NRECA untuk kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Sipil Statik*. 1(1):34-38.
- Liyantono, Kato T, Kuroda H, Yoshida K. 2013. GIS analysis of conjunctive water resource use in Nganjuk District, East Java, Indonesia. Barker R (Editor). *Paddy and Water Environment*. ISSN 1611-2490. doi: 10.1007/s10333-011-0304-0.
- Muchtar A, Abdullah N. 2007. Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi debit Sungai Mamasa. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 2(1):174-187.
- Mohamoud YM. 2008. Prediction of daily flow duration curves and streamflow for ungauged catchments using regional flow duration curves. *Journal Hydrological Sciences*. 53(4):706-724.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 50(3):885-900.
- [NJIT] New Jersey Institute of Technology. 2010. SWAT modelling analysis for the Neshanic River Watershed [Internet]. [downloaded 2013 Dec 1]. Available at: <http://ims.njit.edu/neshanic/docs/plan/AppFSWATModelingReport.pdf>.
- Pereira MVF, Oliveira GC, Costa CCG, Kelman J. 1984. Stochastic Streamflow Models for Hydroelectric Systems. *Water Resources Research*. 20: 379-390.
- Santhi CA, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Houck LM. 2001. Validation of SWAT model on a larger river basin with point and non point sources. *Journal of the American Water Resources Association*. 37(5):1169-1188.
- Sauquet E, and Catalogne C. 2011. Comparison of catchment grouping methods for flow duration curve estimation at ungauged sites in France. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15:2421-2435. doi:10.5194/hess-15-2421-2011.
- Srinivasan R, Ramanarayanan TS, Arnold JG, Bednarz ST. 1998. Large Area Hydrologic Model and Assessment Part II: Model Application. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1):91-101.
- Wei W, Chen LD, Fu BJ, Huang ZL, Wu DP, Gui LD. 2007. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China. *Journal of Hydrology*. 335: 247–25.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Desain dan Uji Kinerja Fungsional Sistem Penggerak dan Kendali ROVERGARD

Design and Functional Test of Drive and Control System on ROVERGARD

Moh Fikri Pomalingo, Sekolah Pasca Sarjana, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan,
Institut Pertanian Bogor. Email: moh.fikripomalingo@yahoo.co.id

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: iwan_radit@yahoo.com

I Dewa Made Subrata, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: dewamadesubrata@yahoo.com

Abstract

The high population rate has an impact on increasing of land function change from agricultural land become housing and commercial building. As a result, it is difficult to get land for planting in the urban area. Therefore, this research is aimed to design equipment that can be used for planting in the narrow land using vertical gardening. This paper will report about design and functional testing of drive and control system on ROVERGARD. Drive system is based on water pump with additional gear train and chain-sprocket mechanism. Control system use was on open loop type based on timer. The performance test of drive system was focused on electrical energy consumption and rotational speed of the system that was measured by multifunctional mini ammeter and tachometer. The control system was tested during 4 days, to evaluate their performances between set point and actual timing while filling water tank and rotate the system at maximal load condition. Electrical power consumption was 208 W at average rotational speed 2703 rpm. Increasing load caused an increase of energy consumption but made the drive rotation decline. The position control performance had on position error around 50 cm. Consequently, setting time on timer must be adjusted.

Keywords: Vertical Garden, tower garden, mechanical circulate garden

Abstrak

Laju pertumbuhan penduduk yang tinggi, mengakibatkan tingginya alih fungsi lahan pertanian menjadi bangunan perumahan dan komersial. Masalah ini mengakibatkan sulitnya mencari lahan pertanian di daerah padat penduduk khususnya perkotaan. Oleh karena itu perlu dirancang sebuah alat yang dapat digunakan untuk bercocok tanam di lahan sempit. Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain dan menguji sistem penggerak dan kendali pada ROVERGARD. Sistem penggerak berasal dari pompa air yang dimodifikasi. Sedangkan sistem kendali menggunakan tipe *open loop* berbasis waktu dimana timer sebagai komponen utamanya. Pengujian kinerja penggerak difokuskan pada konsumsi listrik dan rpm yang diukur menggunakan *multifunctional mini ammeter* dan *tachometer*. Sistem kendali diuji selama 4 hari. Hasil pengujian kinerja penggerak menunjukkan bahwa pada kondisi pengisian penampung dan beban maksimal. Daya listrik yang dihasilkan adalah 208 W dimana putaran penggerak adalah 2703 rpm. Penambahan beban pada pot berbanding lurus dengan konsumsi listrik yang dihasilkan, namun berbanding terbalik dengan putaran penggerak. Sementara itu, kinerja sistem kendali belum maksimal, karena masih terdapat kesalahan posisi yang mencapai 50 cm, karenanya pengaturan waktu pada timer harus diperbaiki.

Kata Kunci: pertanian vertikal, menara tanaman, taman berputar.

Diterima: 17 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Populasi manusia yang terus bertambah menjadi salah satu alasan terjadinya alih fungsi lahan pertanian (Nakatani *et al.* 2015). Oleh karena itu, Sistem Pertanian Vertical (SPV) merupakan solusi terbaik bercocok tanam di daerah padat penduduk khususnya perkotaan (Davis *et. al.* 2015). Disamping untuk mengefisiensikan lahan, sistem ini juga dapat memperoleh hasil yang lebih banyak dengan penggunaan lahan terbatas. Manfaat lain dari SPV diantaranya, dapat menurunkan temperatur udara di perkotaan (DeNardo *et al.* 2005), menyerap polusi dari kendaraan bermotor (Yang *et al.* 2008; Rowe 2011), menjaga keseimbangan ekologi perkotaan (Wong *et al.* 2003; Dunnett and Kingsbury, 2004), menciptakan udara segar (Davis *et al.* 2015), dan mengurangi jumlah asap kendaraan (Van Renterghem dan Botteldooren 2009). Secara umum, dapat dikatakan bahwa SPV penggunaan lahannya tidak terbatas karena tanaman di susun ke atas seperti halnya apartemen, sedangkan Sistem Pertanian Horizontal (SPH) penggunaan lahannya sangat terbatas.

SPV yang ada saat ini, pada umumnya digunakan untuk membudidayakan tanaman bunga dan sayuran. Tanaman bunga yang digunakan, hanya untuk sistem pendingin alami yang memanfaatkan hasil dari respirasi tanaman sebagai pendingin dan penghasil udara segar. Namun sistem ini hanya memiliki tinggi maksimal 3 m dan tidak memberikan manfaat dari segi ekonomis (Davis *et al.* 2015).

Tipe *roof gardens* (Yuen *et al.* 2005; Matta E *et al.* 2009; Ugai 2015) dan *sky gardens* (Tian *et al.* 2012) juga banyak dikembangkan. Tipe ini lebih dikhkususkan untuk penambahan ruang terbuka hijau di daerah perkotaan. Sehingga dapat dijadikan tempat untuk berwisata dan bermain untuk anak-anak. Meskipun memberikan lahan terbuka hijau pada areal yang sempit khususnya perkotaan, namun tipe-tipe tersebut masih terdapat kekurangan. Konsep *roof garden* dan *sky garden* pada dasarnya sama, karena memanfaatkan bagian atap dan dinding bangunan untuk areal pertanian. Akan tetapi konsep ini tidak efektif untuk daerah tropis seperti di Indonesia. Karena curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan rembesan air yang dapat merusak bangunan. Selain itu konsep *roof garden* yang dilakukan oleh Matta *et al.* (2009) memiliki biaya yang mahal dan sulit untuk diterapkan pada negara-negara berkembang.

SPV untuk budidaya sayur biasanya dilakukan pada pipa pralon dan di tempatkan pada dinding (Soeelman 2013). Namun, salah satu masalah yang harus diperhatikan adalah kemampuan petani dan pengguna dalam merawat tanamannya. Oleh sebab itu, kebanyakan tinggi SPV disesuaikan dengan jangkauan petani dalam merawat tanamannya. Kriteria pemilihan tempat untuk SPV didasarkan pada jumlah sinar matahari yang cukup

utamanya pada pagi hari. Tinggi untuk SPV tipe pralon biasanya berkisar antara 1-2 m. Melihat permasalahan ini, tentunya perlu ada inovasi untuk SPV kedepannya. Agar jumlah tanaman meningkat meskipun dibudidayakan pada lahan sempit.

Inovasi yang dimaksudkan adalah dengan menambahkan sistem pemutaran pada SPV. Sistem ini diadopsi dari sistem parkir vertikal dan berputar yang ada di Jepang. Sehingga keterbatasan tinggi SPV dapat teratasi. Pemutaran bertujuan untuk memberikan cahaya matahari secara merata pada tanaman, mempermudah proses irigasi dan mempermudah proses perawatan tanaman. SPV yang baru disebut Sistem Pertanian Vertikal dan Terputar. Sistem ini memiliki alat yang didesain oleh peneliti pada tahun 2010 yang dinamakan *Rotary Vertical Garden* (ROVERGARD) (Pomalingo 2012). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, alat ini memiliki efisiensi penggunaan lahan 31% dari luas penggunaan lahan secara horizontal. Tinggi tanaman rata-tara setelah panen 31.45 cm untuk ROVERGARD dan 40 cm lahan horizontal. Namun, pada saat itu pemutaran alat dan pemberian irigasi masih dilakukan secara manual. Pada penelitian kali ini, sistem pemutaran dan irigasi dilakukan secara otomatis, agar pengguna mudah dalam pengoperasiannya.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mendesain dan menguji kinerja fungsional sistem penggerak dan kendali yang ada pada alat tersebut meliputi beban tarik, sebaran air, performa penggerak, dan timer.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, tanah, arang sekam, pupuk kandang, pipa 1 inchi, lem pipa, listrik, kabel, dan plastik hitam. Sedangkan alat yang digunakan adalah ROVERGARD, *tachometer*, pompa air 125 W, penampung air, *timer*, *relay*, *converter*, *stopwatch*, tangga, kamera, gelas ukur, *solenoid*, *multifunctional mini ammeter* dan timbangan digital.

Metode

1. Kriteria Desain

Kriteria desain untuk ROVERGARD di antaranya; 1) sekali berotasi pot membutuhkan waktu 4 menit dengan kecepatan sproket 1.55 rpm, 2) sistem irigasi harus bekerja sesuai dengan kebutuhan air tanaman (Sapei dan Kusmawati 2003), 3) sistem kendali berbasis waktu harus bekerja sesuai perintah yakni pada pagi hari 07.00 dan sore hari 17.00, dan 4) daya listrik yang direncanakan pada pemilihan penggerak yakni pompa air, harus sesuai dengan yang direncanakan yakni 139 W.

2. Perancangan Fungsional

Alat ini terdiri dari bagian utama yaitu tiang

Tabel 1. Perancangan Fungsional.

No	Fungsi Utama	Komponen
1.	Menopang bagian alat yang terputar	Bagian terputar ditempatkan pada tiang penyangga
2.	Memberikan cahaya yang merata pada tanaman setiap hari.	Dilakukan pemuratan dengan bantuan pompa, gearbox, rantai, sproket, dan poros selama pagi dan siang hari.
3.	Memompa air dan nutrisi untuk mengisi penampung pada ROVERGARD	Dipompa dengan pompa air yang disalurkan melalui pipa pengisian
4.	Pemberian irigasi secara merata selama pagi dan sore hari.	Dilakukan berdasarkan waktu irigasinya. Komponennya adalah timer, penampung air, pipa, selenoid dan kran.
5.	Menempatkan media tanam dan tanaman.	Digunakan pot yang dihubungkan ke bagian terputar melalui rangka pot.
6.	Mengontrol seluruh kinerja alat setiap hari. Baik pemutaran dan pemberian irigasi.	Digunakan pengontrolan berbasis waktu. Dengan komponen utama adalah timer.

penyangga dan bagian terputar. Setiap bagian memiliki fungsi yang berbeda-beda. Untuk lebih jelasnya bagian-bagian alat dan fungsinya ditampilkan pada Tabel 1.

3. Perancangan Structural dan Analisis Desain

ROVERGARD didesain agar memiliki bentuk yang menarik dari segi estetika dan efisien dari segi penggunaan lahan. Penggunaan lahan yang sempit dan jumlah tanaman lebih banyak, merupakan hal penting dalam mendesain alat ini. Desain ROVERGARD disajikan pada Gambar 1.

a. Perancangan Bagian alat yang Terputar

Bagian alat yang terputar komponennya terdiri dari 1) sproket utama diameter 371 mm dan bawah 120 mm, 2) rantai ANSI 40-1 panjang 16 m, 3) poros diameter 25.4 mm dengan panjang 110 cm yang dihitung berdasarkan Sularso *et al.* (1978), dan 4) pot dan rangka pot masing-masing 16 buah. Bentuk bagian terputar dirancang seperti persegi panjang. Untuk meminimalisasi dimensi. Maka lebarnya adalah 75 cm. Nilai ini berdasarkan 2 kali diameter sproket yang diberi spasi 8 mm. Nilai panjang diperoleh dari rumus keliling persegi panjang atau keliling bagian terputar yakni 325 cm.

b. Perancangan Tinggi Alat dan Penampung Air

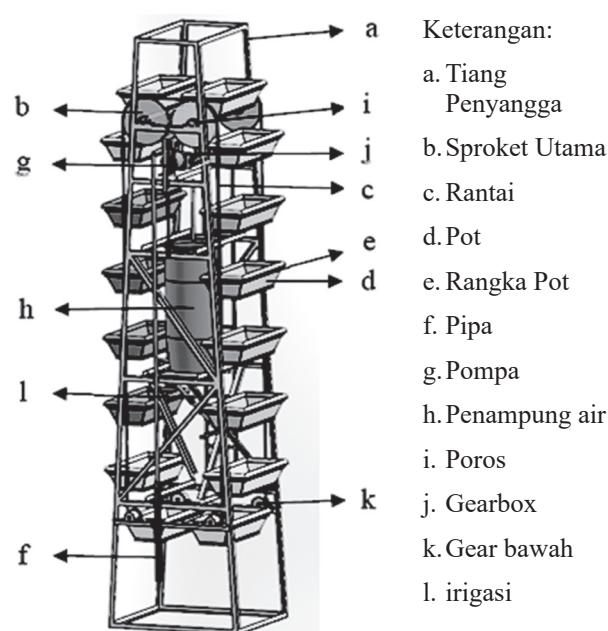
Pada umumnya rumah di daerah perkotaan memiliki tinggi pagar sekitar 3 m dan tinggi bangunan 6 m (Soeelman dan Rahayu 2013), oleh karena itu tinggi alat harus lebih dari tinggi pagar. Maka tinggi yang direncakan adalah 4,5 m. Adapun untuk penampung air, didasarkan pada hasil penelitian Sapei dan Kusmawati (2003) yang berkaitan dengan irigasi tetes, kebutuhan air tertinggi untuk tanaman kangkung (*Iphomea reptans*) adalah 0.0158 l/jam, sehingga dibutuhkan air sebesar 0.1738 lt/hari/tanaman selama 11 jam. Jumlah pot pada ROVERGARD sebanyak 16 buah. Masing-masing pot ditanam 30 tanaman, sehingga jumlah keseluruhan

tanaman sebanyak 480 tanaman. Total air yang harus disediakan untuk irigasi yakni 83.42 lt.

c. Perancangan Sistem Penggerak

Penggerak yang akan digunakan berupa pompa air yang dimodifikasi pada bagian kipas pompa. Berat beban yang terputar didapatkan dari akumulasi seluruh komponen-komponen yang terputar. Dimana rantai dengan panjang 16 meter ($1 \text{ m} = 0.62 \text{ kg}$) = 9.92 kg, 4 buah sproket = 28.6 kg, 16 pot 15,04 kg, 16 rangka pot = 11.2 kg atau 0.7 kg/rangka pot, 16 pot media tanam (perpot 6 kg) = 96 kg dan berat tanaman setelah panen yang diperoleh dari penelitian sebelumnya adalah 2.5 kg (0.156 kg/pot). Jadi berat total adalah 163.26 kg atau digenapkan 164 kg (1607.2 N). Adapun daya yang dibutuhkan oleh alat ini dihitung dengan persamaan 1

$$P = T \times \omega \quad (1)$$



Gambar 1. Desain 3D ROVERGARD pada Solidworks 2015.

P adalah daya (kW), T adalah torsi (Nm) dan ω adalah kecepatan sudut pada sproket (rpm). Dari hasil perhitungan diperoleh daya untuk menggerakkan alat tersebut sebesar 3.56 W. Untuk mendapatkan putaran pada sproket 1.55 rpm, maka gearbox yang digunakan adalah ukuran bodi 40 sebanyak 2 unit dengan perbandingan 1:30 dan 1:60 (Prayitno 2012). Penggerak dan gearbox dihubungkan dengan kopling ukuran 35 mm dan sproket berdiameter 75 mm sebanyak 4 buah.

4. Pengujian

a. Pompa

Tahapan ini pompa ditempatkan pada alat, dan diberikan beban kerja ganda. Pengujian ini dilakukan dalam dua kondisi yaitu tanpa beban kerja tambahan (kerja tunggal) dan menggunakan beban kerja tambahan (kerja ganda). Kerja tunggal berarti pompa bekerja hanya dengan mengisap air untuk selanjutnya dimasukkan ke penampung ROVERGARD. Sedangkan kerja ganda, pompa bekerja tidak hanya mengisap air tetapi juga menggerakkan alat. Kondisi yang diuji pada penambahan beban kerja diantaranya 1) pemutaran dengan gearbox, 2) menggunakan rangka pot, 3) menggunakan rangka pot dan pot, 4) menggunakan rangka pot, pot dan media tanam dan 5) menggunakan rangka pot, pot, media tanam, dan air.

Berdasarkan dua kondisi yang diuji tersebut, diperoleh hasil pengukuran berupa rpm pompa, konsumsi listrik, biaya listrik, waktu ideal pengoperasian alat dan debit air yang dihasilkan. Pengukuran rpm dilakukan dengan menggunakan *tachometer*. Pengukuran konsumsi listrik dilakukan dengan menggunakan alat *multifunctional mini ammeter*.

b. Beban Tarik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui beban tarik manual yang dibutuhkan manusia jika memutar ROVERGARD secara manual. Kondisi yang diuji seperti halnya pada penambahan beban point a bagian metode. Pengujian dilakukan dengan menempatkan timbangan pada bagian alat yang terputar, selanjutnya ditarik dengan arah horizontal dan vertical (arah



Gambar 2. Pengujian Beban Tarik.

bawah dan atas) sebanyak lima kali pengulangan seperti pada gambar 2.

c. Sebaran Air

Irigasi dilakukan bersamaan dengan pemutaran alat. Air yang tertampung pada pot selanjutnya diukur menggunakan gelas ukur. Pengukuran air diulang sebanyak lima kali.

d. Sistem Kendali

Sistem ini bekerja berbasis waktu, dengan komponen utama Digital Eco Timer ET 550. Pengendalian dilakukan pada saat pemutaran alat dan pemberian irigasi yakni pada pagi hari pukul 07.00 dan sore hari 17.00. Pengujian ini dihitung dengan menggunakan 2 buah *timer*. Timer satu berfungsi untuk menghitung jumlah waktu yang dibutuhkan dalam satu kali putaran alat, sedangkan timer dua digunakan sebagai pembanding waktu pada timer satu.

Hasil dan Pembahasan

1. Prototipe ROVERGARD

ROVERGARD didesain dengan panjang 110 cm, lebar 88 cm dan tinggi 450 cm. Berat beban yang diputar oleh alat ini mencapai 165 kg yang terdiri dari 16 pot berisi media tanam dan tanaman,



Gambar 3. Prototipe ROVERGARD.

Tabel 2. Hasil Rata-rata Pengujian Beban Tarik.

Kondisi Alat	Beban Tarik (kg)		
	Vertikal ke atas	Vertikal ke bawah	Horizontal
Tanpa Pot	2.40	2.57	2.77
Menggunakan Pot Kosong	3.26	2.79	2.66
Menggunakan Pot dan Media Tanam	9.54	7.48	9.97
Menggunakan Pot, Media Tanam dan Air	13.70	8.55	12.87

Tabel 3. Hasil Rata-rata Pengujian Kinerja Penggerak.

Kondisi Alat	Kecepatan (rpm)			Waktu Pengisian (menit)	Daya (Watt)	Konsumsi Listrik (KWH)
	Motor	Pot	Sproket			
Mengisap Air Tanpa memutar alat	2,865.0	0.00	0.00	9.13	132.49	0.020
Mengisap dengan beban Gear Box	2,757.8	0.00	0.00	9.35	178.40	0.028
Mengisap air dengan pemutaran Tanpa Pot	2,740.2	0.21	1.51	9.09	180.59	0.027
Mengisap air dengan pemutaran menggunakan Pot Kosong	2,722.2	0.21	1.52	8.25	193.02	0.027
Mengisap air dengan Menggunakan Pot dan Media Tanam	2,713.6	0.21	1.47	8.44	198.20	0.028
Mengisap air dengan Menggunakan Pot, Media Tanam dan Air	2,703.8	0.20	1.47	8.31	208.09	0.029

sproket, rantai, dan rangka pot. Perbedaan warna pot, dimaksudkan untuk memberikan kemudahan pada proses pergantian posisi setiap harinya. Hal ini dilakukan agar tanaman dapat menerima cahaya secara merata. Untuk lebih jelasnya, prototipe ROVERGARD ditampilkan pada gambar 3.

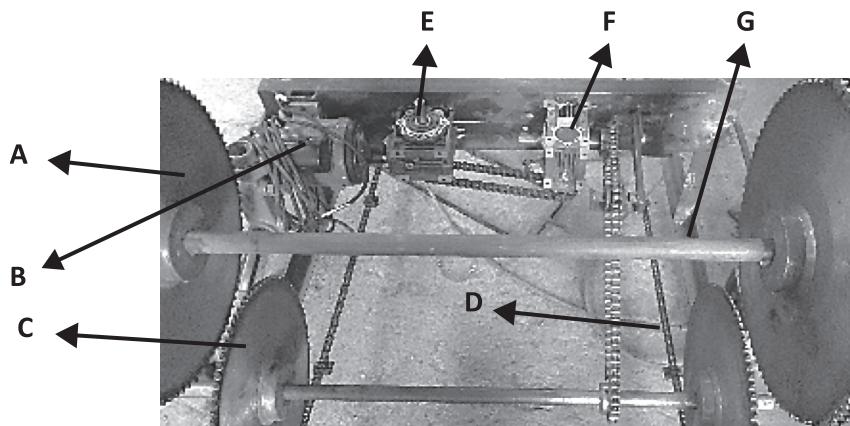
2. Beban Tarik

Hasil pengujian beban tarik disajikan pada Tabel 2. Tabel tersebut memperlihatkan bahwa alat ini baik terutama saat digerakkan dengan menariknya secara vertikal kebawah, karena hanya membutuhkan gaya lebih kecil yakni 8.55 kg pada saat beban maksimal yakni menggunakan pot, media tanam dan air. Sementara pada perlakuan lain, penarikan vertikal kebawah memiliki gaya lebih besar dari penarikan gaya horizontal dan vertical

ke atas. Namun hasil ini memiliki perbedaan gaya lebih kecil dan hanya disebabkan oleh komponen transmisi yang tidak dilumasi secara maksimal (Fibria et al. 2011).

3. Sistem Penggerak

Pompa air yang dimodifikasi merupakan sumber penggerak pada ROVERGARD. Seperti yang terlihat pada Gambar 4, pompa dan gearbox dihubungkan dengan menggunakan kopling dan selanjutnya gaya ditransmisikan untuk memutar pot pada alat. Hasil rata-rata pengujian kinerja penggerak pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa semakin besar beban yang ditambahkan pada alat maka kinerja penggerak semakin besar. Dan penambahan tersebut memberikan pengaruh perlambatan pada rpm motor, sproket dan pot. Disamping itu juga,



- Keterangan:
- A. Sproket utama
 - B. Pompa air
 - C. Sproket utama
 - D. Rantai transmisi
 - E. Gearbox 1:30
 - F. Gearbox 1:60
 - G. Poros utama

Gambar 4. Sistem Transmisi ROVERGARD.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pengujian Bukaan Kran.

Bukaan Kran	Kecepatan (rpm)			Konsumsi Listrik (KWH)	Volume Air (ml)		Total Volume air (ml)
	Motor	Pot	Sproket		Tertampung	Hilang	
1	2,835.2	0.22	1.55	0.0109	11,543.0	12,760	24,303.0
2	2,770.0	0.21	1.53	0.0144	38,102.6	32,580	70,682.6
3	2,684.0	0.21	1.46	0.0142	47,372.0	41,734	89,106.0

beban yang berat, membuat penggerak menjadi cepat panas dan konsumsi energi listrik meningkat.

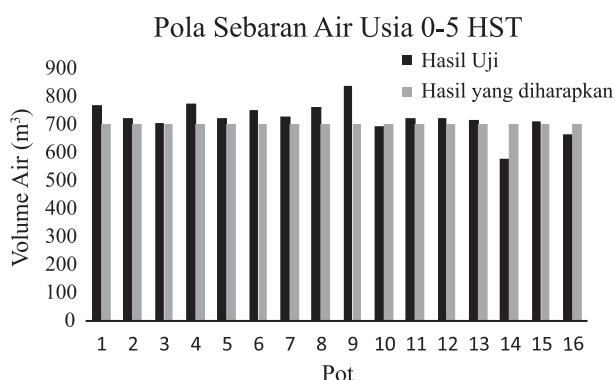
Penambahan beban pada pot mengakibatkan konsumsi energi listrik meningkat, namun rpm motor menurun. Hal ini menyebabkan kinerja penggerak dalam menghasilkan debit air pada waktu pengisian yang tidak konstan. Sehingga waktu pengisian menjadi lebih lama meskipun beban yang diberikan lebih sedikit. Seperti yang terlihat pada kondisi pengisapan air dengan menggunakan gearbox, pemutaran tanpa pot dan pemutaran menggunakan pot kosong yang menghasilkan konsumsi listrik secara berurutan 0.0278, 0.0274 dan 0.0265 kWh.

Hal lain yang perlu diketahui dalam penggunaan penggerak dari pompa air adalah rpm yang tidak stabil. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan bahwa rpm yang dihasilkan oleh pompa air bisa mencapai 2,900 rpm dari data spesifikasi aktual yakni 2,800 rpm yang dikeluarkan oleh produsen. Masalah ini sangat berpengaruh pada debit air

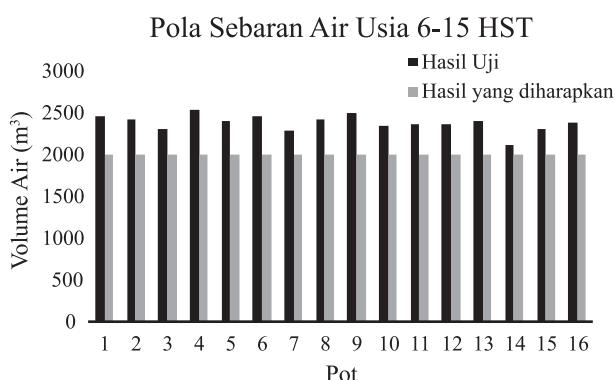
yang dihasilkan serta dalam penentuan waktu untuk sekali pemutaran pot pada alat.

Hasil pengujian sebaran air yang terlihat pada gambar 5, 6 dan 7 menunjukkan rata-rata volume air yang diterima oleh setiap pot. Jumlah air yang diberikan pada tanaman berbeda, disesuaikan dengan Hari Setelah Tanam (HST) dari tanaman tersebut. Secara berurutan volume air yang dibutuhkan setiap pot yaitu usia 0-5 HST 700 ml, 6-15 HST 2,000 ml dan 16-30 HST 2,600 ml. Jumlah air yang tertampung pada pot ditentukan oleh debit aliran yang diatur berdasarkan bukaan kran yang kerjanya dikontrol oleh solenoid. Kran yang digunakan memiliki bukaan sekitar 0°-90°, sehingga presentase bukaan kran 1 untuk usia 0-5 HST 22,2% (20°), bukaan kran 2 usia 6-15 HST 37,8% (34°), dan bukaan kran usia 3 16-30 HST 44,4% (40°).

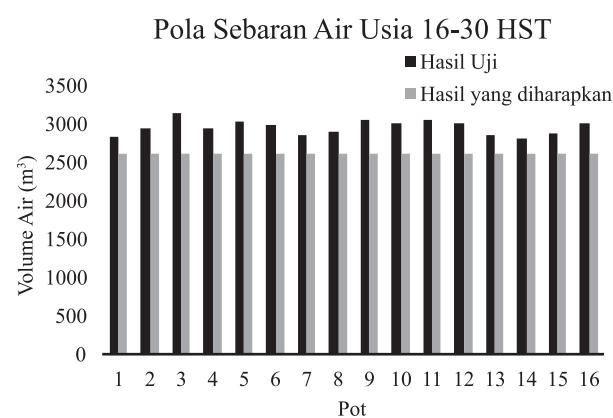
Berdasarkan pembagian jenis bukaan kran yang dilakukan, volume air yang tertampung sangat bervariasi, dan umumnya terjadi penambahan volume. Pada usia 0-5 HST volume air yang tertinggi adalah pada pot 9 yakni 834 ml dan terendah ada pada pot 14 yakni 578 ml. Adapun untuk jumlah rata-rata air yang tertampung dan *cv* (*coefficient of variation*) masing-masing 721.44 ml dan 7.6%. Usia 6-15 HST volume air tertinggi adalah pot 4 2,534 ml dan terendah ada pada pot 14 yakni 2,124 ml, dengan jumlah rata-rata air yang tertampung 2,381.41 ml dan *cv* 4.1%. Sedangkan pada usia 16-30 HST, jumlah rata-rata air yang tertampung adalah 2,960.75 dengan *cv* 3.2%, adapun volume tertinggi ada pada pot 3 3,144 ml dan terendah pot 14 yaitu 2,812 ml.



Gambar 5. Hasil Rata-rata Sebaran Air pada usia 0-5 HST.



Gambar 6. Hasil Rata-rata Sebaran Air pada usia 6-15 HST.



Gambar 7. Hasil Rata-rata Sebaran Air pada usia 16-30 HST.

Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Kendali.

HST	Jam	Waktu (menit)		Kesalahan posisi (cm)
		Timer	Stopwatch	
9	07.00	4.47	4.48	25
	17.00	5.59	5.58	28,5
10	07.00	4.47	4.48	12
	17.00	5.59	6.00	22
11	07.00	4.47	4.47	30
	17.00	5.59	5.58	29
12	07.00	4.47	4.48	34
	17.00	5.59	5.59	50

Tabel 6. Perbandingan antara Hasil Perancangan dan Pengujian.

Kriteria Desain	Hasil		Keterangan
	Perancangan	Pengujian	
Kecepatan Motor (rpm)	2,800	2,703.80	-96.2
Kecepatan Pot (rpm)	0.25	0.20	-0.05
Kecepatan Sproket (rpm)	1.55	1.47	-0.08
Daya (Watt)	139	208	+69
Sistem Kontrol (menit)	4.47 & 5.59	4.47 & 5.59	0
Sebaran Air sekali beroperasi (ml)			
Bukaan Kran 1	700	721.40	+21.4
Bukaan Kran 2	2,000	2.381.40	+381.4
Bukaan Kran 3	2,650	2.960.40	+310.4

Hasil tampungan pot yang tidak seragam ini dipengaruhi oleh pergerakan pot yang cenderung tersendat-sendat. Hal ini disebabkan oleh kondisi sproket dan rantai yang tidak dilumasi dengan baik, sehingga pada saat tertentu kecepatan pot yang sampai pada posisi irigasi menjadi stagnan dan jumlah air yang masuk lebih banyak. Sebaliknya, ada kondisi pot yang mendapatkan waktu pemberian air lebih cepat sehingga jumlahnya air lebih sedikit seperti halnya pot 14. Penyebab lainnya juga adalah kondisi pot yang bocor sehingga menyebabkan air pada pot tersebut berkurang dan berpindah pada pot yang lain. Selain jumlah air yang tertampung, ada juga jumlah air yang hilang. Hasil perhitungan rata-rata menyatakan bahwa efisiensi penyiraman belum maksimal. Hal ini dikarenakan jumlah air yang hilang hampir sebanding dengan air yang tertampung (lihat tabel 4). Kondisi ini dikarenakan posisi irigasi yang belum tepat, membuat air tidak jatuh tepat di dalam pot.

4. Sistem Kendali

Pengujian sistem kendali dilakukan selama 4 hari. Dengan pengambilan data pada pagi dan sore hari. Berdasarkan data pada tabel 5, terlihat bahwa putaran pot mengalami kesalahan posisi. Kesalahan posisi terbesar ada pada usia 12 HST

yakni 50 cm. Sedangkan terpendek ada pada usia 10 HST yakni 12 cm. Kondisi ini disebabkan oleh rpm motor yang berubah-ubah dan sistem kendali yang masih bersifat *open loop*, oleh karena itu, *timer* harus diatur kembali dan mengurangi waktunya sekitar 3-5 detik agar kesalahan posisi yang dihasilkan berkurang.

Konsumsi daya pada saat pengujian mengalami peningkatan (lihat tabel 6). Daya yang dihasilkan sekitar 208 W sehingga melewati daya yang direncanakan yakni 139 W. Selisih 69 W disebabkan oleh dua faktor diantaranya faktor gesekan antar komponen transmisi yang tidak dilumasi dan posisi komponen transmisi yang tidak sejajar. Posisi komponen yang tidak sejajar ini dipengaruhi oleh getaran rotasi atau yang biasa disebut getaran torsional (Abidin dan Arstianti 2008). Getaran ini hanya bisa diredam dan tidak bisa dihilangkan (Irasari *et al.* 2010). Oleh karena itu, memicu pertambahan berat beban pada komponen transmisi yang mempengaruhi kinernya penggerak.

Simpulan dan Saran

Simpulan

Penggunaan pompa air sebagai sumber

penggerak dianggap mampu untuk memutar ROVERGARD, namun konsumsi energi listrik yang dihasilkan melebihi nilai perencanaan yaitu dari 139 W menjadi 208 W. Beban tarik terkecil pada beban maksimal sebesar 8.55 kg pada kondisi penarikan vertical ke bawah secara manual. Sistem kendali berbasis waktu yang digunakan dapat bekerja dengan baik, akan tetapi masih terjadi kesalahan posisi sebesar 50 cm. Distribusi air pada masing-masing pot untuk usia 0-5 HST dikategorikan baik dengan cv 7.6%, untuk usia 6-15 dan 16-30 HST dikategorikan presisi, karena memiliki nilai cv masing-masing 4.1 dan 3,2%, namun masih terdapat kehilangan air saat pengisian antar pot yang hampir mencapai 50%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai sistem transmisi pada ROVERGARD agar diperoleh konsumsi energi listrik yang lebih efisien. Untuk mengurangi kehilangan air, maka perlu dilakukan penelitian tentang posisi irigasi yang tepat. Pada penelitian ini ditemukan kelemahan pada sistem kendali *open loop*, sehingga perlu diteliti penggunaan sistem kendali *close loop* agar dapat mengurangi kesalahan posisi.

Daftar Pustaka

- Abidin, Z., Arstiani, H. 2008. Pemodelan, Pengujian, dan Analisis Getaran Torsional dari Perangkat Uji Sistem Poros-Rotor. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 10, No.2, Oktober 2008: 72-81.
- Dunnett, N., Kingsbury, N. 2004. Planting Green Roofs and Living Walls. Timber Press, Portland, OR.
- Davis, M.M., Hirmer, S. 2015. The Potential for Vertical Gardens as Evaporative Coolers: an Adaptation of the 'Penman Monteith Equation'. Journal of Elsevier of Building and Environment 92 (2015) 135-141.
- Davis, M.J.M., Ramirez, F., Vallejo, A.L. 2015. Vertical Gardens as Swamp Coolers. Journal of Elsevier of Procedia Engineering 118 (2015) 145-159.
- DeNardo, J.C., Jarrett, A.R., Manbeck, H.B., Beattie, D.J., Berghage, R.D. 2005. Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE) 48, 1491–1496.
- Fibria, M., Yuliani, CR., Hanifuddin, M. 2011. Analisis Tingkat Penguapan pada Minyak Lumas Transmisi. Jurnal Lembaga Publikasi LEMIGAS. Vol. 45. No. 1, April 2011: 61-64.
- Irasari, P., Nugraha, A.S., Kasim, M. 2010. Analisis Getaran Pada Generator Magnet Permanen 1 kW Hasil Rancang Bangun Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik. Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology. Vol. 01, No. 1, 2010. ISSN 2087-3379.
- Matta, E., Stefano, D.A. 2009. Seismic Performance of Pendulum and Translational Roof-Garden TMDs. Journal of Elsevier of Mechanical Systems and Signal Processing 23 (2009) 908-921.
- Nakatani, N., Saito Y., Aizaki, H., Shoji, Y., Kakizawa, H., Kobayashi, K., Higashiyama, K. 2015. Frontiers of Agricultural Science Research Faculty of Agriculture Hokkaido University. Syoukadoh. Kyoto.
- Pomalingo, M.F. 2012. Rancang dan uji kinerja vertical rotary garden untuk pertanian sayur organik di lahan sempit perkotaan. [Skripsi]. Makassar (ID): Universitas Hasanuddin.
- Prayitno, M.M.E. 2012. Analisa Teknis Optimalisasi Sistem Propulsi Kapal Ikan Menggunakan CVT Gearbox. Journal Kapal. Vol. 9, No 3 Oktober 2012.
- Rowe, D.B. 2011. Green roofs as a means of pollution abatement. Environmental Pollution 159, 2100–2110.
- Sapei, A., Kusmawati, I. 2003. Perubahan Pola Penyebaran Kadar Air Media Tanam Arang Sekam dan Pertumbuhan Tanaman Kangkung Darat (*Ipomea reptans* Poir.) pada Pemberian Air Secara Terus Menerus Dengan Irigasi Tetes. Buletin Keteknikan Pertanian. Vol. 17 No. 2, Agustus 2003. Hal.1-6
- Soeelman S., Rahayu D. 2013. Halaman Organik. Jakarta. Agromedika Pustaka.
- Suga K, Sularso. 1978. Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Tian, Y., Jim, C.Y. 2012. Development Potential of Sky Gardens in the Compact City of Hongkong. Journal of Elsevier of Urban Forestry and Urban Greening 11 (2012) 223-233.
- Ugai, T. 2016. Evaluation of Sustainable Roof from Various Aspects and Benefits of Agriculture Roofing in Urban Core. Journal of Elsevier of Social and Behavioral Sciences 216 (2016) 850-860.
- Van Renterghem, T., Botteldooren, D. 2009. Reducing the acoustical facade load from road traffic with green roofs. Building and Environment 44, 1081–1087.
- Wong, N.H, Chen, C.L., Ong, C.L., Sia, A. 2003. The effects of rooftop garden in the tropical environment. Building and Environment 38, 261–270.
- Yang, J., Yu, Q., Gong, P. 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. Atmospheric Environment 42, 7266–7273.
- Yuan, B., Hien, N. W. 2005. Resident Perceptions and Expectations of Rooftop Gardens in Singapore. Journal of Elsevier of Landscape and

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip pada Berbagai Kombinasi Jumlah dan Sudut Sirip di Tanah Sawah Berlumpur

Tractive Performance of Narrow Lugged Wheels with Various Combinations of Lug Spacing and Lug Angle on Puddled Paddy Field

Ubaidillah, Mahasiswa Pascasarjana, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan,
Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Email: ubaidillah88@gmail.com
Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: w_hermawan@ipb.ac.id

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

The lugged wheel as tractive tools in Indonesian agriculture mainly used for land preparation, i.e. hand tractor operations. There are basic needs to develop narrow lugged wheel designed for post-planting application that has ability for inter-row paddy field operation. The aim of present study was to determine tractive performance of narrow lugged wheel. The tested wheel has 85.5 cm of outer diameter and 14 × 8 cm of lug dimension, with three combinations of each lug spacing and lug angle. The experiment was conducted on an actual paddy field and some tractive performances were determined. The results indicate that tractive power output reached a peak at about 12 – 30 % of wheel slip, depending on the lug angle and lug spacing. The lugged wheel with 30° lug angle and 30° lug spacing showed higher tractive power compared to other combinations. The tractive power output and tractive efficiencies of narrow lugged wheel were lower than that of the conventional wheel. The average wheel slip at the peak tractive efficiency was ranged 13 – 23 %, depending on the lug angle and lug spacing. Based on the performance, the narrow lugged wheel with 30° lug angle and 30° lug spacing is recommended for further development of narrow lugged wheel.

Keywords: lugged wheel, narrow lug, paddy field, tractive performance

Abstrak

Roda besi bersirip sebagai komponen penghasil traksi pada pertanian di Indonesia utamanya digunakan pada kegiatan penyiapan lahan. Muncul kebutuhan mendasar untuk mengembangkan roda besi bersirip ramping yang dirancang untuk diaplikasikan pada kegiatan pasca-tanam yang memiliki kemampuan beroperasi di sela alur tanaman padi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan performansi traksi dari roda bersirip ramping untuk beroperasi di sela alur tanaman padi. Roda berdiameter luar 85.5 cm dan berdimensi sirip 14×8 cm, dengan tiga kombinasi pada masing-masing jarak antar sirip dan sudut sirip. Penelitian dilakukan secara aktual di lahan berlumpur dengan beberapa parameter performansi traksi yang diamati. Hasil pengujian mengindikasikan daya tarik maksimum diperoleh pada rentang slip roda 12 – 30 %, bergantung sudut dan jarak sirip yang digunakan. Roda bersirip dengan sudut sirip 30° dan jarak antar sirip 30° menunjukkan tenaga tarik lebih besar dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Daya tarik dan effisiensi traksi dari roda bersirip ramping lebih kecil dibandingkan dengan roda sangkar konvensional. Nilai rataan slip roda pada effisiensi traksi maksimum berkisar pada 13 – 23 %, bergantung sudut dan jarak sirip yang digunakan. Berdasarkan parameter performansi traksi, roda bersirip ramping dengan sudut sirip 30° dan jarak antar sirip 30° direkomendasikan untuk pengembangan lanjutan dari roda bersirip ramping.

Kata Kunci: lahan sawah, performansi traksi, roda bersirip, sirip ramping

Diterima: 17 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Mekanisasi pertanian dianggap sebagai jawaban atas permasalahan kurangnya tenaga kerja dan mahalnya upah (Triratanasirichai *et al.* 1990). Pada kasus Indonesia, pengaplikasian mekanisasi pertanian dalam budidaya padi di lahan (*on farm*) umumnya masih berfokus pada penyiapan lahan dan proses panen. Namun proses-proses pasca-tanam untuk perawatan tanaman, seperti pengendalian hama dan gulma, pengaplikasian bahan kimia penunjang dan pupuk umumnya masih mengandalkan tenaga manusia sebagai komponen utama. Dibutuhkan inovasi rekayasa mekanisasi pertanian untuk memecahkan permasalahan tersebut. Namun demikian, penelitian oleh Setiawan *et al.* (2013) memberikan fakta bahwa pengembangan alat dan mesin pertanian untuk proses perawatan tanaman, utamanya padi, menemui beberapa kendala. Salah satunya adalah lahan pertanaman padi di Indonesia umumnya tak terkonsolidasi atau tak memiliki lapisan keras (*hardpan*), ataupun lapisan keras (*hardpan*)-nya terlalu dalam. Kondisi tak terkonsolidasi inilah yang menyebabkan alat dan mesin mekanis, terutama untuk perawatan tanaman, memiliki kesulitan mobilisasi di lahan berlumpur. Penelitian tersebut juga berfokus pada studi gerak roda tunggal bersirip sebagai komponen penghasil traksi yang dirancang untuk mesin perawatan tanaman secara teoritis.

Terkait performansi traksi sendiri, penelitian oleh Triratanasirichai *et al.* (1990) berkesimpulan bahwa parameter-parameter performansi seperti tenaga tarik maksimum beserta efisiensi traksinya merupakan parameter yang dapat dijadikan patokan sebagai pemilihan spesifikasi roda yang baik. Beberapa peneliti sebelumnya telah banyak melakukan kajian terkait performansi traksi roda sangkar dengan beragam konfigurasi roda yang diteliti pada lintasan tanah berlumpur, baik dengan pengamatan aktual di lapangan (Triratanasirichai *et al.* 1990) maupun dengan media bak tanah (*soil bin*) (Hermawan *et al.* 1998b; Wayotha dan Salokhe 2001; Soekarno dan Salokhe 2003).

Roda besi bersirip sebagai penghasil traksi pada mesin-mesin yang dioperasikan di sawah yang telah ada tanaman padinya harus disesuaikan ukuran lebar siripnya dan diameter rodanya. Hal ini dikarenakan roda harus mampu melintas di sela alur tanaman padi dan memberikan kerusakan minimal pada daerah perakaran, maka lebar sirip roda harus menyesuaikan dengan lebar alur sela tanaman. Sirip roda yang sempit (*ramping*) dapat menyebabkan penurunan kemampuan traksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait performansi traksi dari roda bersirip *ramping*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji performansi traksi dari roda bersirip *ramping* yang didesain untuk dapat melintas di sela alur tanaman padi di lahan

basah berlumpur. Selain itu, dilakukan komparasi hasil yang didapatkan terhadap performansi traksi roda sangkar konvensional.

Metode

Waktu, Lokasi Penelitian dan Kondisi Tanah

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2015 - Januari 2016. Lahan yang digunakan sebagai tempat pengujian kinerja traksi roda pada traktor ini merupakan lahan sawah yang dilumpurkan dengan bajak rotari traktor roda empat dengan rataan kedalaman lapisan lumpur 20.14 ± 2.63 cm. Diketahui tanah pada sawah uji bertekstur *silty clay loam* dengan proporsi kandungan pasir 5.67%, debu 52.67% dan liat 41.67% (Rizaldi 2015), dengan kadar air, kerapatan isi tanah (*bulk density*), porositas, batas cair dan batas plastis berturut-turut nilainya adalah $62.59 \pm 2.46\%$; 1.05 ± 0.07 g/cm³; $60.55 \pm 2.81\%$; 36.65% dan 18.82%.

Roda Uji dan Traktor

Guna mengakomodasi semua kombinasi konfigurasi roda yang akan diujikan, maka roda uji dibuat dengan kemampuan adaptasi terhadap konfigurasi yang akan diujikan. Rim roda dibuat dengan bahan pipa baja dengan diameter luar 25.4 mm, dan sirip roda terbuat dari plat baja dengan tebal 3 mm dengan dimensi (lebar × tinggi) 14×8 cm. Dimensi sirip tersebut, terutama lebar sirip, dimaksudkan untuk mengakomodasi dan memberikan kerusakan minimal pada jarak antar alur tanaman padi dengan sistem intensifikasi padi (*System of Rice Intensification/SRI*) di Indonesia dengan jarak antar alur tanaman sebesar 20 – 25 cm (Makarim *et al.* 2002). Diameter roda sebesar 85.5 cm dirancang dengan pendekatan disain teoritis oleh Sakai *et al.* (1987) untuk roda besi bersirip traktor roda dua. Dalam pengembangan lanjutan untuk pengembangan mesin-mesin penyiang gulma dan aplikator pupuk dan bahan kimia, faktor-faktor pembatas seperti jarak antar alur tanaman padi dan tinggi tanaman padi menjadi pertimbangan penting. Faktor tersebut menjadi penting karena menentukan dimensi lebar sirip dan diameter roda agar memberikan kerusakan minimal pada tanaman padi.

Roda diuji pada tiga kombinasi sudut sirip (*lug angle*) (30° , 45° , 60°) dan tiga kombinasi sudut antar sirip (*lug spacing*) (36° , 30° , 25.7°) atau setara dengan 10, 12 dan 14 sirip. Kombinasi dari sudut dan jumlah sirip tersebut telah umum diteliti oleh peneliti sebelumnya, seperti Triratanasirichai *et al.* (1990). Sudut sirip secara teoritis menentukan dalam arah geseran tanah, sebagaimana juga jumlah sirip juga berperan penting yang menentukan jarak antar ceruk yang dibentuk oleh sirip dan slip roda (Hermawan *et al.* 2000). Guna mengakomodasi semua kombinasi perlakuan untuk

Tabel 1. Spesifikasi teknis traktor dan roda uji.

Parameter Desain	Dimensi
Diameter luar roda	85.5 cm
Diameter rim roda	64.5 cm
Lebar penghubung rangka roda (Hh)	10 cm
Jarak titik tengah gearbox-ujung poros (Lw+Hb)	39 cm
Jumlah rim roda	1 buah
Jumlah jari-jari roda	8 buah
Dimensi sirip (lebar×tinggi)	14×8 cm
Tebal plat sirip	3 mm
Sudut sirip	30°/45°/60°
Jumlah sirip	10/12/14 buah
Berat roda	12.85±0.53 kg

uji performansi traksi, roda uji dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung. Komponen-komponen tersebut meliputi dudukan sirip serta plat pengatur sudut sirip. Dudukan sirip adalah tempat pemasangan sirip yang jumlah dan posisinya disesuaikan dengan perlakuan banyaknya sirip yang diujicobakan, serta plat tambahan pengatur sirip yang dilengkapi tiga lubang yang posisinya memungkinkan sirip membentuk sudut yang diujicobakan. Ilustrasi roda dan data teknis lainnya sebagaimana tampak pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Traktor yang digunakan sebagai penggerak pada penelitian ini adalah traktor tangan Yanmar, tipe Bromo DX dengan penggerak motor diesel, satu silinder horizontal 4 langkah, tenaga maksimum 8.5 HP pada 2200 rpm.

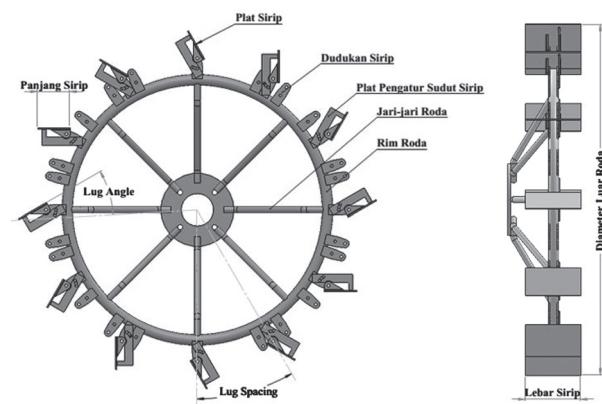
Instrumentasi Uji dan Sistem Akuisisi Data

Instrumen uji digunakan untuk mengukur parameter torsi dan ketenggelaman roda (*sinkage*). Torsi (T) pada poros roda traktor diukur dengan menggunakan *transducer* torsi dengan dua buah *strain gauge* yang dipasang secara silang pada poros roda tambahan. *Transducer* dipasang di antara *fleksibel* pada poros traktor dan roda. Secara skematis, pemasangan *strain gauge* pada *transducer* torsi ditunjukkan pada Gambar 2.

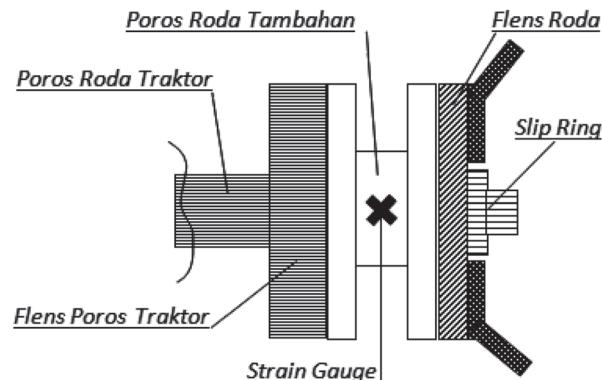
Ketenggelaman roda (z) selama traktor melintas diukur dengan perangkat pengukur ketenggelaman roda berupa peluncur ayun dengan sensor potensiometer linear. Potensiometer linear ini terpasang pada sebuah ujung lengan ayun fleksibel yang pada ujung yang lain disambungkan pada poros traktor. Pelampung akan kontak langsung dengan permukaan lintasan berlumpur dan ikut terseret searah pergerakan traktor. Selama terseret mengikuti pergerakan traktor, lengan ayun fleksibel akan membentuk besaran sudut tertentu terhadap pelampung bergantung ketenggelaman roda yang terjadi. Sudut ini yang akan diukur oleh potensiometer linear. Secara skematis, perangkat pengukur ketenggelaman roda diperlihatkan pada

Gambar 3.

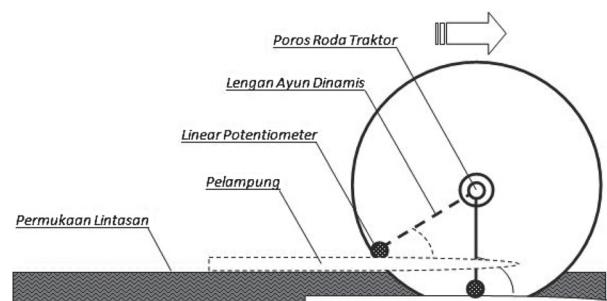
Parameter torsi direkam melalui perangkat perekam data dengan peralatan yang berturut-turut meliputi *strain gauge*, *slip ring*, *bridge box*, *strain amplifier*, *data logger*, dan satu unit *personal computer* sebagai unit perekam data. Sedangkan parameter ketenggelaman roda direkam melalui komponen potensiometer linear yang ada pada perangkat pengukur ketenggelaman roda, dilanjutkan ke *data logger* dan satu unit *personal computer* sebagai unit perekam data. Perekaman data torsi dan ketenggelaman roda dilakukan selama 40 detik dengan frekuensi perekaman 25 Hz sebagaimana dilakukan oleh Triratanasirichai *et al.* (1990). Sistem akuisisi data torsi dan ketenggelaman roda secara skematis digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Ilustrasi roda uji.



Gambar 2. Ilustrasi pemasangan strain gauge pada poros roda.



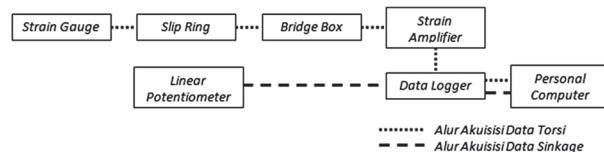
Gambar 3. Ilustrasi perangkat pengukur ketenggelaman roda.

Prosedur Pengujian Kinerja Traksi

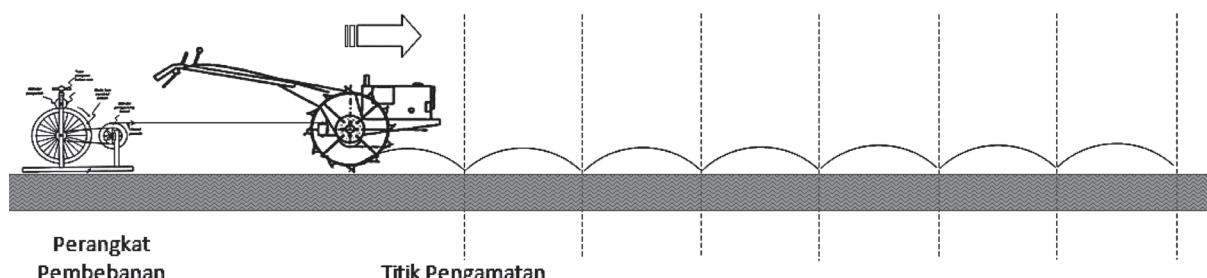
Pengujian kinerja traksi roda dilakukan pada lahan sawah berlumpur dengan lintasan lurus sepanjang $\pm 20\text{m}$. Pada satu ujung lintasan, ditempatkan perangkat pembebahan dengan sistem penggeraman dengan kapasitas pembebahan maksimum 740 N. Selanjutnya, kawat baja sling dari perangkat pembebahan dihubungkan dengan *three-point hitch* yang ada pada bagian belakang traktor. Pemberian beban pada perangkat pembebahan dilakukan seiring dengan bergerak majunya traktor, serta besarnya beban yang diberikan selama traktor bergerak direkam menggunakan *digital camera*. Proses perekaman data torsi dan ketenggelaman roda oleh sistem akuisisi data dimulai sebelum, selama dan setelah traktor melintas. Dalam penelitian ini, jarak yang ditempuh oleh traktor dibagi menjadi tujuh titik pengamatan. Tujuh titik pengamatan ini didasarkan pada tiap satu putaran penuh roda, dimana dalam satu kali melintas dilakukan tujuh kali putaran penuh roda. Pada masing-masing ketujuh titik pengamatan ini, dilakukan pengukuran jarak tempuh linear dan waktu tempuh. Parameter jarak tempuh pada setiap titik pengamatan akan dimanfaatkan untuk perhitungan parameter kecepatan linear (v) dan slip roda (S). Sedangkan parameter waktu akan dimanfaatkan untuk perhitungan parameter kecepatan linear (v) dan kecepatan anguler roda (ω), serta sebagai basis sinkronisasi data parameter torsi (T), gaya tarik traktor (P) dan ketenggelaman roda (z). Setiap variasi spesifikasi roda yang diujicobakan diulang sebanyak tiga kali melintas, sehingga didapatkan sebanyak 21 data untuk masing-masing parameter pada masing-masing perlakuan. Secara skematis, prosedur pengujian kinerja traksi tampak pada Gambar 5.

Perhitungan Kinerja Traksi

Guna mengetahui kinerja traksi dari roda, perlu diketahui beberapa parameter, yaitu tenaga



Gambar 4. Skema sistem akuisisi data parameter torsi dan ketenggelaman roda.



Gambar 5. Ilustrasi prosedur pengujian traksi.

tarik (*drawbar power*), tenaga masukan pada poros roda (*power input*) dan effisiensi traksi (*tractive efficiency*). Ketiga parameter tersebut, pada penelitian-penelitian sebelumnya, umumnya ditampilkan bersamaan dengan slip roda. Nilai slip roda dirumuskan sebagaimana berikut.

$$S = 100 \times \left(\frac{l_t - l_a}{l_t} \right) \quad (1)$$

Slip roda (s) diketahui dengan mengukur jarak perpindahan linier yang dihasilkan satu putaran penuh roda traktor dengan beban (l_a) pada lintasan dan membandingkannya dengan jarak perpindahan linier yang dihasilkan satu putaran penuh roda traktor tanpa beban (l_t) yang telah diketahui sebelumnya. Nilai tenaga tarik (*drawbar power*/ P_o) dan tenaga masukan (*power input*/ P_i) dalam Watt diketahui berturut dari Persamaan 2 dan 3, di mana P adalah gaya tarik traktor (N), v merupakan kecepatan linear traktor (m/s), T adalah torsi pada poros roda (Nm) dan ω adalah kecepatan anguler roda (rad/s). Adapun nilai effisiensi traksi (*tractive efficiency*/ η) dalam % diketahui dari Persamaan 4.

$$P_o = P \times v \quad (2)$$

$$P_i = T \times \omega \quad (3)$$

$$\eta = \frac{Pv}{T\omega} \times 100 \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan

Hubungan Tenaga Tarik serta Beban Terhadap Slip Roda

Hubungan tenaga tarik (*drawbar power*) terhadap slip roda dan slip roda terhadap beban untuk masing-masing perlakuan tampak pada Gambar 6. Dari data diketahui bahwa slip roda terjadi guna menghasilkan gaya tarik (Gee-Clough (1991) dalam Soekarno dan Salokhe 2003), sehingga tenaga tarik, yang mempersyaratkan adanya gaya tarik, juga bergantung timbulnya slip roda (Soekarno dan Salokhe, 2003). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hubungan tenaga tarik terhadap slip roda sesuai dengan cukup baik yang dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi pada Tabel 2 dengan garis yang dibentuk oleh fungsi polinomial (Gambar

6). Hubungan yang sama juga dihasilkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya, seperti oleh Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003).

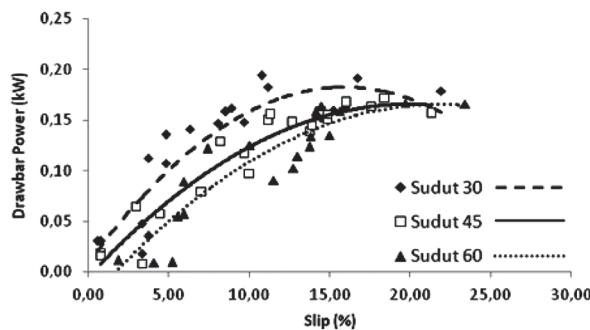
Secara umum, fungsi polinomial yang terbentuk dari hasil analisis regresi memiliki bentuk umum sebagaimana berikut, dimana P_o adalah tenaga tarik (*drawbar power*) dalam satuan kW; s adalah nilai slip roda dalam satuan %; serta A , B dan C merupakan konstanta pembentuk persamaan.

$$P_o(s) = As - Bs^2 - C \quad (5)$$

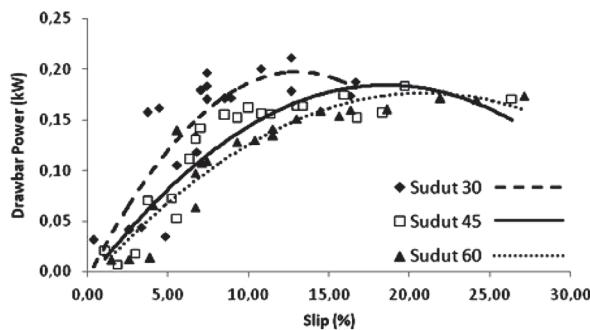
Nilai masing-masing konstanta A , B dan C beserta nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai *Standard Error of Estimation (SEE)* untuk masing-masing perlakuan tampak pada Tabel 2. Dari data pada Tabel 2 serta ilustrasi grafik hubungan tenaga tarik terhadap slip roda pada Gambar 6, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai slip roda mengakibatkan peningkatan tenaga tarik yang

dihasilkan, yang juga berimbang pada peningkatan efisiensi traksi, hingga tenaga tarik mencapai nilai maksimumnya pada nilai slip roda tertentu. Namun demikian, peningkatan nilai slip roda yang lebih besar dari nilai slip saat tenaga tarik maksimum tersebut, justru mengakibatkan penurunan tenaga tarik yang dihasilkan. Kesimpulan ini juga dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya, baik yang menguji performansi traksi roda bersirip di lahan berlumpur aktual (Triratanasirichai *et al.*, 1990) maupun pengujian di media *soil bin*, seperti oleh Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003).

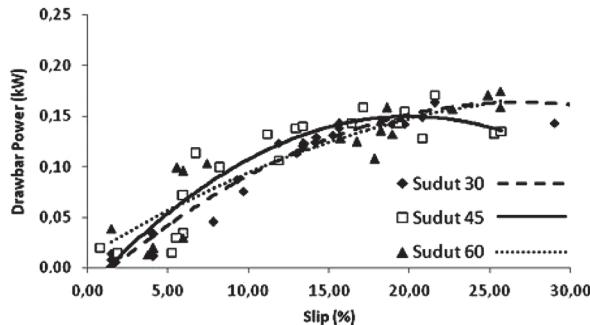
Dengan memanfaatkan bentuk persamaan polinomial serta konstanta yang ada pada Tabel 2, dapat diketahui secara simulasi matematis berapa nilai tenaga tarik maksimum yang mampu dihasilkan oleh roda pada setiap perlakuan, dan pada slip roda berapa tenaga tarik maksimum tersebut terjadi. Tabel 3 menyajikan hasil simulasi matematis berupa nilai tenaga tarik maksimum



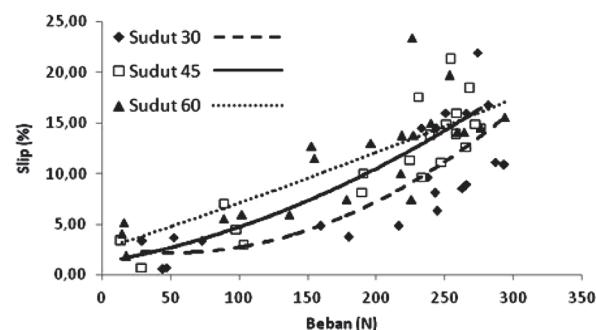
A1



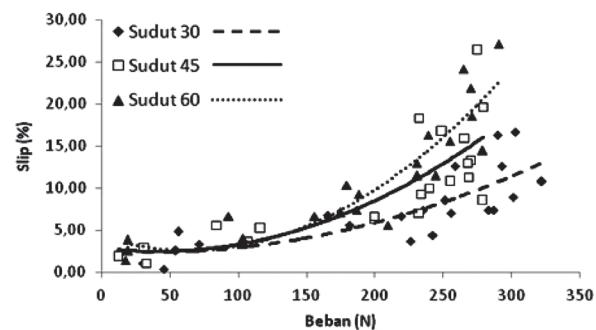
B1



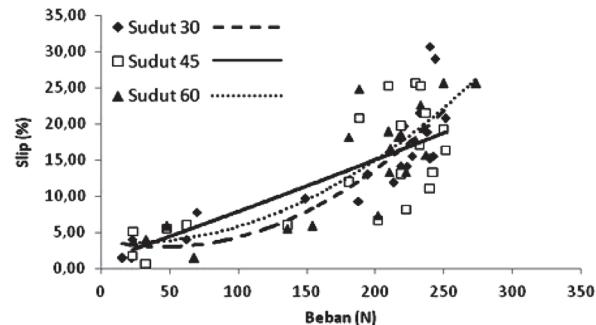
C1



A2



B2



C2

Gambar 6. Hubungan tenaga tarik terhadap slip (A1, B1, C1) dan slip terhadap beban tarik (A2, B2, C2) pada berbagai perlakuan (A) 10 sirip; (B) 12 sirip; (C) 14 sirip.

Tabel 2. Hasil analisis regresi hubungan tenaga tarik terhadap slip roda.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Konstanta A	Konstanta B	Konstanta C	R ^{2*}	SEE**
10	30	0.021	0.00064	(-0.008)	0.803	0.03
	45	0.017	0.00042	0.004	0.917	0.02
	60	0.017	0.00037	0.028	0.803	0.02
12	30	0.031	0.00120	0.006	0.731	0.03
	45	0.021	0.00057	0.010	0.872	0.02
	60	0.017	0.00039	0.010	0.863	0.02
14	30	0.013	0.00022	0.020	0.950	0.01
	45	0.017	0.00043	0.020	0.852	0.02
	60	0.009	0.00011	(-0.012)	0.831	0.02

*R², Koefisien determinasi

**SEE, Standard error of estimation

Tabel 3. Hasil simulasi dan pengukuran nilai tenaga tarik maksimum terhadap slip roda.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Parameter Terukur	
		P _{oMaks} (kW)	Slip (%)
10	30	0.19	17
	45	0.17	21
	60	0.17	23
12	30	0.21	13
	45	0.18	20
	60	0.17	22
14	30	0.17	31
	45	0.17	22
	60	0.17	26

yang mungkin dicapai dan nilai slip roda saat tenaga tarik maksimum tersebut terjadi. Sebagai perbandingan, juga ditampilkan hasil pengukuran tenaga tarik maksimum dan nilai slip rodanya dari hasil pengukuran di lapangan.

Dari data pada Tabel 3, juga diketahui bahwa nilai maksimum tenaga tarik terukur pada berbagai perlakuan bervariasi pada nilai slip roda antara 12 – 30 %. Hal ini sedikit berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Triratanasirichai *et al.*, (1990) yang juga menguji performansi traksi roda sangkar aktual di lahan berlumpur menggunakan traktor tangan, berkesimpulan bahwa nilai maksimum tenaga tarik diperoleh pada rentang nilai slip roda 30 – 40 %. Penelitian pada roda sangkar dengan spesifikasi dan konfigurasi sirip berbeda pada media *soil bin* dilakukan oleh Soekarno dan Salokhe (2003) dengan nilai tenaga tarik maksimum diperoleh pada nilai slip roda sekitar 15%. Penelitian oleh Wayotha dan Salokhe (2001) menghasilkan nilai maksimum tenaga tarik diperoleh pada nilai slip roda sekitar 34%.

Dari data pada Tabel 3 pula diketahui pula sudut sirip 30° dan 45° berturut-turut relatif memberikan tenaga tarik maksimum lebih tinggi

jika dibandingkan dengan sudut sirip 60° pada berbagai perlakuan. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya, bahwa sudut sirip yang lebih kecil (45° dan 30°) menghasilkan tenaga tarik lebih besar jika dibandingkan dengan sudut sirip yang lebih besar (60°), sebagaimana dilaporkan oleh Triratanasirichai *et al.* (1990). Perbedaan jumlah sirip pada roda berpengaruh terhadap tenaga tarik maksimum yang mungkin dihasilkan oleh roda. Jumlah sirip roda 12 dan 10 berturut-turut relatif menghasilkan tenaga tarik maksimum lebih besar jika dibandingkan dengan sirip roda yang lebih banyak. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah sirip yang ada pada roda tidak selalu berimplikasi pada peningkatan tenaga tarik (*drawbar power*) yang dihasilkan. Argumen yang diajukan atas hasil ini adalah terlalu rapatnya jarak antar sirip menyebabkan jarak antar ceruk pada permukaan lintasan yang juga memendek. Jarak yang antar ceruk yang pendek berpotensi menghasilkan geseran tanah ke arah belakang yang berimplikasi pada kecilnya gaya reaksi yang diberikan lintasan terhadap sirip. Selain itu, argumen lain yang diajukan oleh peneliti sebelumnya adalah tahanan guling (*rolling resistance*) yang lebih tinggi serta melengketnya tanah pada permukaan sirip dan roda (Wayotha dan Salokhe 2001).

Effisiensi Traksi dan Hubungannya terhadap Beban

Nilai efisiensi traksi, pada beberapa penelitian sebelumnya seperti oleh Triratanasirichai *et al.*, (1990); Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003), selalu disandingkan dengan nilai slip roda saat nilai efisiensi traksi tersebut tercapai. Berdasarkan data tenaga tarik terukur maksimum, nilai efisiensi traksi pada masing-masing perlakuan tampak pada Tabel 4. Berdasarkan pertimbangan sebagaimana oleh Triratanasirichai *et al.* (1990) dan Wayotha dan Salokhe (2001) yang mendasarkan spesifikasi roda terbaik pada performansi traksi dan biaya pembuatan, maka spesifikasi roda dengan jumlah 12 sirip dengan sudut 30° dianggap spesifikasi

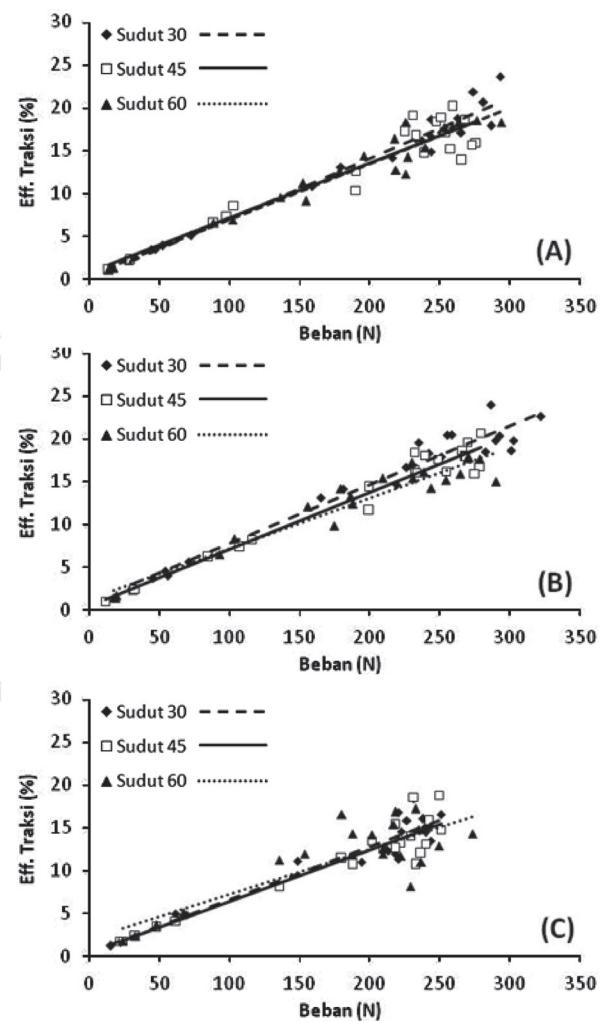
Tabel 4. Effisiensi traksi terhadap slip roda pada masing-masing perlakuan.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Torsi (Nm)	ω (rad/s)	Daya Input (kW)	P _{oMaks} (kW)	Eff. Traksi (%)	Slip (%)
10	30	503.84	1.62	0.82	0.19	23.72	10.78
	45	530.33	1.56	0.83	0.17	20.19	16.02
	60	553.80	1.59	0.88	0.16	18.61	14.50
12	30	511.02	1.60	0.82	0.20	24.04	7.43
	45	480.30	1.85	0.89	0.18	20.70	19.70
	60	546.58	1.65	0.90	0.16	17.81	18.59
14	30	526.15	1.69	0.89	0.16	18.41	21.56
	45	567.04	1.34	0.76	0.14	18.84	19.33
	60	566.14	1.60	0.91	0.16	17.24	22.68

optimum dari roda bersirip ramping menunjukkan hubungan effisiensi traksi terhadap beban yang diberikan. Secara umum, effisiensi traksi meningkat seiring dengan peningkatan beban yang diberikan pada semua variasi jumlah dan sudut sirip. Dari hubungan ini diketahui bahwa effisiensi traksi terhadap beban membentuk garis linear dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 \geq 0.89$). Secara teoritis, hubungan effisiensi traksi terhadap beban membentuk garis polinomial, dimana pada tingkat beban tertentu, effisiensi traksi mencapai titik puncaknya dan tidak dapat lebih besar lagi. Hal ini dimungkinkan karena penambahan beban cenderung berimplikasi pada membesarnya slip roda, dan di saat yang sama hubungan effisiensi traksi terhadap slip roda membentuk garis polinomial (Wayotha dan Salokhe 2001). Pada penelitian ini, garis yang terbentuk adalah garis linear yang hanya berlaku pada rentang beban 0 - 350 N, yaitu rentang beban yang diperoleh selama pengujian performansi traksi (Gambar 7). Pada rentang beban tersebut, nilai effisiensi traksi maksimum dari roda belum tercapai.

Namun demikian, selain faktor-faktor pertimbangan yang telah disebutkan sebelumnya, tak kalah pentingnya adalah mempertimbangkan faktor kerusakan lintasan karena melintasnya roda. Hal ini mengingat roda akan melintas di antara alur tanaman padi yang berpotensi akan menyebabkan kerusakan pada daerah perakaran tanaman padi. Metode yang digunakan pada penelitian seperti oleh Hermawan *et al.*, (1997, 1998a, 2000) dan Setiawan *et al.* (2013), yang melakukan studi terkait pengaruh sudut sirip dan jumlah sirip terhadap arah gerak (*lug trajectory*) saat tenggelam di dalam tanah, dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan lebih lanjut. Hal ini mengingat jumlah sirip yang ada pada roda menentukan terkait seberapa rapat ceruk bekas melintas yang timbul pada lintasan. Selain itu, sudut sirip berperan dalam menentukan arah geseran tanah yang ditimbulkan sirip saat roda melintas. Hasil pengukuran ketenggelaman roda menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar perlakuan, dengan rataan ketenggelaman roda (z) sekitar 20 ± 4.16 cm dengan kecenderungan

meningkat seiring dengan peningkatan slip roda. Nilai z yang cukup besar dan tidak berbeda signifikan tersebut dimungkinkan karena beban vertikal dari traktor sendiri yang cukup besar (251 kg). Dengan beban vertikal tersebut, kemampuan roda bersirip ramping untuk menghasilkan gaya angkat pada lintasan berlumpur menjadi tereduksi oleh karena luas permukaan sirip yang terbatas. Nilai z yang cukup besar tersebut (sekitar 23 % dari



Gambar 7. Hubungan effisiensi traksi terhadap beban (A) 10 sirip; (B) 12 sirip; (C) 14 sirip.

diameter luar roda) diduga kuat sebagai penyebab nilai effisiensi traksi roda bersirip ramping yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan roda besi bersirip konvensional.

Luas permukaan sirip yang terbatas berimplikasi pada gaya reaksi tanah pada sirip yang tereduksi, sehingga titik keseimbangan antara gaya aksi-reaksi antara sirip dan tanah terjadi di ketenggelaman (z) yang relatif besar. Sebagai implikasi lanjutannya, tenaga masukan ($power input/P_i$) lebih banyak termanfaatkan untuk mengatasi hambatan oleh karena ketenggelaman (z). Sehingga porsi tenaga masukan ($power input/P_i$) yang termanfaatkan untuk menghasilkan traksi menjadi lebih berkurang.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang bertujuan sama, di lokasi yang sama, namun dengan roda sangkar konvensional oleh Rizaldi (2015) yang dalam perancangannya telah dioptimasi, diketahui bahwa nilai effisiensi traksi terbesar yang diperoleh pada penelitian ini relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai effisiensi traksi pada penelitian tersebut, yaitu sekitar 33 %.

Simpulan

Beberapa simpulan yang dapat diajukan dari penelitian ini meliputi beberapa fakta berikut.

1. Hubungan tenaga tarik (*drawbar power*) terhadap slip roda membentuk fungsi polinomial, yaitu nilai tenaga tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai slip hingga mencapai titik maksimumnya pada kisaran 12 – 30 %, bergantung spesifikasi roda yang digunakan.
2. Roda dengan 12 sirip menghasilkan tenaga tarik (*drawbar power*) lebih besar jika dibandingkan dengan roda dengan 10 dan 14 sirip.
3. Sudut sirip 30° dan 45° berturut-turut menghasilkan tenaga tarik (*drawbar power*) lebih besar jika dibandingkan dengan sudut sirip 60° .
4. Spesifikasi roda dengan 12 sirip dan sudut sirip 30° merupakan spesifikasi optimal untuk kondisi tanah dan traktor yang digunakan.

Daftar Pustaka

- Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1997. The characteristics of soil reaction forces on a single movable lug. *Journal of Terramechanics*. 34:23-35.
- Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1998a. Experimental analysis of soil reaction on a lug of a movable lug wheel. *Journal of Terramechanics*. 35:119-135.
- Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1998b. Design and traction performance of the movable lug wheel. *Journal of Terramechanics*. 35:159-177.
- Hermawan, W., Yamazaki M, Oida A. 2000. Theoretical analysis of soil reaction on a lug of the movable lug cage wheel. *Journal of Terramechanics*. 37:65-86.
- Macmillan, RH. 2002. The Mechanics of Tractor – Implement Performance. University of Melbourne. Melbourne.
- Makarim, A.K., V. Balasubramaniam, Z. Zaini, I. Syamsiah, I.G.P.A. Diratmadja, Handoko, Arafah, I.P. Wardana, A. Gani. 2002. System of rice intensification (SRI): evaluation of seedling age and selected components in Indonesia. Di dalam Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS, Tuong TP, Ladha JK (Ed). Water-wise Rice Production. International Rice Research Institute. Manila.
- Rizaldi, T. 2015. Metode desain roda besi bersirip optimum untuk lahan sawah (Studi kasus pada tanah silty clay loam) [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sakai, J., T. Kishimoto, S. Phongsupasamit. 1987. A study on engineering design theories of iron wheels for plowing. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 18(4):11-18.
- Setiawan, R.P.A., I.W. Astika, D.M. Subrata, A. Azis. 2013. Design of iron wheel of a light tractor for crop maintenance in unconsolidated paddy field. The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE).
- Soekarno, S., V. Salokhe. 2003. Soil reactions on the cage wheels with staggered echelons of half-width lugs and perfect chevron lugs in wet clay soil. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*. July 2003.
- Triratanasirichai K., A. Oida, M. Honda. 1990. The performance of cage wheels for small power tillers in agricultural soil. *Journal of Terramechanics*. 27(3):193-205.
- Wayotha, C., V.M. Salokhe. 2001. Tractive performance of cage wheel with opposing circumferential lugs. *Journal of Agricultural Engineering Resource*. 79(4):389-398.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Analisis Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip Di Lahan Sawah

Analysis of Lug Wheel Tractive Performance in Paddy Fields

Muhammad Taufiq, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan Institut Pertanian Bogor.

Email: muh.fiq09@gmail.com

Tineke Mandang, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: tineke_mandang_2003@yahoo.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Institut Pertanian Bogor.

Email: w_hermawan@ipb.ac.id

Abstract

Paddy field soil condition is an important factor to be considered in designing a lug wheel for paddy field cultivation. To get the optimum wheel design, the wheel traction performance should be predicted before constructing the wheel. The purpose of this research were 1) to develop a prediction method of lug wheel performance, 2) to analyze the performance of lug wheel, and 3) to select the best configuration of lug wheel design. Tractive performance prediction method was developed based on the forces acting on active lugs when the wheel operates in the soil. Soil reaction forces to wheel lugs were predicted using measured data of soil resistance on plat penetration in the soil. Nine wheel designs were tested in a paddy field to validate the prediction of wheel traction performance. The results showed that the developed prediction method developed had not approached the wheel traction efficiency measurement results. The wheel traction efficiency prediction showed a high level of error that was more than 65%. The best wheel design for the paddy field was determined from the highest average measurement value of the wheel traction efficiency i.e 47.81%, that was the wheel with 12 lugs and 30° lug angle.

Keywords: design, lug wheel, paddy field, performance prediction, tractive efficiency

Abstrak

Kondisi lahan sawah merupakan faktor penting yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan roda besi bersirip untuk pengolahan tanah. Untuk mendapatkan desain roda besi bersirip yang optimal, kinerja traksi harus diduga sebelum melakukan perancangan. Tujuan dari penelitian ini adalah 1) untuk mengembangkan sebuah metode pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip, 2) untuk menganalisis kinerja traksi roda besi bersirip, 3) untuk menentukan konfigurasi desain roda besi bersirip terbaik. Metoda untuk menduga kinerja traksi dikembangkan berdasarkan gaya-gaya reaksi yang bekerja pada sirip aktif pada saat roda besi bersirip beroperasi di lahan. Gaya reaksi tanah pada sirip roda diduga dengan menggunakan data pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat. Sebanyak 9 buah tipe desain roda besi bersirip telah diuji pada lahan sawah untuk memvalidasi hasil pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip. Hasil validasi menunjukkan bahwa efisiensi traksi hasil pengembangan metode pendugaan belum mendekati hasil efisiensi traksi pengukuran. Pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip menghasilkan tingkat error yang tinggi yaitu lebih dari 65%. Desain roda besi bersirip terbaik untuk lahan sawah ditentukan dari rata-rata nilai efisiensi traksi hasil pengukuran tertinggi sebesar 47.81% yaitu roda besi bersirip dengan jumlah sirip 12 dan sudut sirip 30°.

Kata Kunci: desain, efisiensi traksi, lahan sawah, prediksi kinerja, roda besi bersirip.

Diterima: 20 April 2016; Disetujui: 09 Juni 2016

Latar Belakang

Pengolahan tanah adalah salah satu faktor yang berperan sangat penting dalam peningkatan produksi budidaya tanaman padi. Traktor roda dua merupakan alat yang sering digunakan dalam pengolahan tanah pada lahan sawah. Pemakaian traktor roda dua untuk pengolahan tanah sawah dapat mempermudah pekerjaan pengolahan tanah, meningkatkan kapasitas, efisiensi, dan kenyamanan dalam bekerja. Faktor utama yang secara langsung mempengaruhi kinerja traktor roda dua yang beroperasi di lahan sawah adalah roda besi bersirip. Plackett (1985) menyatakan bahwa roda traktor yang berputar akan mengalami gaya traksi, tahanan gelinding, gaya kemudi, gaya dukung tanah, dan gaya akibat berat traktor itu sendiri. Triratanasirichai *et al.* (1990) menyatakan bahwa efisiensi traksi maksimum dan daya *drawbar* maksimum pada traktor roda dua jenis roda besi bersirip secara signifikan dipengaruhi oleh *lug angle* (sudut sirip), *lug pitch* (spasi antar sirip), slip roda dan kondisi tanah. Kondisi tanah pada lahan sawah di Indonesia umumnya mengandung kadar air yang sangat tinggi dan memiliki lapisan lumpur yang dalam. Oleh karena itu sangat perlu perancangan roda besi bersirip yang baik sebagai alat traksi pada traktor roda dua, sehingga traktor roda dua dapat mengolah tanah pada lahan sawah dengan optimal.

Roda besi bersirip perlu didesain dengan cermat berdasarkan kondisi tanah dan traktor yang digunakan. Agar roda yang didesain dapat diperkirakan kinerja traksinya, maka metode pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip ini perlu dikembangkan. Hermawan (1998) mempertimbangkan sistem sirip-tanah untuk menduga gaya reaksi tanah terhadap sirip yang memerlukan banyak parameter karakteristik tanah yang harus diukur atau diketahui. Sebagai alternatif, perlu dilakukan pengukuran dengan instrumen yang praktis dan mudah dilakukan, salah satunya dengan memanfaatkan penetrometer. Gaya reaksi tanah pada sirip-sirip roda yang aktif dapat diduga dengan pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat (Hermawan 2009). Dengan

cara ini diharapkan efisiensi traksi roda besi bersirip dapat diduga sehingga dapat diperoleh desain roda besi bersirip terbaik yang dapat digunakan pada kegiatan pengolahan tanah lahan sawah.

Tujuan dari penelitian ini adalah : (1) mengembangkan metode pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip, (2) menganalisis efisiensi traksi roda besi bersirip, dan (3) menentukan konfigurasi desain roda besi bersirip terbaik.

Bahan dan Metode

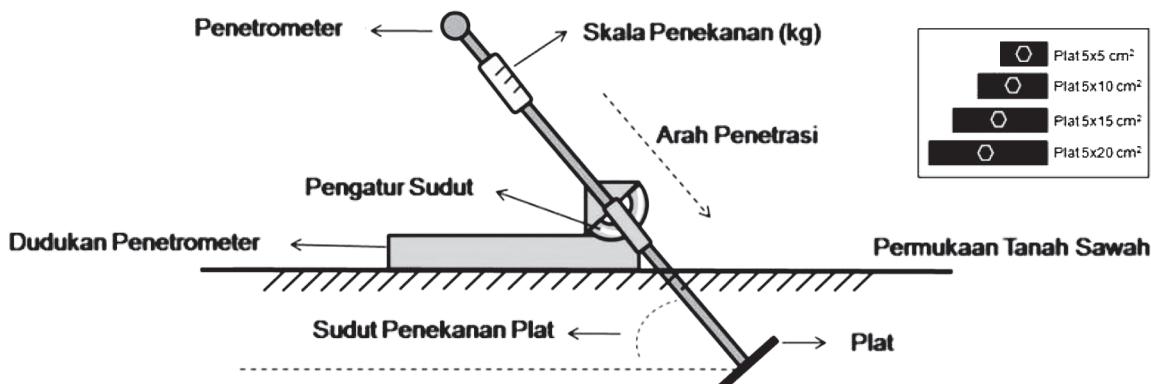
Pengukuran Sifat Fisik Dan Tahanan Penetrasi Tanah

Karakteristik tanah yang diukur adalah : (1) kadar air, (2) dry bulk density, (3) porositas, dan (4) indeks plastisitas. Pengukuran dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah pada kedalaman tanah di antara rentang 5cm - 20 cm. Pengambilan sampel tanah dilakukan secara acak sebanyak tiga titik dengan menggunakan ring sample. Pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat di sawah menggunakan penetrometer yang dilengkapi plat datar dan penahan kemiringan. Plat penekan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1. Variasi sudut penekanan yaitu 30°, 45°, 60°, 75°, dan 90° masing-masing pada tiap kedalaman 5cm, 10cm, 15cm, dan 20cm.

Pendugaan Efisiensi Traksi Roda Besi Bersirip

Efisiensi traksi roda besi bersirip dapat diduga dari hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat. Pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat dapat digunakan untuk mengetahui besarnya gaya reaksi tanah yang bekerja pada plat. Pada saat roda berinteraksi dengan tanah pada kedalaman *sinkage* (*Z*) tertentu, terdapat beberapa sirip aktif yang bereaksi untuk menghasilkan gaya reaksi pada tanah. Banyaknya sirip aktif ini sangat menentukan besarnya gaya angkat dan gaya tarik yang dihasilkan roda. Posisi sudut serta arah gaya reaksi disajikan pada Gambar 2.

Berikut ini tahapan yang dilakukan dalam pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip :



Gambar 1. Skema pengukuran tahanan penetrasi tanah terhadap plat.

1. Penentuan sudut juring (θ_{jr}) berdasarkan jari-jari roda (R_r) dan sinkage (Z) (asumsi roda tenggelam pada kedalaman 20 cm)

$$\theta_{jr} = 2 \cdot \cos^{-1} \left[\frac{(R_r - Z)}{R_r} \right] \quad (1)$$

2. Penentuan jumlah sirip aktif (J_{sa}) berdasarkan jumlah sirip (J_s)

$$J_{sa} = \frac{\theta_{jr}}{360} \cdot J_s \quad (2)$$

3. Penentuan sudut antar sirip (θ_s) berdasarkan jumlah sirip (J_s)

$$\theta_s = \frac{360}{J_s} \quad (3)$$

4. Penentuan sudut yang dibentuk oleh sirip aktif arah horizontal ke-n (θ_n) berdasarkan sudut antar sirip (θ_s)

- a. Jika jumlah sirip aktif = 3

$$\theta_1 = 90 + \theta_s \quad (4)$$

$$\theta_2 = 90$$

$$\theta_3 = 90 - \theta_s$$

- a. Jika jumlah sirip aktif = 4

$$\theta_1 = 90 + (0.5\theta_s) + \theta_s \quad (5)$$

$$\theta_2 = 90 + (0.5\theta_s)$$

$$\theta_3 = 90 - (0.5\theta_s)$$

$$\theta_4 = 90 - (0.5\theta_s) - \theta_s$$

5. Penentuan sudut (α_n) yang dibentuk gaya resultan (F_r) sirip aktif ke-n ke arah horizontal tanah dan sudut (β_n) yang dibentuk gaya penetrasi (F_p) sirip aktif ke-n ke arah horizontal tanah berdasarkan sudut sirip (λ)

$$\alpha_n = \theta_n - \lambda \quad (6)$$

$$\beta_n = 90 - \alpha_n \quad (7)$$

6. Perhitungan gaya reaksi resultan yang bekerja pada sirip aktif (F_r) berdasarkan tahanan penetrasi tanah terhadap plat (T_p) dan luas permukaan sirip (A_s), gaya reaksi horizontal (F_h) dan gaya reaksi vertikal (F_v) berdasarkan gaya reaksi resultan (F_r) dan sudut (α_n)

$$F_r = \sum_{j=1}^{i=js} A_s \cdot T_p \quad (8)$$

$$F_v = F_r \cos \alpha \quad (9)$$

$$F_h = F_r \sin \alpha \quad (10)$$

7. Perhitungan tahanan gelinding roda (F_{rr}) berdasarkan berat traktor sebesar 273.3 kg (W_t) dan koefisien tahanan gelinding roda sebesar 0,2 (C_{rr}) (Oida 1992)

$$F_{rr} = 0.5 (W_t \cdot C_{rr} \cdot 9.81) \quad (11)$$

8. Perhitungan gaya tarik (D_{bp}) berdasarkan gaya reaksi horizontal total ($F_{h-total}$) dan tahanan gelinding roda (F_{rr})

$$D_{bp} = F_{h-total} - F_{rr} \quad (12)$$

9. Perhitungan torsi (T) berdasarkan gaya resultan (F_r) dan lengan torsi (l_t)

- a. Untuk jumlah sirip aktif = 3

$$T = (F_{r1} \cdot l_t) + (F_{r2} \cdot l_t) + (F_{r3} \cdot l_t) \quad (13)$$

- b. Untuk jumlah sirip aktif = 4

$$T = (F_{r1} \cdot l_t) + (F_{r2} \cdot l_t) + (F_{r3} \cdot l_t) + (F_{r4} \cdot l_t) \quad (14)$$

Dengan asumsi gaya reaksi resultan tanah (F_r) tegak lurus terhadap plat sirip, maka lengan torsi (l_t) dapat dihitung berdasarkan sudut sirip (λ), jari-jari roda (R_r) dan tinggi sirip (T_s).

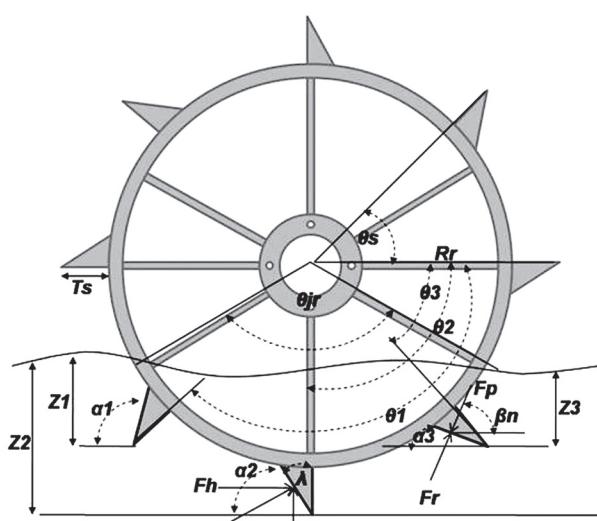
$$l_t = (\cos \lambda \cdot R_r) - \left(\frac{T_s}{2} \right) \quad (15)$$

10. Perhitungan kecepatan maju teoritis roda (V_t) berdasarkan diameter roda (D_r) dan kecepatan putar (n_{rpm}) (nilai kecepatan putar roda yang *diinput* diasumsikan sama dengan nilai kecepatan putar roda hasil pengujian yaitu sebesar 13.5-21.7 rpm.

$$V_t = D_r \cdot \pi \cdot \left(\frac{n_{(rpm)}}{60} \right) \quad (16)$$

11. Perhitungan kecepatan maju aktual roda (V_a) berdasarkan kecepatan maju teoritis roda (V_t) dan slip roda (nilai slip roda yang *diinput* diasumsikan sama dengan nilai slip roda hasil pengujian yaitu sebesar 15-21%).

$$V_a = V_t - (V_t \cdot Slip) \quad (17)$$



Gambar 2. Sudut-sudut dan gaya reaksi yang terbentuk oleh sirip aktif.

12. Perhitungan efisiensi traksi (η_t) berdasarkan gaya tarik (D_{bp}), kecepatan maju aktual roda (V_a), torsi (T) dan kecepatan putar roda (ω) (Hermawan et al. 2001)

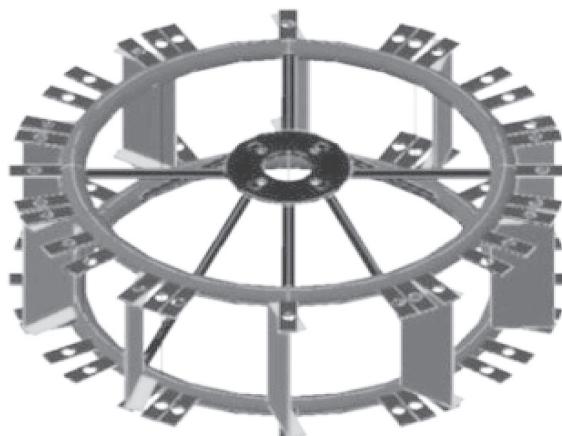
$$\eta_t = \frac{(D_{bp} \cdot V_a)}{(T \cdot \omega)} \cdot 100\% \quad (18)$$

Pengukuran Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip di Lahan Sawah

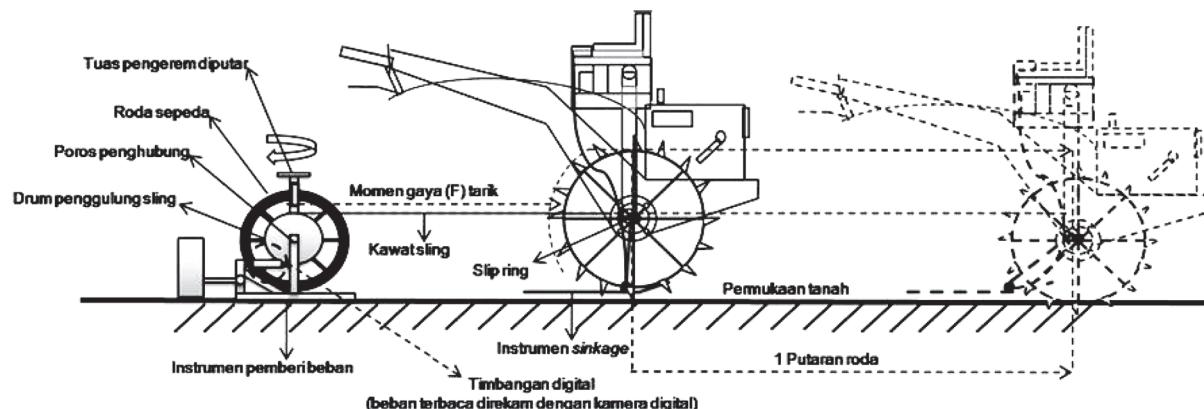
Roda uji didesain agar dapat diatur jumlah sirip dan sudut yang siripnya. Adapun spesifikasi detail dari roda uji yang digunakan untuk pengujian di lahan sawah adalah sebagai berikut : a) diameter roda (D_r) = 86 cm, b) jumlah sirip (J_s) = 10, 12 dan 14, c) sudut sirip (λ) = 30°, 35° dan 40°, d) panjang sirip (P_s) = 36 cm, e) tinggi sirip (T_s) = 9 cm dan f) berat roda (W_r) = 34.41 kg. Berikut adalah gambar roda uji untuk pengujian di lahan sawah yang ditampilkan pada Gambar 3.

Pengukuran gaya tarik (*drawbar pull*) diukur dengan menggunakan instrumen pemberi beban tarik yang dihubungkan pada traktor yang sedang melaju. Skema pengukuran gaya tarik disajikan pada Gambar 4.

Kecepatan maju roda, kecepatan putar roda dan slip roda diukur dengan mengukur jarak tempuh dan waktu tempuh dalam satu putaran roda. Skema pengukuran kecepatan maju roda, kecepatan putar



Gambar 3. Roda besi bersirip uji.



Gambar 4. Skema pengujian kinerja traksi roda besi bersirip.

roda dan slip roda yang disajikan pada Gambar 4. Torsi pada poros roda diukur dengan seperangkat instrumen yang terhubung dengan sensor *strain gauge* yang dipasang di transduser torsi. Sebelum pengujian, transduser torsi dikalibrasi dan diperoleh persamaan regresi $Y = 2395.425X - 697.30$ dimana Y = torsi dan X = mikro strain ($\mu\epsilon$). Ketenggelaman roda (*sinkage*) diukur dengan perangkat plat *slider*, lengan *slider* dan potensiometer (Gambar 5). Sensor potensiometer pada *slider sinkage* akan membaca data berupa tahanan (Ω). Sebelum pengujian, instrumen pengukur *sinkage* dikalibrasi dan diperoleh persamaan regresi $Y = 1238.35X - 67.72$ dimana Y = *sinkage* dan X = tahanan (Ω).

Penentuan Konfigurasi Desain Roda Besi Bersirip Terbaik di Lahan Sawah

Konfigurasi roda besi bersirip terbaik dipilih berdasarkan hasil efisiensi traksi yang paling tinggi. Hermawan et al. (2001) menyatakan bahwa efisiensi traksi akan bernilai tinggi apabila perbandingan daya keluaran (*output*) dengan daya masukan (*input*) yang dihasilkan oleh roda besi bersirip adalah besar. Liljedahl et al. (1989) menyatakan bahwa traktor akan mampu beroperasi dengan baik apabila hasil perbandingan tenaga yang dihasilkan suatu alat traksi dengan tenaga yang dibutuhkan untuk menggerakkan alat traksi adalah besar. Sembiring et al. (1990) menyatakan bahwa *sinkage* yang semakin dalam dan slip yang sangat besar akan menurunkan gaya angkat serta gaya tarik traktor. Soekarno dan Salokhe (2003) juga menjelaskan bahwa semakin tinggi kekuatan tarik dan semakin tinggi nilai gaya angkat maka roda sangkar akan bekerja lebih baik dalam hal traksi dan pengapungan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengukuran Sifat Fisik dan Tahanan Penetrasi Tanah

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tanah sawah memiliki kadar air rata-rata 62.59%, *dry bulk density* rata-rata 1.05 g/cm³, porositas kering rata-

Tabel 1. Persamaan regresi linear tahanan tanah terhadap penetrasi plat 324 cm^2 .

Sudut Plat Sirip	Persamaan Regresi Linear	R^2
30	$Y = 0.731X + 4.242$	0.995
45	$Y = 0.921X + 3.916$	0.997
60	$Y = 1.032X + 3.589$	0.996
75	$Y = 0.895X + 7.509$	0.999
90	$Y = 0.790X + 11.26$	0.990

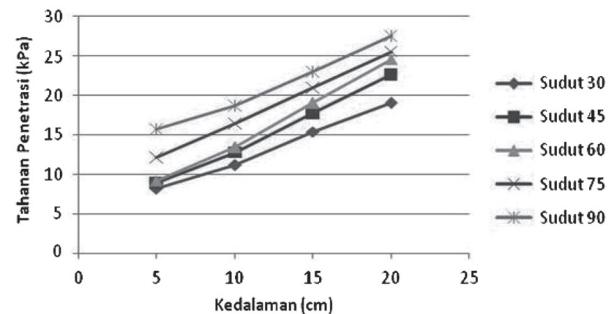
rata 60.5%, dan indeks plastisitas 17.83% dengan jenis tanah lempung berliat. Rata-rata pengukuran kedalaman lumpur 20.14 cm. Hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat dengan ukuran $5 \times 20 \text{ cm}^2$ pada beberapa perlakuan sudut disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat dengan ukuran $5 \times 20 \text{ cm}^2$ maka dengan rasio ukuran plat yang sama (1:4) dihitung tahanan tanah terhadap penetrasi sirip dengan ukuran $9 \times 36 \text{ cm}^2$. Berikut hasil dari tahanan tanah terhadap penetrasi sirip dengan ukuran $9 \times 36 \text{ cm}^2$ (324 cm^2) disajikan pada Tabel 1.

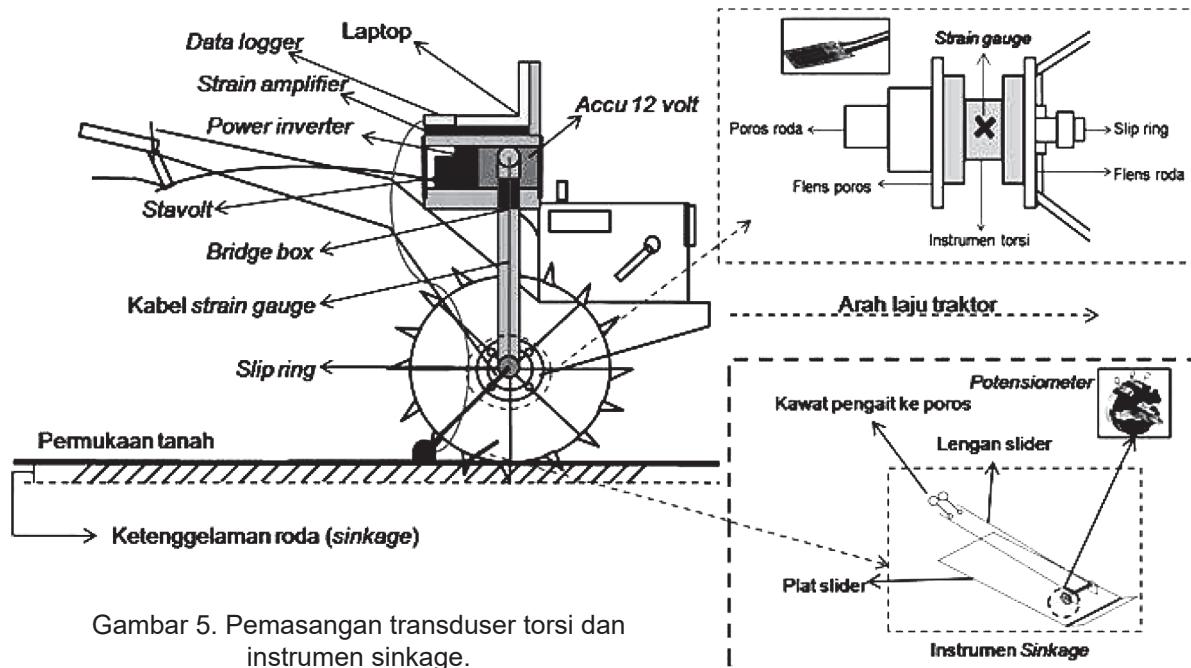
Hasil Pendugaan Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip

Pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip dapat dihitung dengan persamaan (1) sampai dengan persamaan (18) yang telah dijelaskan pada metode penelitian sebelumnya. Berdasarkan data hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat pada Tabel 1 maka gaya-gaya reaksi yang bekerja pada roda besi bersirip dapat dihitung. Berikut adalah hasil pendugaan gaya-gaya reaksi pada plat sirip-sirip aktif roda besi bersirip dan pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Hasil pendugaan efisiensi traksi menjelaskan bahwa jumlah sirip roda yang semakin banyak maka akan mempengaruhi nilai efisiensi traksi menjadi semakin besar. Nilai efisiensi yang meningkat ini disebabkan oleh nilai gaya tarik (drawbar pull) yang semakin meningkat. Selain itu, peningkatan nilai efisiensi traksi ini juga semakin diperjelas karena gaya-gaya reaksi seperti gaya resultan (F_r), gaya horizontal (F_h) dan (F_v) yang dihasilkan roda semakin meningkat terhadap jumlah sirip roda yang semakin banyak. Berdasarkan hasil pendugaan nilai efisiensi traksi pada Tabel 3 maka efisiensi traksi roda besi bersirip terbesar berada pada roda dengan jumlah sirip 12 dan sudut sirip 40° . Sedangkan pengaruh sudut sirip yang semakin besar pada pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip mengakibatkan penurunan terhadap nilai gaya tarik roda (drawbar pull) dan nilai torsi. Hasil pendugaan efisiensi traksi yang dapat dilihat pada Tabel 3 juga menjelaskan bahwa metode pendugaan yang dikembangkan ini memiliki rata-rata nilai efisiensi traksi pendugaan yang berkisar diantara 70% - 80% pada setiap jumlah sirip (10, 12 dan 14) dan sudut sirip (30° , 35° dan 40°).



Gambar 6. Hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat ($5 \times 20 \text{ cm}^2$).



Gambar 5. Pemasangan transduser torsi dan instrumen sinkage.

Tabel 2. Hasil pendugaan gaya-gaya reaksi pada plat sirip-sirip aktif roda besi bersirip berdasarkan hasil tahanan tanah terhadap penetrasi plat sirip 324 cm².

Jumlah Sirip	Sudut Sirip	<i>Fr</i> Total (N)	<i>Fh</i> Total (N)	<i>Fv</i> Total (N)
10	30	2037.66	1583.16	957.95
	35	2065.76	1518.98	1044.46
	40	2053.39	1400.81	1136.09
12	30	2509.75	1880.48	1221.79
	35	2543.95	1853.24	1338.01
	40	2227.94	1721.52	1109.30
14	30	2666.56	2084.41	1254.84
	35	2705.57	2056.05	1376.15
	40	2722.31	1991.92	1469.52

Tabel 3. Hasil pendugaan efisiensi traksi roda besi bersirip berdasarkan hasil pendugaan gaya-gaya reaksi pada plat sirip-sirip aktif roda besi bersirip.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip	Kec. Maju (m/s)	Kec. Putar (rad/s)	<i>D. Pull</i> (N)	Torsi (N.m)	Ef.Traksi (%)
10	30	0.77	2.01	1315.05	667.11	75.74
	35	0.78	2.11	1250.87	634.67	72.92
	40	0.82	2.27	1132.70	583.98	69.97
12	30	0.79	2.18	1612.37	821.67	70.98
	35	0.72	2.06	1585.14	781.59	71.18
	40	0.73	2.08	1453.41	633.62	80.96
14	30	0.51	1.41	1816.30	873.01	75.73
	35	0.64	1.81	1787.94	831.25	76.42
	40	0.63	1.81	1723.82	774.22	77.75

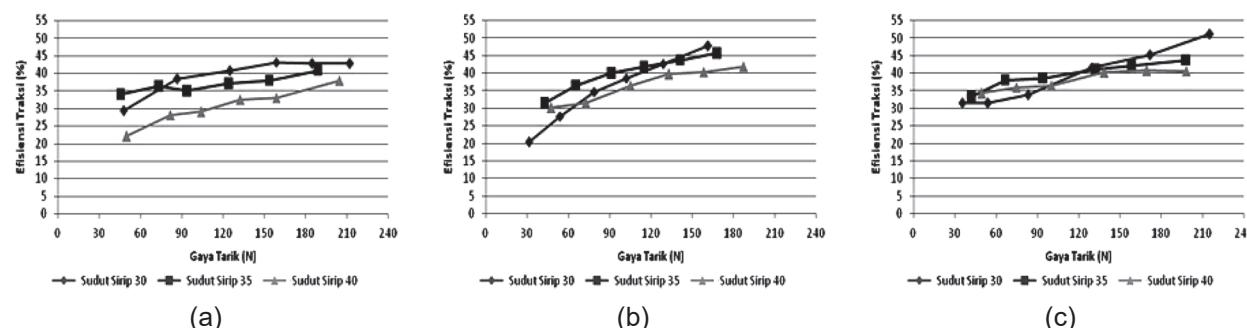
Kinerja Traksi Roda Besi Bersirip di Lahan Sawah

Kinerja traksi roda besi bersirip dapat diketahui dari hasil pengukuran efisiensi traksi, slip roda dan ketenggelaman roda (*sinkage*). Kinerja traksi roda besi bersirip dikatakan baik apabila nilai efisiensi traksinya besar, nilai slip rodanya kecil dan nilai ketenggelaman rodanya kecil. Berikut adalah hasil pengukuran efisiensi traksi roda besi bersirip untuk setiap perlakuan jumlah sirip dan sudut sirip disajikan pada Gambar 7.

Hasil efisiensi traksi roda besi bersirip pada Gambar 7 diatas menunjukkan bahwa efisiensi

traksi meningkat seiring dengan meningkatnya beban tarik. Peningkatan beban tarik akan membuat gaya tarik (*drawbar pull*) serta torsi juga meningkat. Efisiensi traksi terbesar dihasilkan pada roda besi bersirip dengan jumlah sirip 12 dan sudut sirip 30° untuk tingkat gaya tarik sebesar 170 N.

Hasil pengukuran slip roda (Gambar 8) menjelaskan bahwa seiring bertambahnya jumlah sirip maka akan menurunkan kinerja traksi roda besi bersirip. Hal ini disebabkan karena semakin kecilnya luas permukaan tanah yang menjadi tumpuan sirip ke tanah sehingga gaya reaksi tanah dari hasil penetrasi sirip menjadi berkurang.



Gambar 7. Hasil pengujian efisiensi traksi roda besi bersirip dilahan sawah,
(a) jumlah sirip 10, (b) jumlah sirip 12, (c) jumlah sirip 14.

Dengan demikian slip yang semakin besar akan mengakibatkan efisiensi traksi roda besi bersirip menjadi kecil. Pernyataan ini bersesuaian dengan Crossley dan Kilgour (1983) yang menyatakan bahwa slip yang terlalu besar akan mengurangi tenaga tarik traktor. Hermawan *et al.* (1996) menyatakan bahwa semakin bertambahnya gaya tarik akibat pertambahan beban maka akan semakin meningkatkan slip pada roda. Hasil slip roda besi bersirip uji yang disajikan pada Gambar 8.

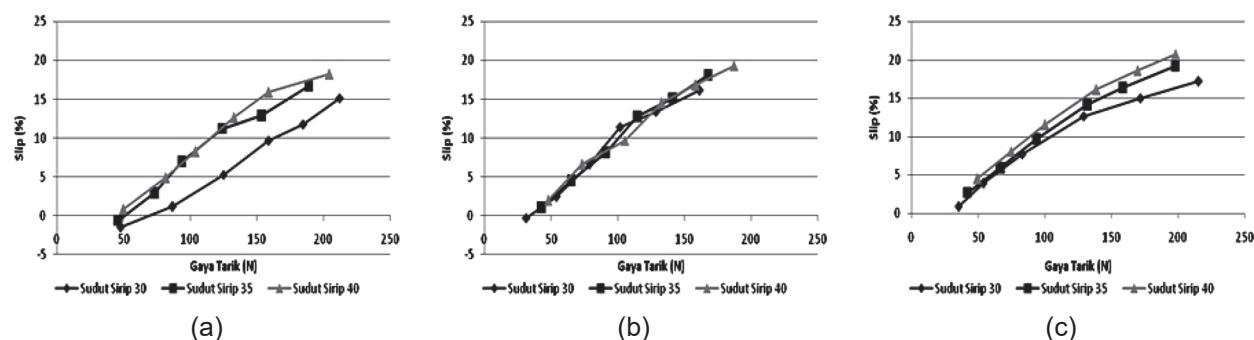
Hasil pengujian slip roda (Gambar 8) menjelaskan bahwa slip pada setiap jumlah sirip dari 10, 12 dan 14 untuk setiap sudut sirip berada pada nilai 10% dan semakin meningkat sampai dengan 20% pada rentang gaya tarik sebesar 80N – 100N. Hal ini menunjukkan bahwa sirip dengan jumlah yang lebih sedikit akan memberikan daya cengkram yang lebih besar terhadap tanah, atau dengan kata lain jumlah sirip yang lebih sedikit akan memberikan gaya angkat yang lebih besar terhadap kinerja traksi roda. Gaya angkat ini diperoleh dari gaya reaksi tanah hasil penetrasi sirip roda ke tanah. Gaya angkat yang besar dapat dimanfaatkan roda untuk diubah menjadi gaya tarik yang besar. Pendapat ini semakin diperkuat jelas dari penelitian Triratanasirichai *et al.* (1990) yang juga menguji kinerja traksi roda besi bersirip secara aktual di lahan berlumpur dengan menggunakan traktor tangan dan menyatakan bahwa nilai tenaga tarik akan maksimum pada nilai slip yang kecil.

Triratanasirichai *et al.* (1990) juga mengkaji

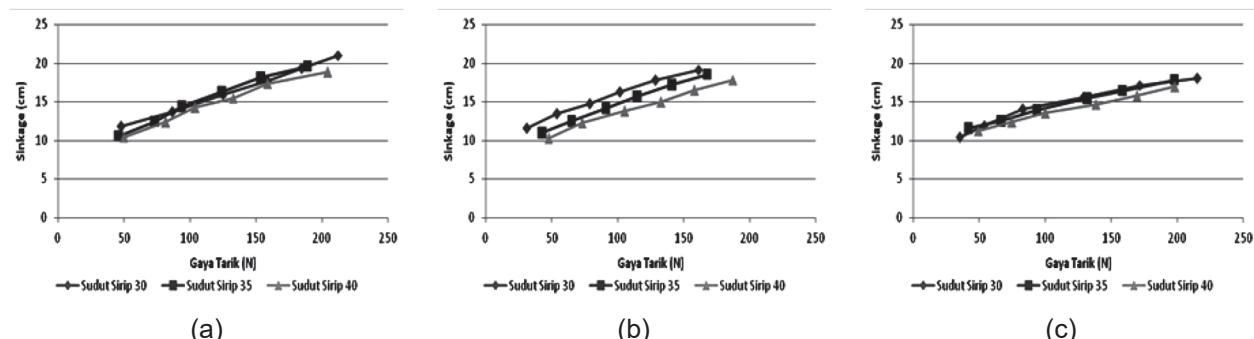
pengaruh sudut sirip terhadap kinerja roda besi bersirip. Hasilnya menunjukkan bahwa sudut sirip yang lebih kecil akan menghasilkan gaya tarik yang lebih besar jika dibandingkan dengan sudut sirip yang lebih besar (landai). Hal ini terjadi pada penelitian ini dimana pada jumlah sirip 14 dengan sudut sirip berturut-turut sebesar 30°, 35° dan 40° menghasilkan gaya tarik berturut-turut sebesar 266.51 N, 205.81 N dan 186.01 N pada slip roda 20%.

Mandang dan Nishimura (1991) menyatakan bahwa kenaikan beban dapat menyebabkan kenaikan ketenggelaman roda (*sinkage*). Hasil *sinkage* roda besi bersirip (Gambar 10) menunjukkan bahwa semakin besar jumlah sirip dan sudut sirip maka *sinkage* yang terjadi pada roda besi bersirip akan semakin kecil. Sudut sirip yang semakin besar akan menyebabkan sudut yang dibentuk untuk menekan tanah semakin kecil, yang mengakibatkan gaya angkat menjadi semakin besar. Gaya angkat semakin besar inilah yang menyebabkan *sinkage* menjadi semakin kecil.

Penelitian mengenai *sinkage* ini juga menyatakan bahwa *sinkage* yang besar akan mengurangi gaya tarik traktor. Pendapat ini semakin jelas dengan diperkuat dari penelitian Crossley dan Kilgour (1983) yang menyatakan bahwa *sinkage* dan slip yang terlalu besar akan mengurangi tenaga tarik traktor. Berkurangnya gaya tarik pada traktor sudah pasti akan berpengaruh terhadap kinerja traksi yang akan semakin tidak maksimal.



Gambar 8. Hasil pengujian slip roda besi bersirip di lahan sawah,
(a) jumlah sirip 10, (b) jumlah sirip 12, (c) jumlah sirip 14.



Gambar 9. Hasil pengujian sinkage roda besi bersirip di lahan sawah,
(a) jumlah sirip 10, (b) jumlah sirip 12, (c) jumlah sirip 14.

Tabel 4. Perbandingan efisiensi traksi ukur dengan efisiensi traksi duga.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip	E.T Duga (%)	E.T Ukur (%)			E.T Ukur Rataan (%)	Error (%)	Akurasi (%)
			1	2	3			
10	30	75.74	41.15	43.32	42.88	42.45	78.42	21.58
	35	72.92	38.61	39.61	36.78	38.34	90.20	9.80
	40	69.97	34.51	33.30	35.24	34.35	103.70	-3.70
12	30	70.98	48.33	50.20	44.88	47.81	48.47	51.53
	35	71.18	45.42	46.42	44.43	45.42	56.70	43.30
	40	80.96	43.08	42.27	43.46	42.94	88.55	11.45
14	30	75.73	44.78	45.06	45.53	45.12	67.82	32.18
	35	76.42	42.72	43.27	42.68	42.89	78.17	21.83
	40	77.75	41.15	41.88	40.36	41.13	89.02	10.98

Validasi Efisiensi Traksi Duga dengan Efisiensi Traksi Ukur

Hasil validasi efisiensi traksi duga dan ukur pada berbagai sudut sirip menunjukkan bahwa : (1) rata-rata *error* jumlah sirip 10 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 90.77%, sehingga akurasinya adalah sebesar 9.23%, (2) rata-rata *error* jumlah sirip 12 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 64.57%, sehingga akurasinya adalah sebesar 35.43%, (3) rata-rata *error* jumlah sirip 14 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 78.33%, sehingga akurasinya adalah sebesar 21.67%.

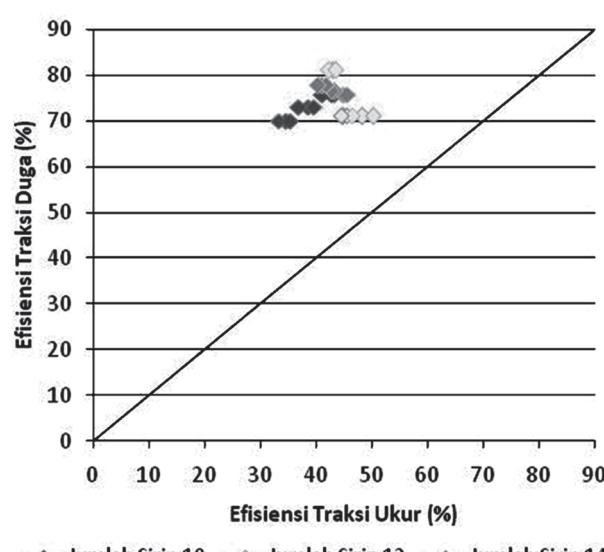
Hasil validasi efisiensi traksi duga dengan efisiensi traksi ukur menunjukkan bahwa tingkat *error* efisiensi traksi hasil pendugaan masih sangat besar dan tingkat akurasinya tidak mendekati nilai efisiensi traksi pengukuran. Rata-rata pendugaan efisiensi traksi menghasilkan tingkat *error* lebih dari 60% pada setiap jumlah sirip dan sudut sirip. Berikut adalah perbandingan hasil efisiensi traksi ukur dengan duga disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, maka dapat ditarik simpulan

bahwa pengembangan metode pendugaan kinerja traksi yang telah dibangun belum dapat dijadikan sebagai dasar untuk perancangan desain roda besi bersirip. Hal ini disebabkan karena metoda pendugaan kinerja traksi yang dikembangkan menduga nilai efisiensi traksi dengan sangat tinggi yaitu sebesar 70% - 80%, sedangkan hasil pengukuran efisiensi traksi secara langsung dilahan sawah hanya menghasilkan nilai sebesar 30% - 40%. Hasil pendugaan nilai efisiensi traksi yang tinggi ini disebabkan oleh hasil pendugaan gaya-gaya reaksi yang bekerja pada sirip-sirip aktif roda besi berisirip menghasilkan nilai yang tinggi.

Kekurangan dari pengembangan metode pendugaan kinerja traksi roda besi berisirip pada penelitian ini yaitu terletak pada metode pendugaan yang dikembangkan mengabaikan faktor kerusakan tanah akibat penetrasi sirip-sirip aktif pada roda besi bersirip. Gaya-gaya reaksi yang diduga terhadap penetrasi sirip-sirip aktif dikembangkan melalui hasil pengukuran tahanan tanah terhadap penetrasi plat dengan kondisi permukaan tanah yang utuh atau tidak mengalami kerusakan. Sementara pada kondisi di lahan sawah yang terjadi yaitu sirip-sirip aktif pada roda besi bersirip yang bergerak akan merusak lintasan permukaan tanah sawah yang akan dilaluinya. Pada kondisi di lahan sawah sirip aktif pertama pada roda besi bersirip yang bekerja masuk ke dalam tanah akan merusak lintasan yang akan dilalui sirip aktif setelahnya, sehingga lintasan yang akan dilalui oleh sirip-sirip aktif berikutnya akan tidak lagi rata dengan permukaan tanah. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi nilai pendugaan gaya-gaya reaksi tanah, sehingga membuat perbedaan yang signifikan antara hasil dari metode pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip yang dikembangkan dengan pengukuran kinerja traksi roda besi bersirip secara aktual di lahan sawah.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh maka sangat disarankan agar pengembangan metode pendugaan kinerja traksi sebaiknya dilakukan dengan mengukur tahanan tanah terhadap penetrasi plat pada kondisi tanah yang



Gambar 10. Validasi efisiensi traksi duga dan ukur pada setiap jumlah dan sudut sirip.

terganggu atau pada lintasan lahan sawah yang kondisi permukaan tanahnya mengalami kerusakan.

Penentuan Konfigurasi Desain Roda Besi Bersirip Terbaik

Berdasarkan hasil efisiensi traksi pada Tabel 3 maka efisiensi traksi hasil pengukuran di lahan sawah terbesar yaitu pada roda besi bersirip dengan jumlah sirip 12 dan 30°. Data pengukuran efisiensi tersebut diambil dari tingkatan gaya tarik sebesar 170 N. Sehingga ditentukan konfigurasi desain roda besi bersirip terbaik dari hasil efisiensi traksi terbesar yaitu desain roda besi bersirip dengan jumlah sirip 12 dan sudut sirip 30°.

Simpulan

Metode pendugaan kinerja traksi roda besi bersirip dapat dikembangkan dengan cara mengukur tahanan tanah terhadap penetrasi plat dengan kondisi permukaan tanah sawah yang terganggu atau rusak. Hasil pengukuran kinerja traksi roda besi bersirip di lahan sawah menghasilkan efisiensi traksi terbesar pada jumlah sirip 12 dan sudut sirip 30°, slip terkecil pada jumlah sirip 10 dan sudut sirip 30° dan *sinkage* terkecil pada jumlah sirip 14 dan sudut sirip 40°. Validasi efisiensi traksi roda besi bersirip hasil pendugaan dengan hasil pengukuran menunjukkan bahwa : (a) rata-rata *error* jumlah sirip 10 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 90.77% (akurasi 9.23%), (b) rata-rata *error* jumlah sirip 12 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 64.57% (akurasi 35.43%), (c) rata-rata *error* jumlah sirip 14 untuk setiap sudut sirip adalah sebesar 78.33% (akurasi 21.67%). Konfigurasi roda besi bersirip terbaik pada lahan sawah yaitu dengan jumlah sirip 12 dan sudut sirip 30°.

Daftar Pustaka

Hermawan, W., A. Oida and Yamazaki, M. 1996. Measurement of soil reaction on a single movable lug. Journal of Terramechanics. 33 (2) : 91-101

- Hermawan, W., A. Oida and Yamazaki, M. 1998. Design and traction performance of the movable lug wheel. Journal of Terramechanics. 35 (3) :159-177.
- Hermawan, W., I.N. Suastawa and D. Sudianto. 2001. Traction Performance of Movable Lug Wheel with Spring Mechanism and Rubber Lug. Journal of ISSAAS, 7 (1) : 58-77.
- Hermawan, W. 2009. Aplikasi pengukuran tahanan tanah terhadap penekanan plat dalam penentuan parameter desain roda besi bersirip. Jurnal Keteknikan Pertanian. 23 (2) : 71-78.
- Liljedahl, J.B., Turnquist, P.K., D.W. Smith and M. Hoki. 1989. Tractors and Their Power Units. Van Nostrand Reinhold 115 Fifth Avenue New York10003. New York.
- Oida, A. 1992. Terramechanics.Departemen of Agricultural Engineering Faculty of Agricultural Kyoto University. Kyoto 606-01. Japan.
- P. Crossley and J. Kilgour. 1983. Small Farm Machanization for Developing Countries. John Wiley and Sons. New York.
- Plackett, C.W. 1985. A Review Of Forces Prediction Methods for Off-Road Wheels. J. Agric. Engineering Res31: 1-29.
- Sembiring, E.N., I.N Suastawa and Desrial. 1990. Sumber Tenaga Tarik di Bidang Pertanian. JICA-DGHE/IPB PROJECT/ADAET : JTA-9a (132). Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi, IPB. Bogor.
- S. Soekarno and V.M. Salokhe. 2003. Soil Reaction on the Cage Wheels with Staggered Echelons of Half-width Lugs and Perfect Chevron Lugs in Wet Clay Soil. The CIGR. Journal of Scientific Research and Development. Manuscript PM 03-002.
- T. Mandang dan I. Nishimura. 1991. Hubungan Tanah dan Alat Pertanian. JICA-DGHE/ IPBPROJECT/ADAET : JTA-9a (132). Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi, IPB. Bogor.
- Triratanasirichai, K., A. Oida and M. Honda. 1990. The Performance of Cage Wheel for Small Power Tiller in Agricultural Soil.Journal of Terramechanics. 27 (3) : 195-205.
- Triratanasirichai, K. 1991. Study on the Cage Wheel for a Small Power Tiller. (Dissertation). Niigata University Japan. Japan

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA
Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pemanfaatan TKKS Sebagai Pengisi Komposit Epoxy Untuk Struktur Bergerak Mesin CNC Perkayuan

Utilization of EFB Fiber as Epoxy-Based Composite Filler for Moving Structure of CNC Woodworking Machinery

Farkhan, Program Studi S3 Ilmu Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Institut Pertanian Bogor, Email. farkhan@cncindonesia.com

Yohanes Aris Purwanto, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: arispurwanto@gmail.com

Erizal Hambali, Departemen Teknik Industri Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Email: eriza.h@gmail.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,
Email: wawanfateta@yahoo.com

Abstract

CNC machinery is widely used at various kind of industrial sector to manufacture of art products up to satellite products. Instead of its massive utilization in automotive and electronic industry which mostly use metallic component, wood working industry has been using it to produces furniture's, merchandises, and other house ware products which apply light weight non-metallic low density material. High removal rate in wood machining process needs high speed application due to its low density material; however most of wood working CNC machine is built on heavy steel structure for both its supporting structure and moving structure. In fact, the raw material is much lighter than the carrier itself. Its wasteful dynamic movement causes energy loses and vibrations that effect on machining accuracy, live of cutting tool, and productivity. This research applied new light weight composite material base on renewable resource of oil palm empty fruit bunch (EFB) natural fiber as filler material combine with polymer epoxy as it's matrix to be constructed as moving mechanical structure of high speed 3D CNC woodworking machine to improve its dynamic performance. Comparative analysis showed that it has better dynamic performance on high speed machining process compared with traditional cast iron material.

Keywords: efb, composite, cnc woodworking machine, epoxy-based composite filler

Abstrak

Mesin Perkakas CNC (*Computerized Numerical Control*) digunakan luas oleh industri untuk memproduksi mulai dari benda-benda seni kerajinan hingga untuk membuat satelit. Selain pemanfaatannya secara besar-besaran di industri otomotif dan elektronika yang umumnya menggunakan komponen logam, industri perkayuan telah banyak menggunakannya untuk memproduksi mebel, barang kerajinan, dan peralatan rumah tangga lainnya dengan mengaplikasikan bahan bukan logam seperti kayu yang berberat jenis rendah dan ringan. Tingkat pemotongan yang tinggi pada proses permesinan kayu membutuhkan permesinan cepat akibat berat jenis bahannya yang rendah tersebut, namun mesin CNC perkayuan umumnya dibangun dengan struktur logam yang berat, baik untuk struktur penopang maupun struktur bergeraknya. Kenyataannya, bahan baku kayunya sendiri jauh lebih ringan ketimbang struktur yang menggerakkannya. Dinamika gerakan pada struktur bergerak yang berat ini menyebabkan pemborosan daya dan getaran berlebih yang mempengaruhi ketelitian, keawetan pahat potong, dan produktivitas. Penelitian ini mengembangkan bahan komposit ringan baru dengan memanfaatkan sumber terbarukan dari limbah tandan kosong kelapa sawit (TKKS) sebagai bahan pengisinya dengan matriks polimer *epoxy* untuk dibangun sebagai struktur bergerak mesin CNC perkayuan metode permesinan cepat 3 dimensi, untuk meningkatkan unjuk kerja dinamiknya. Analisa perbandingan menunjukkan bahan ini memiliki unjuk kerja dinamik lebih baik pada proses permesinan cepat ketimbang menggunakan besi tuaung sebagai bahan tradisionalnya.

Kata kunci: tkks, komposit, mesin CNC perkayuan, pengisi komposit epoxy

Diterima: 21 April 2016; Disetujui: 15 Juni 2016

Pendahuluan

Indonesia adalah negara penghasil minyak kelapa sawit mentah (CPO) terbesar di dunia dengan pertumbuhan luas areal selama 2004-2014 sebesar 7.6% dan memproyeksikan memproduksi 40 juta ton pada tahun 2020. Saat ini dari area 10.9 juta hektar lahan diproduksi 29.3 juta ton CPO yang diproduksi oleh 608 unit pabrik kelapa sawit yang tersebar tidak merata di seluruh pulau besar di Indonesia, dan terkonsentrasi di Pulau Sumatera (Kementerian 2015). Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang merupakan 21%-24% bagian dari total keseluruhan tandan buah segar (TBS) masih belum termanfaatkan secara optimal. Pabrik kelapa sawit (PKS) umumnya mengembalikan TKKS tersebut ke lahan perkebunan untuk dijadikan pupuk. Namun karena jumlahnya yang besar, dan biaya transportasinya yang mahal, serta tidak sebanding dengan kebutuhan pupuknya itu sendiri, maka akhirnya PKS menumpuk begitu saja TKKS ini di lahan terbuka. Penumpukan TKKS ini berpotensi menghasilkan gas metana yang terlepas ke udara menyebabkan kerusakan lapisan ozon.

TKKS adalah bahan yang keras dan kuat dan hampir memiliki kesamaan morfologis dengan sabut kelapa (Sreekala et al. 1997). Citra SEM (*scanning microscopic electron*) dari serat TKKS menunjukkan terdapatnya kekosongan pada bagian tengah yang dikelilingi struktur tubular berpori (Sreekala et al. 1997) dengan diameter rata-rata 0.7 mm dan morfologi permukaan berpori ini berguna menghasilkan ikatan mekanis yang lebih baik dengan bahan matriks epoxy dalam pembentukan komposit (Sreekala et al. 2004). Kompatibilitas dapat ditingkatkan dengan memberikan perlakuan alkali terhadap serat alam (Sgriccia et al. 2008) untuk menghilangkan lignin dan pemberian *coupling agent* untuk mendapatkan ikatan kimia antara serat dan matriks (Klason 1984).

Komposit serat alam yang bersifat terbarukan berpeluang menggantikan komposit berpenguat serat buatan yang tidak terbarukan dan lebih mahal. Serat TKKS mampu meningkatkan kekuatan tarik bahan *thermoplastic* PP (*polypropylene*) hingga 58% dengan fraksi berat serat 30% dalam ukuran 25 μm dan penggunaan *coupling agent* MAPP (Khalid et al. 2008), dan mampu meningkatkan 35% kekuatan tarik bahan *thermosetting* epoxy dengan fraksi berat serat 12% dan ukuran serat nano (Abu Bakar et al. 2007). Namun, sejauh ini penggunaannya masih dalam skala penelitian karena kendala ekonomi dalam pengecilan ukuran serat TKKS itu sendiri. Untuk itu penelitian menghasilkan bahan komposit serat alam dengan proses pengecilan yang sederhana dan ekonomis perlu dilakukan agar layak secara ekonomi.

Densitas serat TKKS yang rendah sebagaimana ciri umum sifat fisik serat alam yang lain akan mempengaruhi berat massa bahan jadi

kompositnya, dan melalui keunggulan teknis inilah, penggunaan serat TKKS untuk struktur bergerak mesin CNC perkayuan dipertimbangkan. Kekuatan superior seperti penggunaan bahan besi tuang kelabu (*grey cast iron*) untuk struktur bergerak mesin CNC perkayuan adalah sebuah pemborosan, sekaligus merugikan *dynamic performance* proses permesinan cepat yang umum digunakan pada aplikasi permesinan kayu. Bahkan penurunan berat 34% pada struktur bergerak vertical dan 26% pada horizontal melalui penggunaan bahan hibrida *carbon reinforced epoxy* dengan struktur besi bertulang mampu meningkatkan kemampuan peredaman hingga 5.7 kali (Suh et al. 2008) dalam aplikasi permesinan cepat bahan baja karbon medium berdensitas 7.8 g/cm³. Permesinan kayu dengan bahan yang dipotong hanya berdensitas 0.6 – 0.8 g/cm³ tentunya tidak membutuhkan bahan struktur bergerak yang superior seperti ilustrasi di atas, dan secara teori membutuhkan permesinan cepat karena bahan yang dipotong jauh lebih lunak dibandingkan bahan berbasis metal.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengembangkan bahan komposit berpenguat serat alam dari TKKS yang akan menggantikan bahan tradisional *cast iron* untuk aplikasi struktur bergerak mesin CNC perkayuan melalui sifat fisiknya yang ringan, dan kekuatan spesifik yang tinggi.

Bahan dan Metode

Tahap Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi 3 tahap yang saling terkait, yakni sebagai berikut:

1. Pemilihan bagian serat alam TKKS yang memiliki kekuatan mekanis terbaik melalui analisa uji tarik untuk penguat bahan komposit.
2. Efek jumlah fraksi serat batang buah TKKS pada sifat fisik dan mekanik komposit berbasis epoxy.
3. Analisa unjuk kerja dinamis penggantian bahan struktur bergerak dari bahan *cast iron* menjadi epoxy berpengisi serat TKKS pada mesin CNC perkayuan.

Tempat dan Waktu Penelitian

1. Penelitian tahap pertama dilaksanakan pada Maret 2014 hingga September 2014. Pengambilan sampel TKKS dilakukan di PKS milik Perkebunan Nusantara VIII Unit bisnis 1 kebun Cikasungka – Kabupaten Bogor. Pengolahan dan pemilahan serat dilaksanakan di PT CNC Controller Indonesia - Bekasi, sedangkan pengujian serat dilaksanakan di Laboratorium Bio Material LIPI – Cibinong, Kabupaten Bogor.

2. Penelitian tahap kedua dilaksanakan pada Oktober 2014 hingga Februari 2015. Proses fabrikasi komposit dilakukan di Workshop PT CNC Controller Indonesia – Bekasi. Pengujian sifat fisik dan mekanik bahan komposit dilaksanakan di Pusat Teknologi Material – BPPT – Puspitek – Serpong dan pengujian morfologi bahan komposit dilaksanakan di Laboratorium Batan – Puspitek – Serpong.
3. Penelitian tahap ketiga dilaksanakan pada Maret 2015 hingga September 2015. Proses fabrikasi dan permesinan bahan komposit menjadi struktur bergerak mesin dilaksanakan di Workshop PT CNC Controller Indonesia, sedangkan pengujian struktur bergerak mesin CNC perkayuan berbahan komposit dilaksanakan di Laboratorium Mekatronika, Teknik Mesin – Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) – Surabaya.

Bahan dan Alat

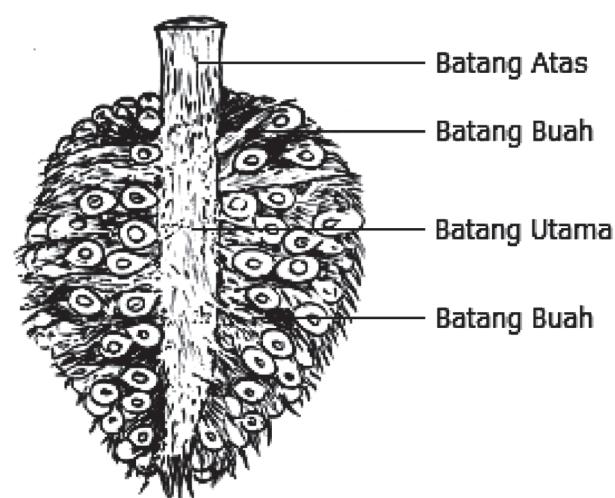
1. Penelitian tahap pertama menggunakan bahan baku serat TKKS yang diambil setelah proses perebusan untuk menghindari kontaminasi. Bahan baku serat batang atas TBS sawit diambil dari perkebunan kelapa sawit tidak lama setelah pemanenan, juga untuk menghindari kontaminasi. Serat diolah dengan menggunakan alat-alat konvensional seperti pisau, dan rol penggiling manual yang terbuat dari pipa besi, kemudian serat diuntai secara manual dengan tangan. Untaian serat yang telah diklasifikasi kemudian diukur diameternya dengan menggunakan Mikroskop Optik jenis Zeiss Axio Imager dengan pembesaran $50\times$ sebelum diuji tarik dengan menggunakan alat UTM (*universal testing machine*) Shimadzu AG-IS 1 kN, dan software Trapezium X; 2003 dengan kekuatan tarik maksimal 1 kN. Sebagian sampel serat juga diuji fisik dan kimia dengan basis kering.
2. Penelitian tahap kedua menggunakan bahan baku serat hasil pengolahan pada tahap pertama. Bahan epoxy resin berjenis *bysphenol-A* dan hardener berjenis *polyaminoamide* dari PT Justus Kimia Raya. Bahan *silane organo functional coupling agent* berjenis *glycidoxypyropyltrimethoxysilane* berasal dari Wacker – Jerman tipe Geniosil GF 80. Bahan NaOH didapatkan dari toko kimia umum. Alat yang digunakan adalah mesin pengecil serat modifikasi dari alat *blender* yang dinaikkan putarannya, *mixer* dan *agitatornya*, *oven* dengan pengatur suhu, cetakan terbuat dari bahan plat besi, *compress air chamber* 5 bar hasil buatan sendiri, kompresor angin merek Hitachi, dan mesin *milling* CNC merek Toshiba Shibaura tipe JRV-40 untuk permesinan membentuk geometri spesimen uji tarik. Alat uji tarik menggunakan alat UTM (*universal testing machine*) Shimadzu AG – X plus, 250 kN, dengan software Trapezium

- X.
3. Penelitian tahap ketiga menggunakan bahan yang sama dengan tahap kedua, hanya cetakannya lebih besar mengikuti kebutuhan. Alat yang digunakan berupa mesin *milling* CNC merek Toshiba Shibaura tipe JRV-40 untuk membentuk geometri *X axis table unit* sebagai spesimen uji. Mesin uji berupa CNC *milling* mini dengan dimensi meja 185 x 140 mm, dan langkah kerja (X/Y/Z) 200 x 140 x 100 mm, dan putaran spindel 5000 RPM, buatan PT CNC Controller Indonesia, berikut mekanisme pencekaman benda kerja pengujian dan pahat potong berupa *ball endmill* berdiameter 3 mm. Alat pengujian berupa *accelerometer* 3 axis yang tertanam dalam modul National Instrument myRIO-1900 dengan software LabVIEW dan Lutron VB-8200 Vibration Meter. Pendataan sekaligus analisa *positioning error*, *percentage load*, dan *current* menggunakan software Delta ASDA Soft Dynamic Servo Analysis.

Metode Seleksi Bagian Serat Alam TKKS

Proses pemilihan TKKS untuk memisahkan antara batang utama (BU) dan batang buah (BB) adalah dengan proses penyayatan menggunakan pisau secara konvensional. Gambar 1 menunjukkan morfologi serat TKKS yang mengklasifikasi serat berdasarkan susunan tubuh dan fungsi. Selain BU dan BB, sampel TKKS lainnya yang diuji adalah batang atas (BA) yang berdiameter paling besar dan mampu menopang beban tandan buah yang beratnya bisa mencapai 50 kg, namun tertinggal di lahan.

Ketiga jenis sampel (BA, BU, dan BB) diukur kadar airnya dengan basis kering, dan setelah itu sampel diambil secara acak masing-masing 50 buah, dan diukur diameternya. Pengukuran ini dimaksudkan untuk menghasilkan nilai luasan penampang A, saat akan merumuskan nilai kekuatan tarik berdasarkan persamaan 1 berikut.



Gambar 1. Klasifikasi serat TKKS berdasarkan susunan tubuh dan fungsi.

$$\sigma_{UT} = \frac{F}{A} \quad (1)$$

σ_{UT} = kekuatan tarik *ultimate* (N/mm²),
 F = gaya tarik puncak saat serat terputus (N),
 A = luas penampang serat (mm²).

Pembuatan spesimen serat yang diuji menggunakan standar ASTM 3822-01. Serat terlebih dahulu dikeringkan hingga kadar air <40%. Spesimen yang disiapkan berjumlah 50 buah per bagian serat, sehingga total menjadi 150 buah spesimen. Setiap satu buah spesimen serat dibutuhkan dua lembar kertas karton ukuran 200 gram dan dibentuk dengan menggunakan pemotong kertas. Serat kemudian dilekatkan dengan menggunakan lem *epoxy* untuk menghasilkan cengkraman yang baik.

Metode Menentukan Jumlah Fraksi Serat Batang Buah TKKS

Metode homogenisasi digunakan untuk menentukan sifat kontinum (*continuum properties*) secara makro dari sifat dalam skala mikro. Sifat-sifat makro diperoleh dengan cara menganalisa representasi elemen volume (RVE: *representative volume element*) pada komposit secara mikro. Sifat-sifat makroskopik dari komposit seperti densitas, kekakuan, *thermal*, dan *hygro expansion*, dan lain-lain ditentukan oleh sifat-sifat ekuivalen dari serat dan bahan matriks. Salah satu parameter dalam pemodelan mekanik adalah volume dari fraksi serat dan matriks. Volume fraksi adalah V_f dan V_m untuk masing-masing serat dan matriks. V_f dan V_m didefinisikan sebagai:

$$V_f + V_m = 1 \quad (2)$$

Hubungan tersebut di atas valid jika komposit berbentuk solid, seperti tidak mengandung poropori, dan dengan mengasumsikan bahwa tegangan dalam RVE adalah homogen. Kekakuan dari komposit dapat diprediksi dengan formulasi berikut (Aboudi, 1991):

$$D_c = V_f D_f + V_m D_m \quad (3)$$

D_c , D_f dan D_m adalah *stiffness* matriks dari komposit, serat dan matriks masing-masing. V_f adalah volume fraksi dari serat dan V_m adalah volume fraksi dari matriks. Persamaan (3) disebut sebagai Pendekatan Voigt, aturan pencampuran (ROM: *rule of mixture*) atau model penyambungan paralel (*parallel coupling model*). Pendekatan ini akan lebih dikenal dalam bentuk satu dimensinya:

$$E_c = V_f E_f + V_m E_m \quad (4)$$

E_c , E_f dan E_m adalah E-modulus dari masing-masing komposit, serat dan matriks. Jika *stress field*

diasumsikan homogen, matriks penuh (*compliance matrix*) dapat didekati dan bergantung pada (Aboudi 1991):

$$C_c = V_f C_f + V_m C_m \quad (5)$$

Format satu dimensinya seperti persamaan (6), yang disebut sebagai pendekatan Reuss atau Model *Coupling Series*.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_f}{E_f} + \frac{V_m}{E_m} \quad (6)$$

Berdasarkan penjelasan di atas, dapat diketahui bahwa kekakuan bahan komposit dalam menerima beban-beban mekanis dapat ditingkatkan dengan penggunaan bahan penguat serat yang memiliki kekuatan dan kekakuan tinggi, dan meningkatkan *wettability* yaitu dengan meningkatkan ikatan antar muka resin-serat. Dalam penelitian ini secara mekanis *wettability* juga ditingkatkan dengan pencucian serat menggunakan solusi NaOH 5% dan air destilasi selama 1 jam pada suhu 80°C dan setelah itu dikeringkan kadar airnya di dalam oven bersuhu 100°C selama 3 jam. Sementara itu secara kimia untuk meningkatkan kompatibilitas antara serat TKKS dan matriks *epoxy*, digunakan bahan *silane coupling agent* dengan komposisi 3% berat.

Campuran *epoxy resin* dan *hardener* menggunakan perbandingan 2:1 sesuai anjuran dalam *data sheet* bahan. Proses pencampuran dimulai dengan membasihi serat dengan bahan *coupling agent*, dilanjutkan dengan penambahan *epoxy resin*, dan diaduk dengan *mixer* dengan putaran 300 RPM selama 3 menit, kemudian ditambahkan *hardener* dan diaduk kembali dengan *mixer* berputaran 300 RPM selama 1 menit. Reaksi *crosslinking* antara bahan *Bysphenol A* dengan *Polyaminoamide* pada fase pembentukan *thermoset* diharapkan diikuti oleh ikatan secara mekanis serat dengan matriks *thermoset* dan secara kimia melalui *hydrogen bonding*. Dalam penelitian ini, untuk mempercepat hilangnya gelembung udara yang bisa menyebabkan *porosity* pada bahan komposit nantinya, dilakukan perlakuan tekanan dalam *chamber* bertekanan 3 – 4 bar selama 2 jam. Pengetesan bahan komposit yang dihasilkan menggunakan standar ASTM D638 yang dikhususkan untuk pengetesan kekuatan bahan polimer atau komposit.

Metode Analisa Unjuk Kerja Dinamis Struktur Bergerak Mesin CNC Perkayuan

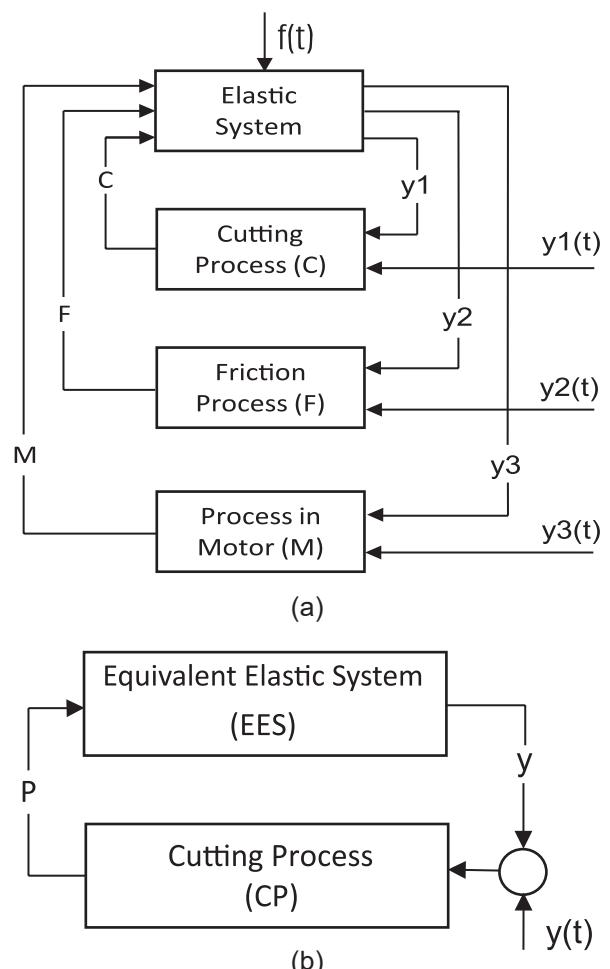
Mesin perkakas CNC (*computerized numerical control machine tool*) adalah sebuah elemen lup tertutup (*closed loop*) yang berinteraksi dengan proses pemotongan dan dapat direpresentasikan oleh masing-masing fungsi transfernya sebagai sistem tertutup (Gambar 2), dan setiap elemen tersebut mendapatkan gaya yang dinamis.

Perilaku dinamis dari mesin ini dipengaruhi oleh pergerakan alat pemotong atau benda kerja dan gaya pemotongan yang diterapkan di dalam koordinat arah tertentu yang menyebabkan perpindahan di ketiga arah koordinat tersebut, yang kemudian menimbulkan getaran. Namun, mempertimbangkan sulitnya menganalisis lingkar tertutup berganda (*multiple closed loop system*) seperti diilustrasikan pada Gambar 2(a) sebagai sebuah sistem, maka pada penelitian ini metode analisa perilaku dinamis disederhanakan menjadi lingkar tertutup tunggal, yang pada akhirnya menjadikannya 3 sistem proses, yakni proses pemotongan (*cutting process/CP*), proses gesekan (*friction process/FP*) dan proses pada motor sebagai penggerak utama (*motor process/MP*).

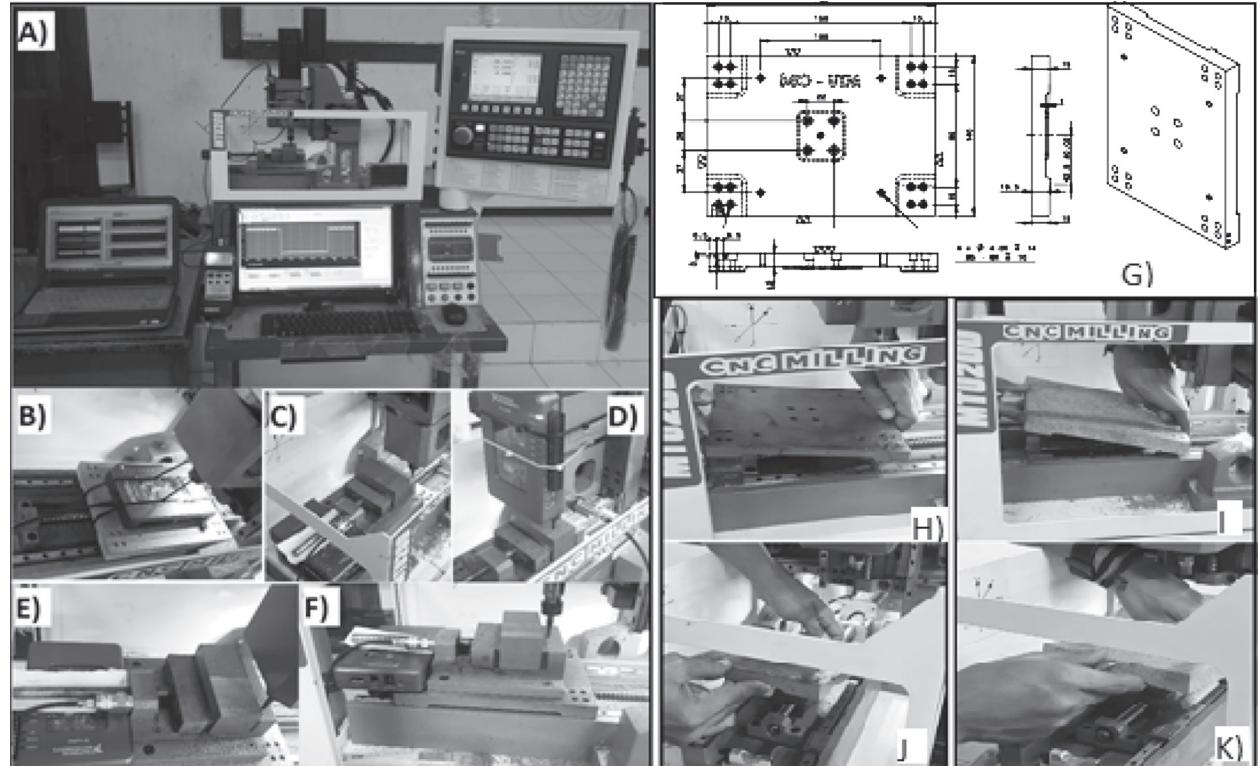
Sistem-sistem tunggal tersebut dianggap sebagai *equivalent elastic system* (EES). Jika misalnya EES dianggap sebagai sebuah elemen, unit-unit dari elemen tersebut adalah sebagai fungsi transfer (W_{EES}) dalam mm/kgf, demikian pula unit-unit dalam fungsi transfer proses pemotongan (W_{CP}), proses gesekan (W_{FP}), dan proses di motor (W_{MP}) adalah juga kgf/mm. Jika sinyal-sinyal gangguan-gangguan pada $y(t)$ beraksi dalam proses pemotongan seperti diilustrasikan pada Gambar 2(b) dan $f(t) = 0$, maka operator diferensial d/dt digantikan oleh operator aljabar p dalam karakteristik dinamis, sehingga:

$$y = P \cdot W_{EES}(p) = [y(t) - y] W_{CP}(p) W_{EES}(p)$$

$$y[1 + W_{CP}(p) \cdot W_{EES}(p)] = ytW_{CP}(p)W_{EES}(p) \quad (7)$$



Gambar 2. (a). Sistem tertutup proses permesinan
(b) Blok diagram EES.



Gambar 3. (A – F). Metode pemasangan accelerometer; (G) gambar kerja X axis table unit, (H – K) metode penggantian dan pemasangan struktur bergerak.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat kimia tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

No	Pengujian	Batang Buah		Batang Atas		Batang Utama		Standar Uji
		Hasil (%) <i>Dry Base</i>	SD (s)	Hasil (%) <i>Dry Base</i>	SD (s)	Hasil (%) <i>Dry Base</i>	SD (s)	
1	Water Content	10.910	0.099	5.983	0.064	7.173	0.037	TAPPI TM T412 OM94
2	Ethanol-Benzene Extractive content	2.696	0.007	3.007	0.035	2.956	0.014	TAPPI TM T204 OS76
3	Klason Lignin	13.533	0.047	19.801	0.231	17.258	0.248	TAPPI TM T222 0M88
4	Holo-Cellulose	49.495	0.385	62.066	0.465	60.148	0.145	TAPPI TM T203 OM93
5	α -Cellulose	30.282	0.669	38.220	0.408	36.143	0.107	TAPPI TM T429 CM01
6	Hemicellulose	19.485	0.669	23.517	0.408	24.107	0.107	By difference

Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisik tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

No	Sampel	Kadar Air (%)	Densitas (g/cm ³)
1	Batang Atas (BA)	19.03 +3.68	1.07+0.04
2	Batang Utama (BU)	19.01 ±7.35	1.03+0.03
3	Batang Buah (BB)	16.00.+ 4.14	1.02+0.03

Persamaan 7 secara pendekatan menyatakan bahwa gaya getaran disebabkan oleh aksi-aksi gangguan pada EES dan proses pemotongan (CP) (Mehta 1996). Getaran tersebut mempengaruhi keakuriasan permesinan, produktifitas, dan masa pakai alat pemotong (*cutting tool*). Biasanya, amplitudo kecepatan getaran (*velocity*) dan spektrum getaran yang lebih tinggi akan terjadi pada frekuensi eksitasi yang dominan dan harmonik-harmoniknya, dan akan lebih tinggi lagi bila terjadi pada frekuensi alami (*natural frequency*) dari elemen-elemen EES tersebut.

Dalam penelitian ini, eksperimen penggantian struktur bergerak mesin dilakukan pada bagian *X axis table unit* yang merupakan bagian terdepan yang menerima gangguan gaya potong (CP), beban massa bahan yang dipotong (FP), sekaligus bergerak berpindah posisi (*displacement*) secara menerus melalui penggerak motor (MP). Gambar 3 menunjukkan pemasangan sensor getaran (*accelerometer*), gambar kerja *X axis table unit* dan metode penggantian dan pemasangan struktur bergerak. Kondisi pengujian dibagi menjadi dua bagian besar yakni; kondisi saat pemotongan (*cutting condition*) untuk merepresentasikan dan kondisi aktual ketika terjadi gaya potong, dan kondisi saat pemotongan kering (*dry run condition*) untuk merepresentasikan gerakan cepat struktur bergerak.

Hasil dan Pembahasan

Sifat Kimia, Fisik dan Mekanik Serat TKKS

Berdasarkan pengujian-pengujian yang

Tabel 3. Hasil pengujian sifat mekanik tandan kosong kelapa sawit (TKKS).

No	Sampel	σ.T.S (N/mm ²)	SD
1	Batang Atas (BA)	108.29	23.07
2	Batang Utama (BU)	125.13	33.80
3	Batang Buah (BB)	152.85	33.53

dilaksanakan, maka didapatkan hasil dari proses pemilahan serat TKKS melalui klasifikasi BA (batang atas), BU (batang utama) dan BB (batang buah) disajikan pada Tabel 1-3.

Efek Jumlah Fraksi Serat Batang Buah TKKS pada Sifat Fisik dan Mekanik

Melalui pengujian fisik dan mekanik terhadap spesimen uji bahan komposit berpengisi TKKS, didapatkan data yang menunjukkan komposisi bahan serat dan matriks terbaik untuk aplikasi sebagai bahan struktur penggerak mesin CNC perkayuan. Pengujian diklasifikasi menjadi 5 bagian, yakni dengan komposisi fraksi berat massa serat 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, dan hasil uji densitas (ρ) adalah berturut turut: 1.07, 1.05, 1.02, 0.99, 0.96 g/cm³. Sedangkan hasil pengujian mekanik disajikan dalam Tabel 4.

Unjuk Kerja Dinamis Struktur Bergerak X Axis Table Unit Berbahan Komposit

Melalui beberapa teknik pengujian, unjuk kerja dinamis struktur bergerak mesin CNC perkayuan yang menggunakan komposit (EFB FRE) diuji. Pengujian yang sama juga dilakukan dengan penggunaan bahan aslinya, yakni *cast iron*. Pengujian unjuk kerja dinamis untuk mendapatkan respon frekuensi bahan terhadap beberapa parameter gangguan, yakni CP, FP, dan MP, dan selanjutnya disajikan pada grafik-grafik berikut (Gambar 4-6).

Pembahasan Umum

Hasil pengujian mekanis menunjukkan bahwa batang buah (BB) TKKS memiliki kekuatan tarik

Tabel 4. Hasil pengujian mekanik berupa uji tarik ($\sigma_{T,S}$) dalam N/mm² bahan komposit.

Deskripsi	Fraksi Berat Serat					Metode
	0%	5%	10%	15%	20%	
Mean $\sigma_{T,S}$ N/mm ²	41.01	27.43	31.72	26.6	21.71	ASTM D638
Sd (s)	3.73	2.74	1.52	2.85	1.33	

Tabel 5. Perbandingan sifat fisik-mekanik *cast iron* dan komposit 10wt% serat TKKS

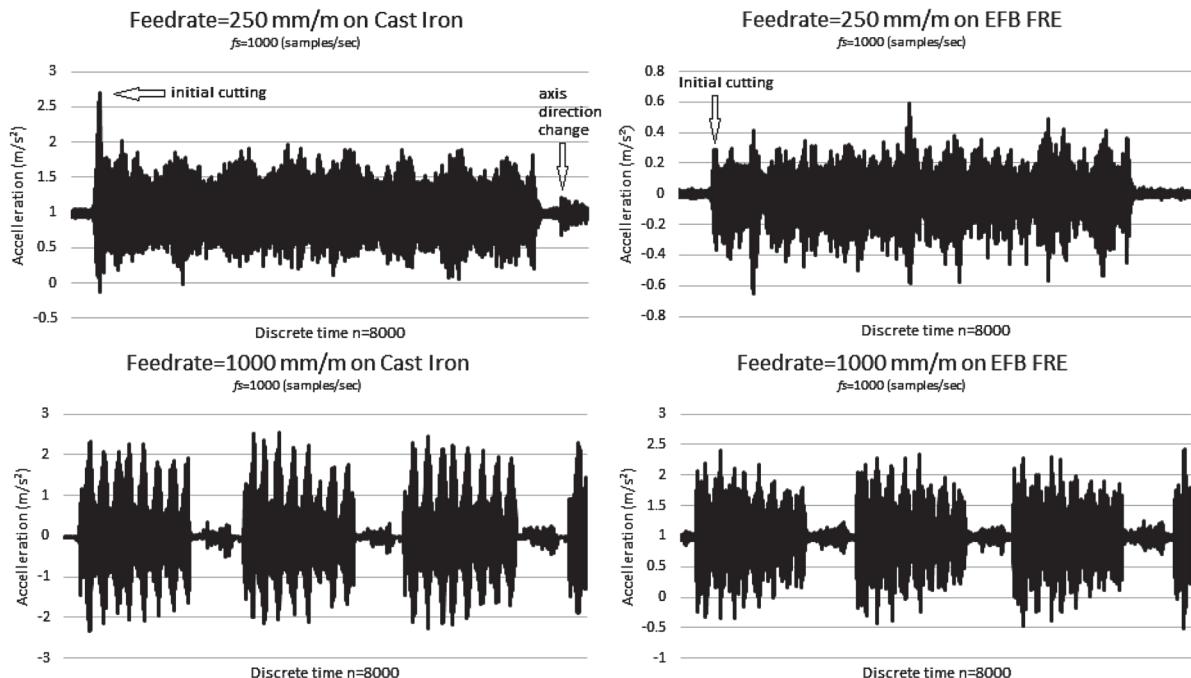
Spesifikasi teknis	gray cast iron	Komposit 10wt% serat
Volume (m ³)	362.34	362.34
Berat (g)	2567	369
Densitas (g/cm ³)	7.08	1.02
Kekuatan tarik (N/mm ²)	276	31.72
Kekuatan tarik spesifik (kN.m/kg)	38.9	31.1

terbaik, yakni 152.85 N/mm². Batang buah memiliki densitas (ρ) yang paling rendah dibanding dua bagian serat TKKS lainnya, yakni $1.02+0.03$ g/cm³. Kadar Lignin yang terkandung dalam serat batang buah TKKS juga ternyata paling rendah dibanding serat yang lain, yakni 13.53%. Rendahnya kandungan lignin akan mempermudah proses penghilangannya dengan larutan.

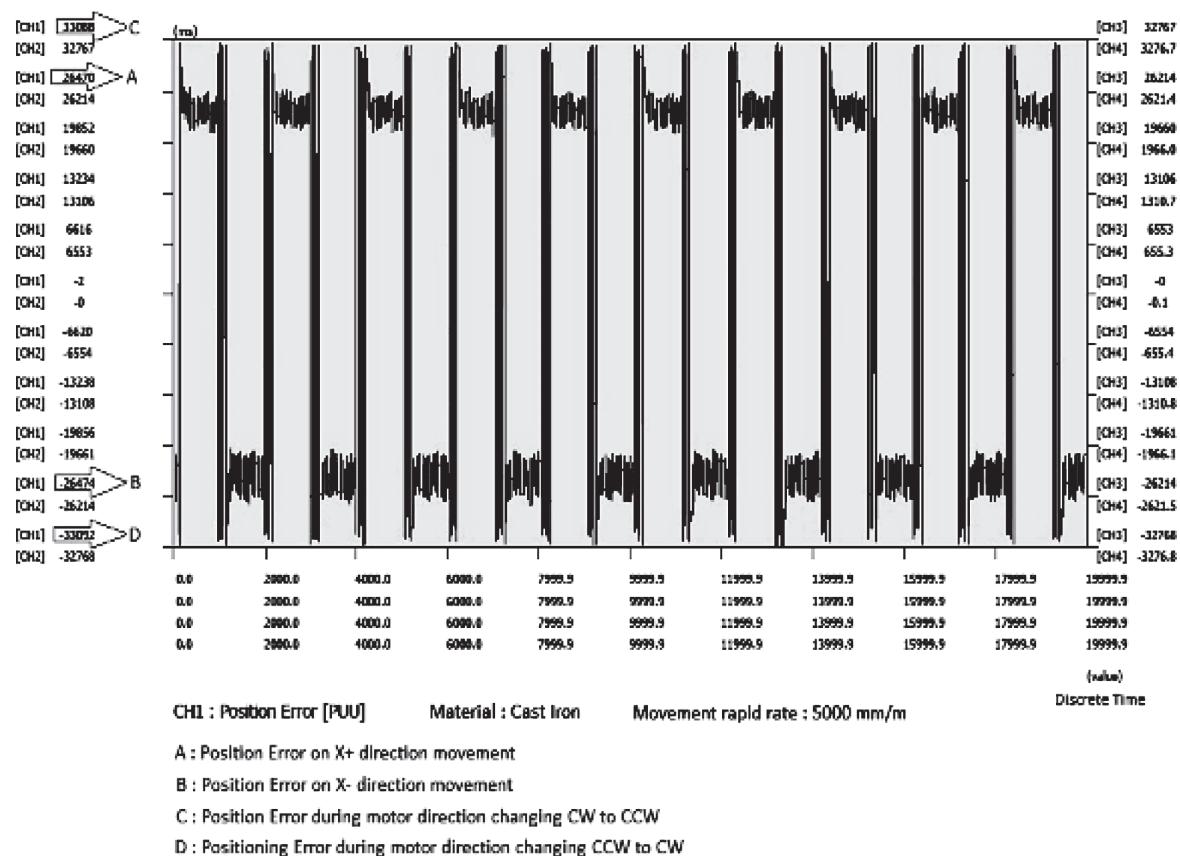
Berdasarkan hasil penelitian tahap pertama, maka diputuskan untuk menggunakan serat BB kelapa sawit untuk difabrikasi menjadi komposit berbasis epoxy. Hasil positif ditunjukkan pada hasil

pengujian fisik densitas komposit yang menunjukkan bahwa densitas bahan komposit berkang seiring penambahan fraksi berat serat pada bahan komposit yang dibuat, dan menghasilkan titik optimum di fraksi 10% berat serat, dengan kekuatan tarik sebesar 31.72 N/mm². Merujuk pada pengujian fisik, maka penggunaan serat batang buah TKKS dalam fabrikasi komposit untuk pembuatan bahan struktur bergerak mesin CNC perkayuan tetap layak dilakukan karena berdasarkan hasil analisa perbandingan bahan yang disajikan pada Tabel 5, kekuatan spesifik bahan komposit mendekati bahan bandingnya yang berkekuatan tarik jauh lebih kuat.

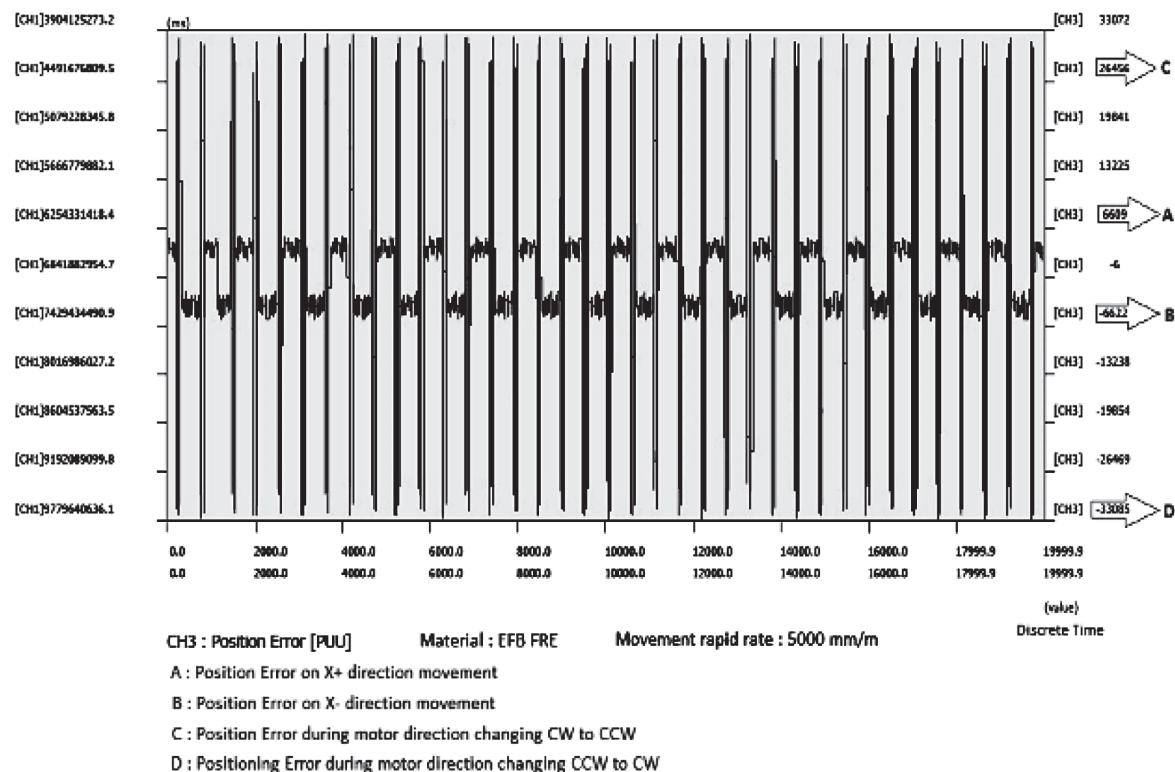
Hasil pengujian getaran (Gambar 4) pada proses pemotongan (CP) dengan kecepatan 250 mm/m dan 1000 mm/m menunjukkan bahwa penggunaan bahan komposit epoxy berpengisi serat batang buah TKKS berkontribusi positif terhadap penurunan rambatan amplitudo getaran yang muncul saat proses pemotongan, yakni berada di rentang $-0.5 \sim 3$ m/s² pada bahan *cast iron*, dan rentang; $-0.8 \sim 0.8$ m/s² pada bahan komposit dengan kecepatan pemakanan 250 mm/m, serta berada di rentang; $-3 \sim 3$ m/s² pada bahan *cast iron*, dan rentang; $-1 \sim 3$ m/s² pada bahan komposit dengan kecepatan



Gambar 4. Grafik perbandingan amplitudo getaran saat proses pemotongan (CP) pada material dan kecepatan yang berbeda



(a)



(b)

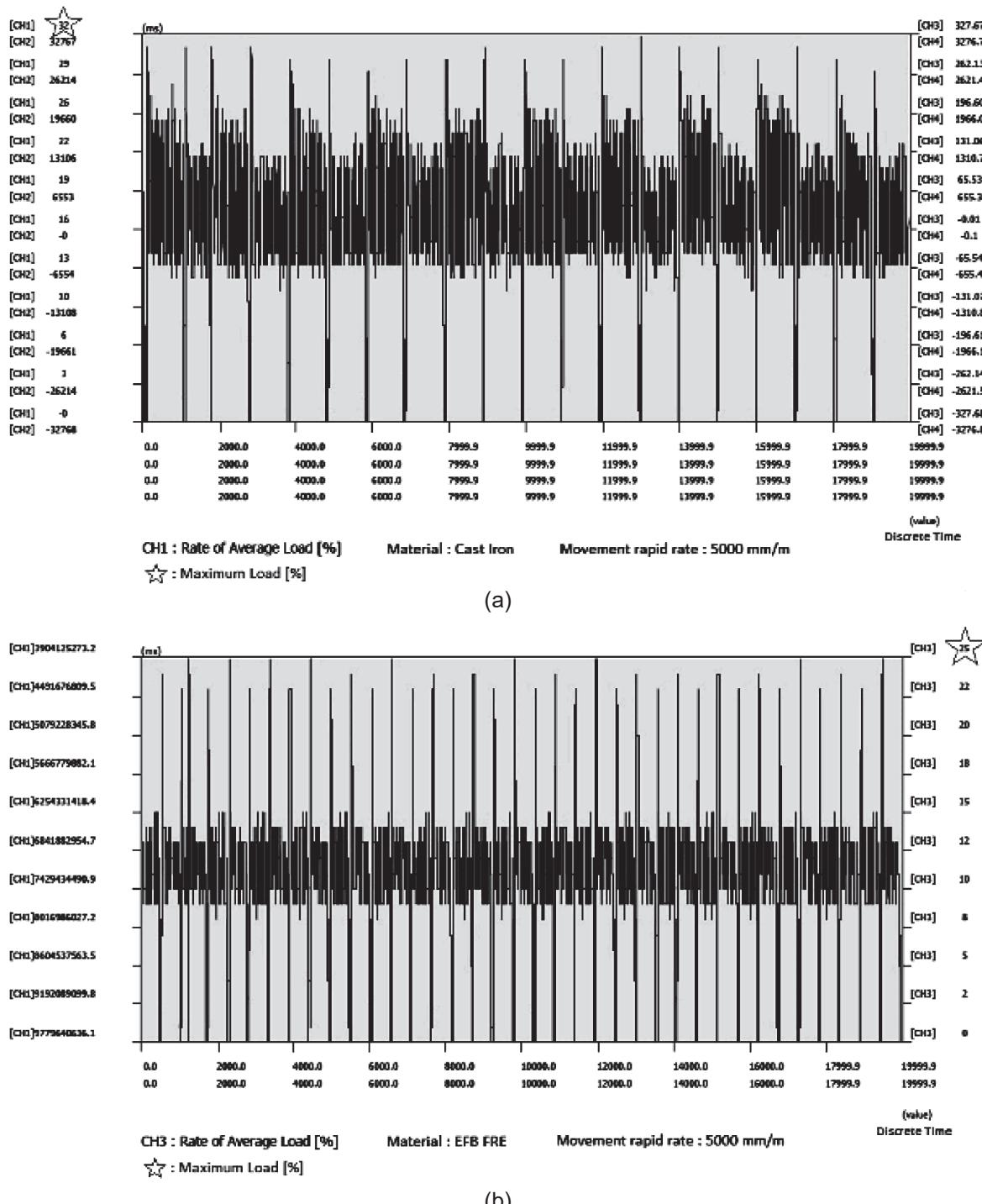
Gambar 5. Perbandingan *positioning error* yang merepresentasikan proses gesekan (FP) antara penggunaan material *cast iron* (a) dengan komposit TKKS (b)

pemakanan 1000 mm/m. Hal ini menunjukkan bahwa dalam penelitian ini, bahan komposit mampu meredam getaran lebih baik dibandingkan bahan *cast iron*.

Pengujian *positioning error* untuk mendapatkan informasi besar gesekan yang muncul saat *dry run condition* (FP) dilakukan dengan kecepatan variatif 5000, 1000, 15000, dan 20000 mm/m yang hasilnya menunjukkan seberapa besar kontribusi berat bahan struktur bergerak terhadap friksi pada komponen-komponen bantalannya. Hasil pengujian pada kecepatan 5000 mm/m (Gambar 5) menunjukkan

bahwa penggunaan bahan komposit menghasilkan gesekan yang lebih kecil, yakni berada pada rentang galat -6622 pulsa pada putaran motor CCW (berlawanan arah jarum jam) dan galat 6609 pulsa pada putaran motor CW (searah jarum jam). Hasil ini cukup positif jika dibandingkan dengan penggunaan bahan aslinya yang menghasilkan gesekan lebih besar yakni melalui indikasi galat -26.474 pulsa (CW) dan 26.470 pulsa (CCW).

Untuk membuktikan seberapa besar kontribusi berat bahan struktur bergerak mesin CNC perkayuan terhadap beban kerja motor penggeraknya, maka



Gambar 6. Perbandingan persentase beban motor yang merepresentasikan (MP) antara penggunaan material *cast iron* (a) dengan komposit TKKS (b)

dengan parameter pengujian yang sama dengan pengujian gesekan (FP), didapatkan hasil bahwa penggunaan bahan komposit dengan berat yang secara signifikan turun terbukti menurunkan beban kerja dinamis motor penggeraknya, yakni perbandingan 25% dengan 32% pada kecepatan 5000 mm/m (Gambar 6). Angka persentase beban ini secara eksponensial naik ketika kecepatan dinaikkan bertahap, bahkan pada kecepatan 20000 mm/m dengan bahan aslinya *cast iron* terpaksa pengujian tidak dapat menghasilkan data persentase beban, dikarenakan terjadi kelebihan beban (*overload*) akibat bekerjanya sistem proteksi pada alat kendali CNC, namun hal ini tidak terjadi pada saat penggunaan bahan komposit. Hasil positif ditunjukkan pada penggunaan bahan komposit yang memang lebih ringan, yakni nilai kecepatan dan akselerasi yang lebih tinggi, namun dengan penggunaan energi yang justru lebih rendah.

Simpulan

Melalui hasil seleksi dan pengujian, serat batang buah TKKS adalah serat yang memiliki kualifikasi terbaik untuk aplikasi komposit berbahan matriks polimer, baik berjenis *thermoplastic* maupun *thermoset*. Fraksi berat serat optimal saat proses fabrikasi komposit berbasis epoxy dengan pengisi serat batang buah TKKS berdasarkan hasil pengujian fisik dan mekanik adalah 10%, yakni tercapainya titik optimum antara kekuatan dan berat jenis bahan. Berdasarkan hasil pengujian dinamis, bahan komposit yang dihasilkan mampu berfungsi sebagaimana bahan tradisional *cast iron* yang jauh lebih berat dan kuat, dan cocok untuk diaplikasikan sebagai bahan struktur penguat mesin CNC perkayuan yang membutuhkan unjuk kerja dinamis yang tinggi.

Saran

Pada penelitian bahan komposit berbasis epoxy dengan bahan pengisi serat batang buah TKKS berbentuk makro belum meningkatkan kekuatan mekanik, maka disarankan serat ini terlebih dahulu dipersiapkan melalui proses penganyamanan agar serat terikat satu sama lain secara mekanis.

Daftar Pustaka

- Abu-Bakar A., Hassan, A., Yusof, A.F.M. 2006. The effect of oil extraction of the oil palm empty fruit bunch on the processability, impact, and flexural properties of PVC-U composites. *Int. J. Polym. Mater.* 55:627–641.
- Abu-Bakar, M.A., Natarajan, V.D., Kalam, A. 2007. Mechanical properties of oil palm fibre reinforced epoxy for building short span bridge. Proceeding of 13th Experimental Mechanic: Experimental Analysis of Nano and Engineering Material and Structure, Alexandroupolis, Greece, Berlin (DE), 2007. Springer, p 97-98.
- Aboudi, J. 1991. Mechanics of Composite Materials. Amsterdam: Elsevier.
- Khalid, M., Salmiaton, A., Chuah, T.G., Ratnam, C.T., Choong, S.Y.T. 2008. Effect of MAPP and TMPTA as compatibilizer on the mechanical properties of cellulose and oil palm fiber empty fruit bunch-polypropylene biocomposites. *Compos. Interfaces.* 15: 251–262.
- [Kementerian] Ditjenbun Kementerian Pertanian. 2015. Luas Areal, Produksi dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia [internet]. [diacu 2016 April 6]. Tersedia dari: <http://ditjenbun.pertanian.go.id/tinymcpuk/gambar/file/statistik/2015/SAWIT%202013%20-2015.pdf>.
- Klason, C., Kubát, J., Strömvall, H.E. 1984. The efficiency of cellulosic filler in common thermoplastic. Part I. Filling without processing aids or coupling agents. *Intern. J. Polymeric.* 10:159-187.
- Mehta, N.K. 1996. Machine Tool Design and Numerical Control, Second Edition. New Delhi (IN): Tata McGraw-Hill Publishing Company.
- Sreekala, M.S., Kumaran, M.G., Thomas, S. 1997. Oil palm fibers: morphology, chemical composition, surface modification, and mechanical properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 66:821–835.
- Sreekala, M.S., Thomas, S., 2004. Effect of fibre surface modification on watersorption characteristics of oil palm fibres. *Compos. Sci. Technol.* 63, 861–869.
- Suh, J.D., Lee, D.G. 2008. Design and manufacture of hybrid polymer concrete bed for high-speed CNC milling machine. *J. Mechanical Material Design.* 4:113-121.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Pengaruh Tanaman Pada Dataran Banjir Terhadap Kekasaran Hidrolik Sungai Barabai

The Effect of Plants in Floodplain on Hydraulic Roughness of Barabai River

Fitriani Hayati, Program Studi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Institut Pertanian Bogor.
Email: fitriani_hayati@yahoo.com

Mohammad Yanuar Jarwadi Purwanto, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan,
Institut Pertanian Bogor. yanuar.tta@gmail.com

Hidayat Pawitan, Departemen Giofisika dan Meteorologi. Email: hpawitan@gmail.com

Suria Darma Tarigan, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor.
Email: surya.tarigan@yahoo.com

Latief Mahir Rachman, Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor.
Email: latmara_59@yahoo.com

Abstract

Hydraulic roughness value is a value that describes the estimation of retention towards water flow due to energy loss caused by friction between channel and water. The type, density and height of vegetation cause variations in the hydraulic roughness value. The hydraulic roughness value can be observed by using a physical model representing the real condition. The objective of this research is to figure out the effect of plants planted in floodplain by conducting a research using physical model in a laboratory. This research was conducted by carrying out experiments and observations in a laboratory on a physical model that represents the condition of the cross section of Barabai River in South Kalimantan. The model was designed with a scale of 1:110, and in the floodplain were planted bamboo plants with a space of 1.82 by 1.82 cm. The plants' diameter and length were 0.1 cm and 8 cm, respectively. The model was made in two types, namely a model with monocrops and another model with clump. The model is combined with an open channel along with its device. The research results show that there was an effect of plants on the hydraulic roughness value. This value was indicated by n_4 value which increased by 65.13% if the plants were changed from monocrops into clump. This increase was caused by the increase of plants density. Besides, it was also discovered that the flow velocity decreased by 33.83% if the plants were changed from monocrops into clump.

Keywords: hydraulic roughness, plants, floodplain.

Abstrak

Nilai kekasaran hidrolik adalah nilai yang menggambarkan perkiraan retensi terhadap aliran karena kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan antara saluran dan air. Jenis, kerapatan, ketinggian vegetasi menyebabkan variasi nilai kekasaran hidrolik. Nilai kekasaran hidrolik dapat diamati dengan menggunakan sebuah model fisik yang mewakili kondisi sesungguhnya. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh tanaman yang ditanam pada dataran banjir dengan melakukan percobaan dengan model fisik di laboratorium. Penelitian dilakukan dengan melakukan percobaan dan pengamatan di laboratorium pada sebuah model fisik yang mewakili kondisi penampang pada Sungai Barabai di Kalimantan Selatan. Model dirancang dengan skala 1:110, pada dataran banjirnya ditanam tanaman bambu dengan jarak 1.82 x 1.82 cm. Diameter tanaman 0.1 dan panjang 8 cm. Model dibuat dalam dua jenis yaitu model dengan tanaman tunggal dan model dengan tanaman rumpun. Model dipadukan dengan saluran terbuka beserta perangkatnya. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengaruh tanaman terhadap nilai kekasaran hidrolik. Nilai ini ditunjukkan oleh nilai n_4 yang meningkat sebesar 69 – 70% apabila tanaman diubah dari tanaman tunggal menjadi tanaman rumpun. Peningkatan ini disebabkan meningkatnya kerapatan tanaman. Selain itu diketahui kecepatan aliran menurun sebesar 2.3 – 1.7% apabila tanaman diubah dari tanaman tunggal menjadi tanaman rumpun.

Kata Kunci: kekasaran hidrolik, tanaman, dataran banjir

Diterima: 29 Juni 2016; Disetujui: 04 Oktober 2016

Latar Belakang

Dewasa ini, vegetasi semakin digunakan dalam usaha perbaikan sungai. Hal ini seiring dengan kesadaran terhadap perlunya menjaga kondisi alamiah sungai. Vegetasi sebagai bagian dari geomorfologi sungai mempunyai peran penting dalam menjaga hidrolik sungai, karena vegetasi mempunyai parameter-parameter yang berpengaruh dalam mengatur kekasaran hidrolik (Chow 1985). Parameter tersebut diantaranya adalah diameter batang, tinggi vegetasi, dan kerapatan vegetasi.

Nilai kekasaran hidrolik adalah nilai yang menggambarkan perkiraan hambatan terhadap aliran karena kehilangan energi yang disebabkan oleh gesekan antara saluran dan air (Huthoff et.al. 2013). Jenis, kerapatan, ketinggian vegetasi menyebabkan variasi nilai kekasaran hidrolik. Coopeland (2000) dan Freeman (2000) telah meneliti nilai kekasaran untuk vegetasi semak dan kayu. Sedangkan Järvälä (2002) telah melakukan penelitian penentuan kekasaran hidrolik pada saluran utama dan dataran banjir yang bervegetasi.

Model fisik merupakan perwakilan fisik dalam beberapa hal baik dalam bentuk ideal maupun dalam skala yang berbeda (Sterman 2000). Model seperti ini biasa digunakan dalam *engineering* dan manajemen. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh tanaman bambu yang ditanam pada dataran banjir dengan melakukan percobaan dengan model fisik di laboratorium.

Bahan dan Metode

Pengambilan Data Penampang Sungai Barabai

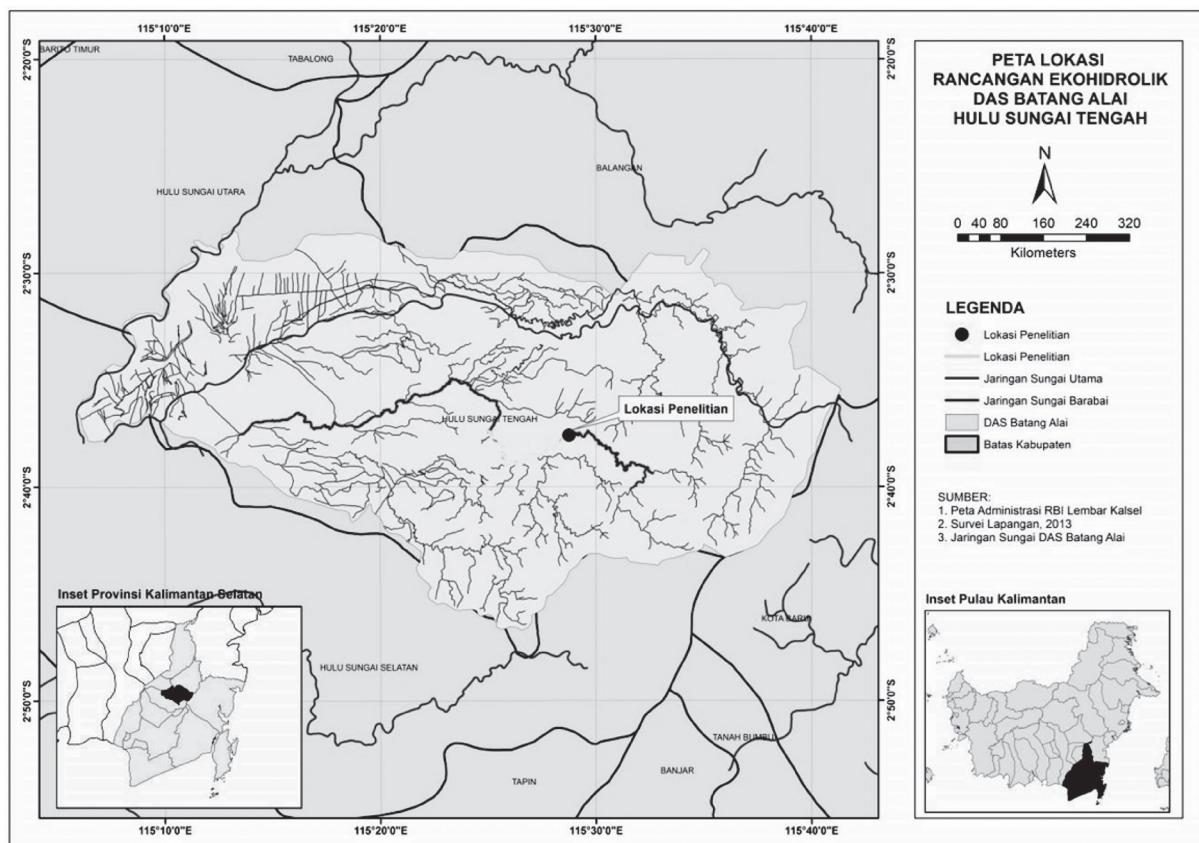
Lokasi yang diambil untuk data karakteristik model adalah Sungai Barabai yang terletak di Kabupaten Hulu Sungai Tengah Kalimantan Selatan. Data penampang Sungai Barabai diambil pada koordinat $2^{\circ}37'30.395''$ LS dan $115^{\circ}29'30.350''$ BT sampai $2^{\circ}38'21.842''$ LS dan $115^{\circ}25'40.379''$ BT (Gambar 1). Parameter yang diukur adalah penampang melintang sungai dan dataran banjirnya. Adapun alat yang dibutuhkan adalah tali tambang, tongkat, meteran, kamera digital dan alat tulis. Selain itu diambil data material dasar sungai dan informasi tanaman yang tumbuh di sepanjang Sungai Barabai tersebut.

Persiapan Model

Penelitian ini menggunakan model fisik yang mewakili bentuk penampang Sungai Barabai beserta dataran banjirnya dengan asumsi :

1. Segmen sungai yang diambil mempunyai penampang dan dataran banjir yang seragam sepanjang model yang dibuat.
2. Kemiringan sungai tetap.
3. Sungai dalam kondisi lurus.

Model dirancang dalam skala lebar 1:110. Model yang digunakan Model diletakkan dalam saluran terbuka dengan panjang 6 meter, lebar 0.4 m dan tinggi 0.6 m serta terdapat pintu air *Thompson* yang bersudut 90° di hulu salurannya. Adapun rancangan yang dilakukan adalah :



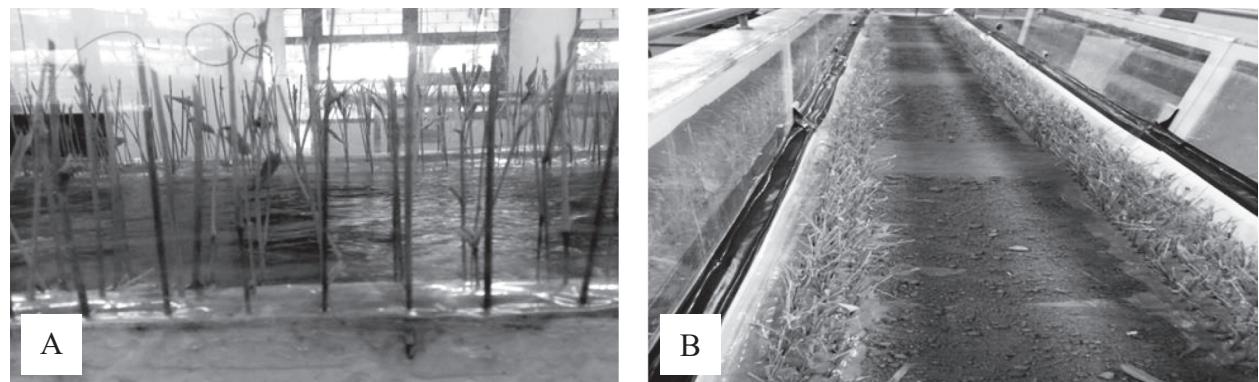
Gambar1. Lokasi pengambilan data penampang sungai di Sungai Barabai.

1. Tanaman yang dipilih adalah bambu dengan tinggi 8 cm dan diameter 0.1 cm.
2. Tanaman bambu ditanam pada dataran banjir dengan jarak 1.82×1.82 cm.
3. Jenis model terdiri dari dua macam, yaitu model dengan 1 batang bambu (model tunggal) dan model dengan 5 batang bambu (model rumpun) (Gambar 2).

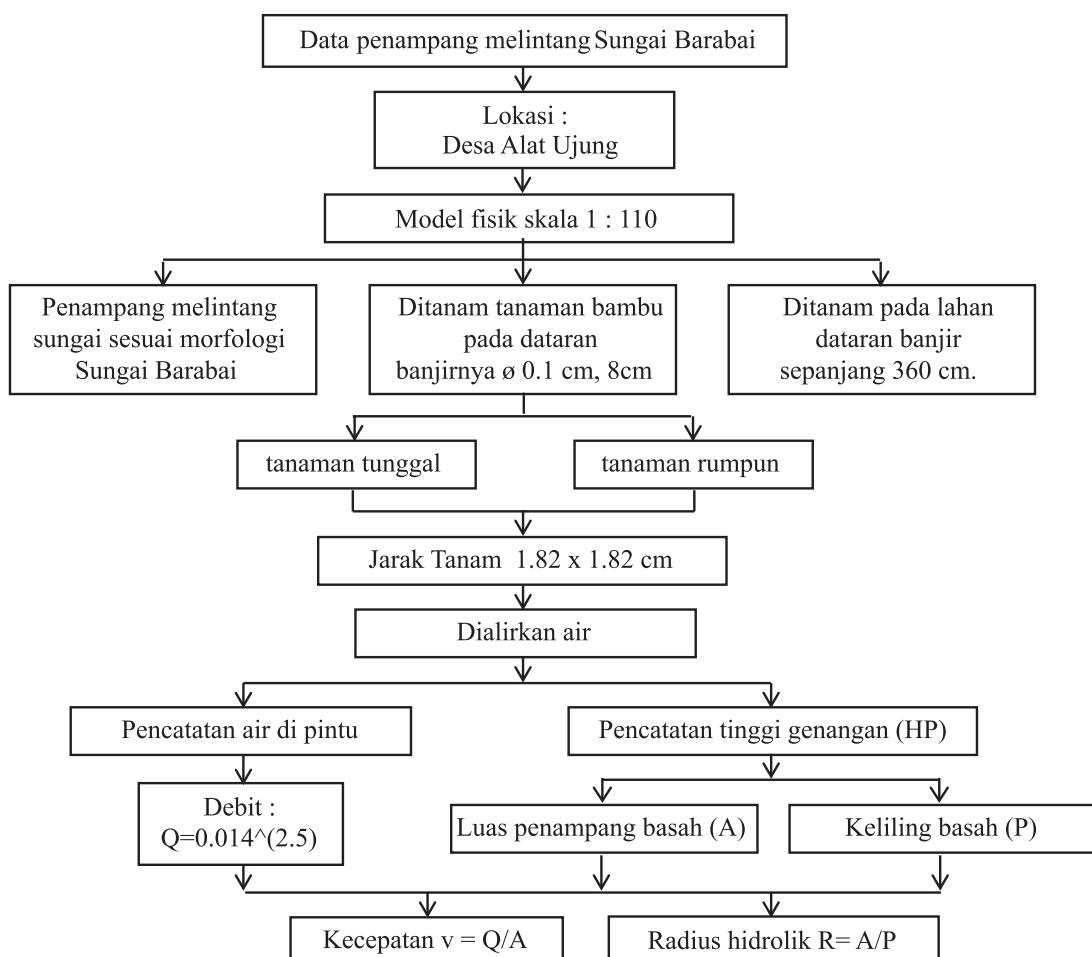
Prosedur Pengambilan Data

Percobaan dilakukan dengan mengalirkan debit ke masing-masing model sebanyak dua kali

perubahan debit. Debit diatur hingga menggenangi dataran banjir. Selanjutnya dilakukan pengamatan dan pencatatan untuk setiap debit yang dialirkan. Data yang diamati dan dicatat adalah tinggi air di pintu dan saluran. Nilai tinggi air pada pintu digunakan untuk perhitungan debit aliran, dan tinggi air di saluran dibutuhkan untuk perhitungan luas penampang basah saluran (A) dan keliling basah saluran (P). Pencatatan tinggi genangan dilakukan setiap jarak 20 cm sepanjang saluran. Prosedur percobaan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Model fisik dengan skala 1:110 dimana A: Model penanaman dalam bentuk tanaman tunggal dan B: Model penanaman dalam bentuk tanaman rumpun.



Gambar 3. Prosedur percobaan yang dilakukan di laboratorium.

Tabel 1. Hasil pengolahan data yang didapat dari percobaan di laboratorium.

Debit (l/dt)	Jenis Penanaman	A (cm ²)	P (cm)	R (cm)	Jumlah tanaman yang terkena genangan
1. 1.69	Tunggal	59.15	36.67	1.61	597
2. 1.69	Rumpun	92.29	40.04	2.31	2985
3. 3.13	Tunggal	108.00	41.48	2.60	1194
4. 3.13	Rumpun	158.23	43.03	3.68	5970

Analisis Data

Menghitung Nilai Kekasaran Hidrolik Di Dataran Banjir (n_4)

Freeman *et al.* pada tahun 2004 telah mengembangkan dua persamaan untuk prediksi nilai kekasaran hidrolik Manning yang disebabkan vegetasi (Fischenich 2000; Copeland 2000; Järvelä 2004). Salah satu persamaannya ditujukan untuk tanaman yang muncul di perairan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1). Persamaan ini memperhitungkan nilai diameter tanaman, tinggi tanaman, kerapatan tanaman dan kecepatan aliran.

$$n_4 = (3.487 * 10^{-5}) k_n \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_i^* u_*^2} \right)^{0.150} (M A_i^*)^{0.166} \left(\frac{R u_*}{v} \right)^{0.622} \left(\frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{u_*} \right) \quad (1)$$

Nilai Es dicari dengan persamaan (2).

$$E_s = 7.648 * 106 \left(\frac{h_p}{D_s} \right) + 2.174 * 104 \left(\frac{h_p}{D_s} \right)^2 + 1.809 * 103 \left(\frac{h_p}{D_s} \right)^3 \quad (2)$$

Keterangan :

- E_s adalah modulus kekakuan tanaman (N/m²);
- D_s adalah diameter tanaman (m);
- h_p adalah tinggi total tanaman (m);
- k_n adalah faktor koreksi bernilai 1.0 m^{1/3}/dt (Fischenich 2000 dan Mc Kay 2011);
- ρ adalah kerapatan cairan dimana untuk air bernilai 1000 kg/m³;
- A_s adalah luas penampang total semua batang tanaman yang diukur pada ketinggian h_p/4
- A_i^{*} = |H - (h_p - h'_p)| W_e dimana h'_p merupakan tinggi massa daun dan We lebar massa daun;
- M adalah kerapatan tanaman (tanaman/m²);
- U_{*} adalah kecepatan aliran permukaan;
- v adalah kecepatan aliran (m/dt);
- R adalah radius hidrolik (m).

Menghitung Nilai Kekasaran Hidrolik Seluruh Bagian Saluran (n)

Nilai kekasaran hidrolik seluruh bagian saluran dihitung dengan persamaan Cowan (Arcement, 1989). Persamaan Cowan diperlihatkan pada Persamaan (3).

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (3)$$

Keterangan :

- n_b adalah nilai n untuk dasar saluran yang lurus, seragam, material alami;

n₁ adalah faktor koreksi untuk efek ketidakteraturan tepi saluran;

n₂ adalah variasi nilai untuk bentuk dan ukuran penampang melintang saluran;

n₃ adalah nilai untuk hambatan;

n₄ adalah nilai kondisi vegetasi dan aliran;

m adalah faktor koreksi meander saluran.

Model fisik yang dibuat dalam penelitian ini tidak terdapat ketidakteraturan tepi saluran, tidak ada perubahan bentuk penampang yang terjadi dengan tiba-tiba, dan tidak mempunyai hambatan, sehingga nilai n₁, n₂ dan n₃ tidak diperhitungkan. Model ini juga tidak terdapat meander, sehingga m bernilai 1. Oleh karena nilai-nilai yang tidak diperhitungkan tersebut, Persamaan (3) berubah menjadi Persamaan (4).

$$n = (n_b + n_4) m \quad (4)$$

Kalibrasi Model

Proses kalibrasi dilakukan untuk melihat kesesuaian pengamatan pada model dengan perhitungan. Kalibrasi yang dilakukan pada model penelitian ini adalah nilai kecepatan pada percobaan dengan nilai kecepatan hasil perhitungan menggunakan persamaan Manning.

Kalibrasi nilai kecepatan dihitung dengan Persamaan (5).

$$\Delta v = \frac{|v_p - v_s|}{v_p} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan :

Δv = kesesuaian model dengan pengamatan

v_p = nilai kecepatan hasil pengamatan

v_s = nilai kecepatan hasil perhitungan

Hasil dan Pembahasan

Pengolahan Data Hasil Percobaan

Nilai tinggi muka air di pintu air digunakan untuk mendapatkan nilai debit aliran. Selain itu, data tinggi air yang menggenangi saluran dan dataran banjir diolah untuk memperoleh beberapa parameter, yaitu a) Luas penampang basah (A); b) Perimeter (P); c) Jari-jari hidrolik (R); d) Jumlah tanaman yang terkena genangan. Hasil pengolahan data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil perhitungan nilai kekasaran hidrolik di dataran banji (n_4) dan nilai kekasaran hidrolik total (n).

Percobaan	$A_s \text{ cm}^2$	$A_i * \text{cm}^2$	$u_* \text{ m/dt}$	M Tanaman/ cm^2	n_4	n
1	4.691	1.924	0.013	0.344	0.043	0.065
2	23.454	1.184	0.015	1.056	0.120	0.142
3	9.381	0.854	0.016	0.364	0.074	0.096
4	46.907	0.714	0.019	1.822	0.215	0.237
Rata-rata nilai n_4 dan n untuk tanaman tunggal					0.059	0.081
Rata-rata nilai n_4 dan n untuk tanaman rumpun					0.168	0.190

Perhitungan Nilai Kekasaran Hidrolik Dataran Banjir (n_4)

Nilai kekasaran hidrolik dataran banjir (n_4) pada penelitian ini adalah kekasaran hidrolik yang diakibatkan oleh pengaruh tanaman yang telah dirancang dengan menggunakan model fisik. Ada empat nilai n_4 yang didapat, yaitu dua nilai n_4 untuk jenis penanaman tunggal dan dua nilai n_4 untuk jenis penanaman rumpun (Tabel 2).

Nilai rata-rata n_4 dalam penelitian ini adalah 0.059 untuk jenis penanaman tunggal dan 0.168 untuk jenis penanaman rumpun (Tabel 2). Menurut Chow (1985), nilai kekasaran hidrolik pada dataran banjir (n_4) berkisar antara 0.02 – 0.20. Demikan pula menurut Aldridge dan Garret (1973) yang dilaporkan dalam penelitian Arcement (1989), nilai n_4 untuk vegetasi berkisar antara 0.001 – 0.20, sedangkan penelitian Fischenich (1997) menghasilkan nilai kekasaran hidrolik berkisar antara 0.05 – 0.329. Mengacu pada hasil penelitian sebelumnya, maka nilai n_4 pada penelitian ini bisa diterima.

Kerapatan tanaman mempengaruhi nilai kekasaran hidrolik dataran banjir. Hal ini bisa dibuktikan dengan dengan meningkatnya nilai n_4 ketika terjadi perubahan dari tanaman tunggal menjadi tanaman rumpun. Besarnya peningkatan yaitu sebesar 65.13%.

Kerapatan tanaman juga mempengaruhi kecepatan aliran, apabila kerapatan tanaman meningkat, maka kecepatan aliran akan menurun. Hasil penelitian ini menunjukkan kecepatan aliran menurun sebesar 33.83%. Kecepatan aliran berpengaruh pada besarnya erosi pada badan perairan dan bangunan sungai. Tingginya kecepatan aliran juga menyebabkan sedimentasi di hilir sungai (Bathurst, 1985). Oleh karenanya penurunan kecepatan akan bermanfaat mengendalikan erosi sehingga mengurangi daya rusak sungai akibat aliran air. Penurunan kecepatan juga berarti menahan air di hulu sehingga memberi kesempatan air untuk menghidupi biota perairan yang ada di sepanjang sungai. Kecepatan aliran air yang tidak merusak bermanfaat dalam sirkulasi air menjadi pembawa mineral terlarut yang berdampak pada organisme perairan.

Perhitungan Nilai Kekasaran Hidrolik Total (n)

Nilai kekasaran hidrolik total (n) dihitung dengan

menggunakan Persamaan 4. Penentuan nilai n_b dilakukan dengan mengklasifikasikan saluran kedalam saluran dengan material yang kokoh dan saluran dengan material pasir. Saluran dengan material yang kokoh seperti saluran dengan material tanah keras, kerikil, batu atau batuan dasar (Buffington, 1999). Selain itu merupakan saluran yang stabil dalam suatu rentang aliran. Sedangkan saluran dengan material berpasir adalah saluran dengan material pasir dengan ukuran 0.062 sampai 2 mm. Hambatan terhadap aliran bervariasi dalam saluran berpasir, karena material dasar bergerak dengan mudah dan membentuk konfigurasi dasar saluran yang berbeda. Konfigurasi dasar saluran merupakan fungsi dari kecepatan aliran, ukuran butir, gaya geser pada dasar saluran dan suhu. Kecepatan aliran menghasilkan bentuk dasar saluran yang diklasifikasikan kedalam *regime* aliran bawah dan *regime* aliran atas. *Regime* aliran bawah terjadi saat debit rendah dan *regime* aliran atas terjadi saat debit tinggi. Bentuk dasar saluran pada *regime* aliran bawah bisa berbentuk biasa (*plain bed*), riak (*ripples*) atau bukit pasir (*dunes*), sedangkan pada *regime* aliran atas bentuk dasar saluran terdiri dari dasar yang biasa (*plain bed*) dan terjadi gelombang tinggi dan bukit pasir yang rapat (*standing waves and antidunes*). Material dasar sungai pada penelitian ini adalah pasir dengan asumsi aliran yang terjadi adalah *regime* aliran atas dengan bentuk dasar saluran yang biasa (*plain bed*). Ukuran pasir dari contoh yang diambil di Sungai Barabai berdiameter 0.5 mm. Penentuan nilai n_b untuk saluran berpasir adalah 0.022. Nilai n_b dan nilai n_4 yang telah didapat pada perhitungan sebelumnya dimasukan kedalam Persamaan (4) dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Regime aliran dan ukuran butir mempunyai hubungan dengan kekuatan aliran. Kekuatan aliran untuk ukuran butir 0.5 mm dengan bentuk dasar saluran adalah biasa (*plain bed*) diregime aliran atas, maka kekuatan aliran adalah sekitar 0.006 Nm/dt (Arcement, 1989). Nilai ini menggambarkan kekuatan aliran yang dihasilkan oleh model termasuk dalam kategori rendah.

Hasil kalibrasi model pada parameter kecepatan menunjukkan nilai 16.34% untuk model yang dialiri debit 1.69 l/dt dan 54.16% untuk model yang dialiri debit 3.13 l/dt. Nilai ini menggambarkan model

cukup akurat untuk debit yang kecil, tetapi model belum bisa direkomendasikan ketika debit aliran ditambah.

Simpulan

1. Nilai kekasaran hidrolik pada dataran banjir (n_4) dalam penelitian ini adalah 0.059 untuk jenis penanaman tunggal dan 0.168 untuk jenis penanaman rumpun.
2. Nilai kekasaran hidrolik total Sungai Barabai (n) berkisar antara 0.081 untuk jenis penanaman tunggal dan 0.190 untuk jenis penanaman rumpun.
3. Nilai kekasaran hidrolik pada dataran banjir (n_4) meningkat sebesar 65.13% apabila jenis penanaman diubah dari penanaman tunggal menjadi tanaman rumpun.
4. Kecepatan aliran menurun sebesar 33.83% apabila kerapatan tanaman meningkat.
5. Hasil kalibrasi model pada parameter kecepatan menunjukkan nilai 16.34% untuk model yang dialiri debit 1.69 l.dt dan 54.16% untuk model yang dialiri debit 3.13 l.dt. Nilai ini menggambarkan model cukup akurat untuk debit yang kecil, tetapi model belum bisa direkomendasikan ketika debit aliran ditambah.

Daftar Pustaka

- Arcement, G.J.J. and V.R.S., 1989. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains United States Geological Survey Water-supply Paper 2339. Area, 2339(2339), p.39.
- Barnes Jr., H.H., 1967. Verified Roughness Characteristics of Natural Channels. , p.96.
- Buffington, J.M., 1995. Effects of hydraulic roughness and sediment supply on surface textures of gravel-bedded rivers. *Department of Geological Sciences*, 35(11), p.184.
- Chow, V.T., 1959. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, p.728.
- Fathi-Maghadam, M. et al., 2011. Determination of friction factor for rivers with non-submerged vegetation in banks and floodplains. *Scientific Research and Essays*, 6(22), pp.4714–4719.
- Fischenich, C., 1997. Hydraulic Impacts of Riparian Vegetation; Summary of the Literature. , (May).
- Fischenich, C., 2000. Value as a Design Tool Cost Resistance Due to Vegetation. , pp.1–9.
- Freeman, G.E., Rahmeyer, W.J. & Copeland, R.R., 2000. Determination of Resistance Due to Shrubs and Woody Vegetation Coastal and Hydraulics Laboratory. , (October), p.62.
- Huthoff, F. et al., 2013. Evaluation of a Simple Hydraulic Resistance Model Using Flow Measurements Collected in Vegetated Waterways. , 2013(January), pp.28–37.
- Järvelä, J., 2002. Determination of flow resistance of vegetated channel banks and floodplains. *River flow*, (1991), pp.311–318. Available at: http://www.ncche.olemiss.edu/~wuwm/VegetationReferences/12_Determination_of_flow_resistance_of_vegetated_channel_banks_and_floodplains.pdf.
- Järvelä, J., 2004. Determination of flow resistance caused by non-submerged woody vegetation. *International Journal of River Basin Management*, 2(1), pp.61–70.
- Mckay, K. & Fischenich, C., 2011. Robust Prediction of Hydraulic Roughness. , (March), pp.1–19.
- Nitsche, M. et al., 2012. Macroroughness and variations in reach-averaged flow resistance in steep mountain streams. *Water Resources Research*, 48(12).
- Sterman, J.D., 2002. System Dynamics: Systems Thinking And Modeling For A Complex World. , p.31.
- Wilson, C.A.M.E. & Horritt, M.S., 2002. Measuring the flow resistance of submerged grass. *Hydrological Processes*, 16(13), pp.2589–2598.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Studi Waktu dan Beban Kerja untuk Penentuan Kebutuhan dan Distribusi Pekerja pada Alur Produksi Nanas Kaleng

Time Study and Workload for Determining Distribution and Number of Worker on Production Process of Canned Pineapple

Arnal Novistiara, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Institut Pertanian Bogor.
Email: arnal.novistiara@gmail.com

Muhammad Faiz Syuaib, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian. Bogor.
Email: faizs@ipb.ac.id

Abstract

Ergonomic considerations are important approach in determining the optimal number of worker on such an industrial production line. Ergonomical approach may assess suitability of labor characteristic to the condition of the task, hence the optimum results will be achieved on minimum risk and maximum productivity. The aim of this study was to determine the work elements and production flow, standard time, workload and energy consumption rate on production processes of canned pineapple. With the ergonomic parameters obtained, optimum number and distribution of workers for sequencial work elements to meet company's production targets were designed. The results revealed that a line production of canned pineapple consist 22 work elements. The standard time to produce 420 gram (A2-size) canned pineapple was 27.608 s consumed 0.714 kcal equivalent of work energy cost. Based on the analysis of standard time and workload it was 383 workers required to produce 250000 canned pineapple in the production line.

Keywords: canned pineapple, time study, workload, worker

Abstrak

Pertimbangan ergonomika merupakan pendekatan penting dalam menentukan jumlah tenaga kerja optimal dalam suatu alur produksi sebuah industri. Dengan melakukan pendekatan ergonomika dapat mengevaluasi kesesuaian antara tenaga kerja dengan kondisi pekerjaan sehingga hasil optimal akan dicapai pada resiko pekerjaan yang minimal dan produktivitas yang maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan elemen kerja dan alur proses, waktu baku, beban kerja dan laju konsumsi energi dalam kegiatan produksi nanas kaleng. Berdasarkan parameter-parameter ergonomika yang telah diperoleh, kebutuhan tenaga kerja dan distribusinya yang optimal pada setiap sekuensial elemen kerja untuk mencapai target produksi perusahaan dapat didesain. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat 22 elemen kerja dalam proses produksi nanas kaleng. Waktu baku untuk memproduksi satu buah kaleng nanas 420 gram (ukuran A2) adalah 27.608 detik dengan energi yang dibutuhkan sebesar 0.714 kkal setara dengan energi untuk bekerja. Berdasarkan analisis waktu baku dan beban kerja tersebut menunjukkan bahwa dibutuhkan 383 tenaga kerja untuk menghasilkan 25000 nanas kaleng pada proses produksi nanas kaleng.

Kata kunci: beban kerja, nanas kaleng, studi waktu, beban kerja, tenaga kerja

Diterima: 07 Maret 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Respon perusahaan yang cepat dalam menanggapi perubahan teknologi yang terus berkembang, perubahan desain baik peralatan maupun sistem produksi merupakan kunci utama dalam suatu keberhasilan industri. Selain itu

salah satu faktor penting yang belum banyak diterapkan dan dikembangkan adalah mengenai resiko ergonomika dalam suatu pekerjaan. Resiko ergonomika pada tempat kerja menyebabkan banyak permasalahan seperti pada kesehatan pekerja dan kualitas produk. Berdasarkan ILO (2013), setiap tahun ada lebih dari 250 juta kecelakaan di tempat

kerja dan lebih dari 160 juta pekerja menjadi sakit karena bahaya di tempat kerja, terlebih lagi 1.2 juta pekerja meninggal akibat kecelakaan dan sakit di tempat kerja. Hal ini menunjukkan pentingnya untuk menerapkan suatu pendekatan ergonomika dalam suatu sistem kerja produksi untuk menghasilkan produk yang berkualitas namun dengan resiko kerja yang rendah. Salah satu aktivitas kerja yang perlu dilakukan kajian mengenai faktor ergonomika adalah pada sistem proses produksi nanas kaleng.

Proses produksi nanas kaleng merupakan sebuah proses dimana buah nanas segar diolah dan dikemas dalam wadah kaleng menjadi suatu produk berupa nanas kaleng. Proses produksi nanas kaleng memiliki karakteristik proses kerja yang perlu diperhatikan seperti ketepatan, kecepatan serta keselamatan (*safety*) yang hasil akhirnya berupa suatu produk yang optimal dan berkualitas. Di sisi lain, manusia sebagai individu yang melakukan proses kerja juga memiliki karakteristik tersendiri yang harus diperhatikan meliputi karakteristik fisik, fisiologis dan psikologis yang berbeda pada setiap individu dan akan berpengaruh terhadap proses kerja serta memang sebagian besar kegiatan pada proses produksi nanas kaleng masih dilakukan secara manual langsung oleh pekerja. Kajian atau penelitian mengenai kesesuaian antara karakteristik proses produksi (kerja) dengan karakteristik manusia perlu dilakukan agar tercapai produktivitas yang optimal. Selain itu, perusahaan tentu memiliki tuntutan kapasitas produksi yang harus tercapai sehingga kapasitas produksi ini harus disesuaikan dengan kapasitas pekerja. Ergonomika sebagai salah satu bidang ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan pekerjaan serta lingkungan kerja dapat diterapkan pada aktivitas produksi nanas kaleng untuk menyesuaikan karakteristik proses produksi (kerja) dengan karakteristik manusia.

Ergonomika memiliki beberapa cabang ilmu yang dapat menganalisis pengaruh faktor manusia, alat kerja dan lingkungan kerja dalam mencapai keberhasilan suatu pekerjaan, beberapa di antaranya yaitu studi gerak, waktu dan beban kerja. Penelitian ini difokuskan pada pengukuran waktu baku, serta analisis kapasitas dan beban kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan elemen kerja dan alur proses, waktu baku, beban kerja dan laju konsumsi energi serta kebutuhan tenaga kerja dan distribusinya yang optimal dalam kegiatan produksi nanas kaleng.

Bahan dan Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari hingga Juni 2014. Pengambilan data dilakukan di salah satu perusahaan nanas kaleng selama 5 minggu dan dilanjutkan dengan pengolahan data yang dilakukan di Laboratorium Ergonomika,

Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.

Peralatan dan Subjek Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *handycam* (*video recorder*), *Heart Rate Monitor* (HRM), *Heart Rate Monitor Interface*, bangku *step-test*, *digital metronome*, seperangkat komputer untuk pengolahan data, serta beberapa alat pendukung seperti meteran, timbangan, stopwatch, dan alat tulis lapangan. Subjek yang digunakan berjumlah 37 pekerja yang terdiri dari 5 pria dan 32 wanita yang mewakili pekerja pada alur kerja produksi nanas kaleng.

Tahapan Penelitian

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mengobservasi alur kerja proses produksi nanas kaleng dari awal hingga akhir, menentukan subjek yang akan digunakan untuk penelitian, menyesuaikan mekanisme dan metode pengambilan data dengan kondisi di lapang, serta merancang jadwal untuk pengambilan data.

Pengambilan data

Pengambilan data yang dilakukan berupa rekaman video dan waktu untuk setiap elemen kerja pada proses produksi nanas kaleng. Pengambilan beberapa data sekunder juga dilakukan seperti data aliran buah, aliran kaleng, dan target produksi perusahaan.

Pengambilan data selanjutnya adalah data denyut jantung pekerja menggunakan HRM yang berfungsi untuk mengukur denyut jantung pekerja selama aktivitas kerja setiap 5 detik. HRM terdiri dari bagian *rubber belted electrode*, sebagai sensor dan *transmitter* yang dilekatkan pada dada pekerja, dan bagian *digital data receiver and memory*, yang dipasang pada pergelangan tangan pekerja. Pemasangan *rubber belted electrode* dan *digital data receiver and memory* dilakukan sebelum pekerja melakukan aktivitas kerja. Adapun pengambilan data denyut jantung dilakukan pada aktivitas kalibrasi *step-test* dan saat pengukuran kerja.

Kalibrasi *step-test* merupakan suatu metode untuk pengkalibrasian nilai HR, dikarenakan tiap subjek memiliki HR yang berbeda-beda. *Step-test* dilakukan untuk mengetahui hubungan energi yang dikeluarkan dengan perbedaan laju HR dimana subjek diberikan beban bertingkat naik turun bangku setinggi 30 cm dan diukur denyut jantungnya (Kastaman dan Herodian 1998). *Ritme* kecepatan langkah diatur menggunakan *digital metronome* yaitu 15 langkah/menit, 20 langkah/menit dan 25 langkah/menit. Kegiatan *step-test* dilakukan selama 1 jam dimana pada masing-masing frekuensi *step-test* dilakukan selama 5 menit kemudian diselingi istirahat selama 5-10 menit. Setelah melakukan *step-test*, pekerja langsung melakukan aktivitas

pengolahan nanas kaleng pada masing-masing elemen kerja. Lama pengukuran kurang lebih satu jam, dikarenakan dalam satu jam kerja sudah terdapat beberapa kali ulangan.

Pengolahan Data

Video yang berisi aktivitas pekerja dalam melakukan aktivitas proses produksi dianalisis dan dibagi menjadi beberapa elemen kerja berdasarkan pola keseragaman kerja. Selanjutnya adalah dilakukan pendefinisian tugas pada elemen kerja tersebut. Data waktu yang telah diperoleh dari video dicatat dan dilakukan pengolahan data menggunakan *spread-sheet*. Waktu yang didapat berdasarkan analisis dari rekaman video merupakan waktu normal pada setiap elemen pekerjaan. Penentuan waktu *delay* kemudian dilakukan untuk setiap elemen kerja. Dalam konteks pada penelitian ini penentuan waktu baku adalah dengan menjumlahkan nilai waktu normal dengan nilai waktu waktu *delay*. Pada aktivitas produksi nanas kaleng kondisi pabrik telah didesain sedemikian rupa sehingga seragam baik kondisi lantai, pencahayaan maupun kondisi lingkungan. Sehingga untuk aktivitas di pabrik dapat dikatakan tidak ada faktor kesulitan dari lingkungan yang menyebabkan kelambatan produksi. Faktor kesulitan (FK) adalah koefisien perubahan waktu elemen kerja yang terjadi akibat adanya perubahan kondisi (tingkat kesulitan) kerja relatif terhadap kondisi normal. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi elemen kerja. Secara umum, faktor kesulitan dari elemen-elemen

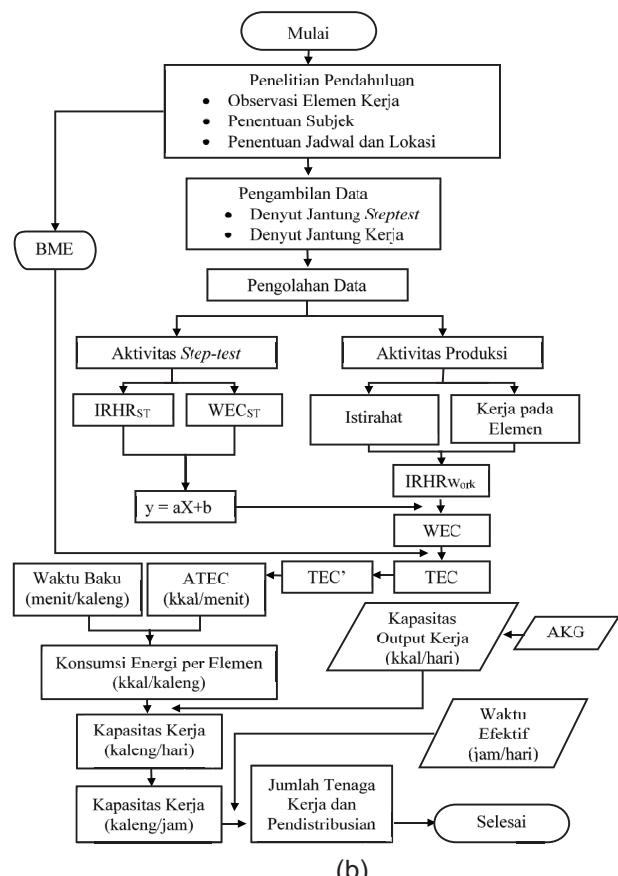
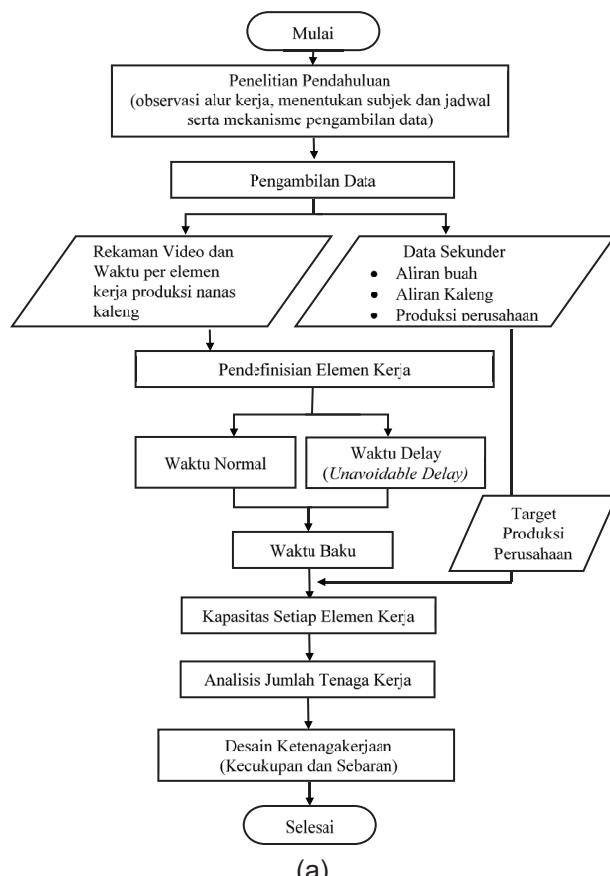
kerja dipengaruhi oleh kondisi lingkungan ataupun struktur bangunan. (Syuaib *et al* 2012). Kelambatan produksi bisa terjadi karena pengaruh *delay* pada sistem (*unavoidable delay*) dan *delay* tersebut merupakan faktor kesulitan pada konteks penelitian ini.

Pengukuran beban kerja diawali dengan mengukur dimensi tubuh pekerja meliputi tinggi badan (cm) dan berat badan (kg). Berdasarkan data dimensi tubuh maka dapat diketahui luas permukaan tubuh dan energi basal (*basal metabolic energy*) masing-masing pekerja. Periode waktu istirahat sebelum dan sesudah pengukuran eksperimental digunakan sebagai dasar untuk pengukuran fisiologis pekerja. Faktor fisiologis dianalisis berdasarkan rasio peningkatan denyut jantung (IRHR); perbandingan relatif denyut jantung antara saat kondisi bekerja dan istirahat (Syuaib *et al* 2002). Perbandingan tersebut dirumuskan pada persamaan 1.

$$\text{IRHR} = \frac{\text{HR}_{\text{work}}}{\text{HR}_{\text{rest}}} \quad (1)$$

Dalam hal ini HR_{work} adalah denyut jantung saat melakukan pekerjaan (bit per min), HR_{rest} adalah denyut jantung saat istirahat (bit per min).

Nilai IRHR dapat digunakan untuk menentukan tingkat kejerenan beban kerja secara kualitatif, selain itu dengan memasukkan nilai IRHR kedalam persamaan korelasi dengan nilai energi pada saat *step-test* dapat digunakan untuk mengetahui



Gambar 1. Bagan alir (a) metode studi waktu, (b) metode beban kerja.

Tabel 1. Definisi kerja produksi nanas kaleng.

Elemen Kerja	Definisi	Lambang
<i>Feeding Conveyor</i>	Menumpahkan nanas ke konveyor	F _C
<i>Preparation</i>	Pencucian nanas, sortasi dan <i>grading</i>	Pr
<i>Peeling</i>	Mengupas kulit nanas	Pe
<i>Cutting Crush</i>	Membuang bagian nanas yang memar	C _C
<i>Seleksi Chunk</i>	Menyeleksi irisan nanas untuk produk <i>chunk</i>	S _C
<i>Seleksi Tidbit</i>	Menyeleksi irisan nanas untuk produk <i>tidbit</i>	S _{Tb}
<i>Seleksi Choice</i>	Menyeleksi irisan nanas kriteria <i>choice</i>	S _{Ch}
<i>Seleksi Standard</i>	Menyeleksi irisan nanas kriteria <i>standard</i>	S _{St}
<i>Pocking</i>	Membuang mata nanas	Po
<i>Susun Warna</i>	Menyusun irisan nanas berdasarkan keseragaman warna	S _W
<i>Feeding Slice</i>	Mengumpulkan irisan nanas ke kaleng	F _S
<i>Susun Nampan</i>	Menyusun nanas kaleng ke nampan	S _N
<i>Transporting</i>	Memindahkan nanas dari stasiun line ke antrian stasiun <i>seamer</i>	Tr
<i>Transporting Seamer</i>	Memindahkan nanas kaleng dari antrian stasiun <i>seamer</i> ke <i>seamer</i>	TrS
<i>Feeding Seamer</i>	Mengumpulkan nanas kedalam mesin <i>seamer</i>	FeS
<i>Sortir Kaleng</i>	Mensorтиров kaleng rusak sebelum pemasakan	S _I
<i>Seaming</i>	Operator mesin <i>seamer</i>	O _S
<i>Cooking</i>	Operator mesin <i>cooker</i>	O _C
<i>Sortasi kaleng</i>	Mensorтиров kaleng rusak sesudah pemasakan	S ₂
<i>Palleting atas</i>	Menyusun nanas di atas karton	P _A
<i>Palleting bawah</i>	Menyusun karton di atas tumpukan nanas	P _B
<i>Transporting Pallet</i>	Memindahkan nanas ke tempat penyimpanan	T _P

besarnya laju konsumsi energi saat melakukan kerja. Total konsumsi energi merupakan hasil penjumlahan dari energi pada saat bekerja dengan energi basal (*basal metabolic energy*).

Kapasitas kerja dapat dihitung dengan membagi energi yang tersedia untuk melakukan kerja (*human output capacity*) sebesar 20% dari nilai Angka Kecukupan Gizi (AKG) dengan energi yang dibutuhkan untuk memproduksi satu nanas kaleng.

Besarnya kapasitas kerja dapat dihitung dengan Persamaan 2.

$$\text{Kapasitas Kerja per Hari} = \frac{\text{Human Output Capacity}}{\text{Energi per kaleng}} \quad (2)$$

Dalam hal ini kapasitas kerja per hari adalah kemampuan produksi (kaleng/orang.hari), *Human Output Capacity* adalah energi untuk melakukan kerja (kkal/hari).

Kapasitas kerja per orang per jam dapat dihitung dengan membagi kapasitas kerja per orang per hari dengan waktu kerja efektif yang terdapat pada proses produksi nanas kaleng seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.

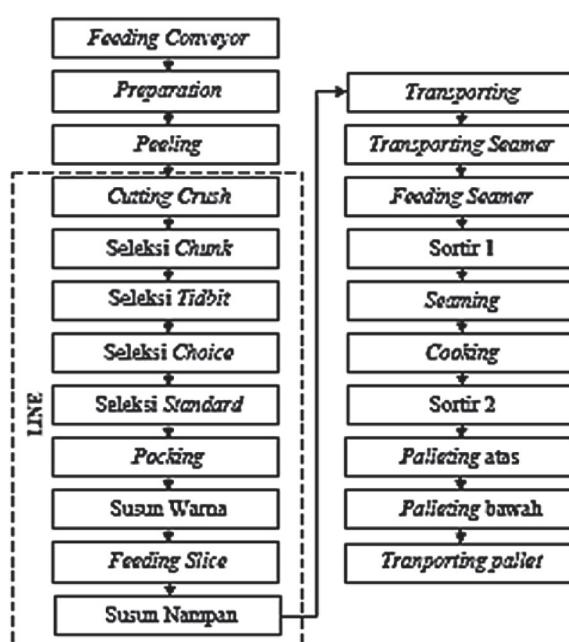
$$\text{Kapasitas Kerja per Jam} = \frac{\text{Kapasitas Kerja per Hari}}{\text{Waktu Kerja Efektif}} \quad (3)$$

Dalam hal ini kapasitas kerja per jam adalah kemampuan produksi (kaleng/orang.jam), waktu kerja efektif adalah 60% dari waktu kerja total. Bagan alir metode studi waktu dan beban kerja disajikan pada Gambar 1.

Hasil dan Pembahasan

Elemen Kerja Produksi Nanas Kaleng

Produksi nanas kaleng dimulai dari penumpahan buah nanas di *bin dumper* sampai penyimpanan. Kriteria nanas yang dapat dijadikan produk nanas kaleng adalah nanas yang memiliki berat per buahnya ≥ 0.5 kg dengan tingkat kematangan antara 25–75%. Produk nanas kaleng yang



Gambar 2. Bagan alir proses produksi nanas kaleng.

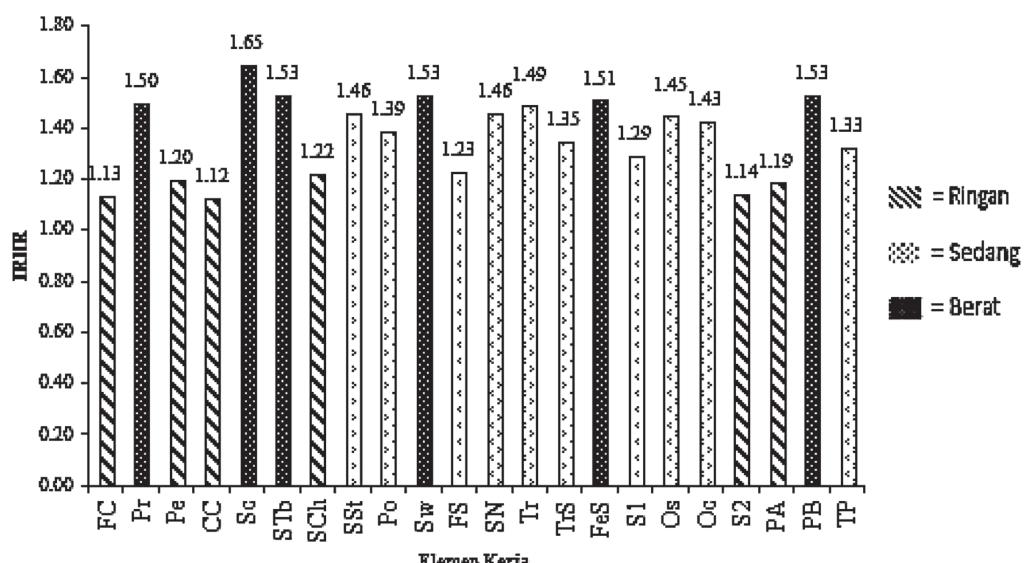
Tabel 2. Waktu baku produksi nanas kaleng.

No	Elemen	Kerja Waktu (detik) ^a		
		Normal	Delay	Baku
1	F _C	0.033	0.059	0.092
2	P _r	0.037	0.003	0.040
3	P _e	0.638	0.514	1.152
4	C _C	0.601	0.544	1.145
5	S _C	0.668	0.490	1.158
6	S _{Tb}	0.685	0.476	1.162
7	S _{Ch}	0.691	0.472	1.163
8	S _{St}	0.665	0.459	1.124
9	P _o	4.873	2.816	7.689
10	S _W	0.654	0.502	1.156
11	F _S	1.295	0.472	1.767
12	S _N	1.161	0.743	1.904
13	T _r	0.449	1.314	1.763
14	T _{rS}	0.351	0.558	0.909
15	FeS	0.501	0.102	0.603
16	S ₁	0.556	0.185	0.757
17	O _S	0.602	0.122	0.724
18	O _C	0.556	0.075	0.631
19	S ₂	0.517	0.107	0.624
20	P _A	0.481	0.150	0.631
21	P _B	0.381	0.250	0.631
22	T _p	0.049	0.582	0.631
Total		16.589	11.022	27.608

^aSetara untuk menghasilkan nanas kaleng ukuran A2

diproduksi dibedakan atas beberapa ukuran kaleng. Perhitungan waktu baku dan beban kerja proses produksi nanas kaleng pada penelitian ini difokuskan pada kaleng ukuran A2 (420 gram N.W). Berdasarkan penelitian pendahuluan dapat diketahui bahwa dalam proses produksi nanas kaleng dapat dibagi menjadi 22 elemen kerja dan

telah dilakukan pendefinisian kerja sehingga jelas proses awal dan akhir dari setiap elemen kerja serta perhitungan dalam analisis waktu dapat dilakukan secara konsisten. Alir proses produksi dan definisi kerja produksi nanas kaleng disajikan pada Gambar 2 dan Tabel 1.



Gambar 3. Nilai IRHR pada masing-masing elemen kerja.

Tabel 3. Kategori tingkat beban kerja berdasarkan IRHR.

Kategori	Nilai IRHR
Ringan	1.00 < IRHR < 1.25
Sedang	1.25 < IRHR < 1.50
Berat	1.50 < IRHR < 1.75
Sangat berat	1.75 < IRHR < 2.00
Luar biasa berat	2.00 < IRHR

Sumber : Syuaib (2003)

Penentuan Waktu Baku

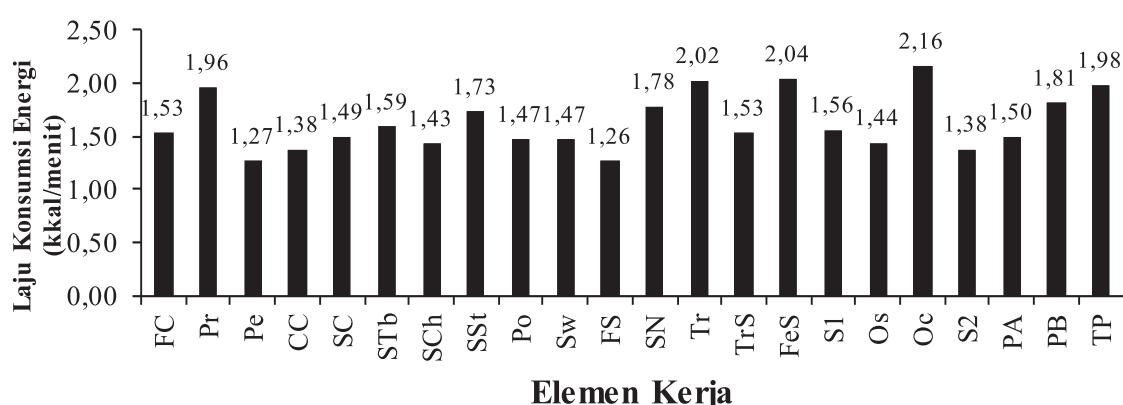
Dalam analisis gerak (*motion study*) terdapat istilah kelambatan yang tak terhindar (*unavoidable delay*) yang merupakan kelambatan oleh hal-hal yang terjadi di luar kemampuan kendali pekerja, hal ini timbul karena ketentuan cara kerja yang mengakibatkan satu tangan menganggur sedangkan tangan lainnya bekerja. Selain itu terdapat istilah kelambatan yang dapat dihindarkan (*avoidable delay*) yang merupakan kelambatan oleh hal yang ditimbulkan sepanjang waktu kerja oleh pekerjanya sendiri baik disengaja maupun tidak disengaja (Barnes 1980). Nilai waktu baku akan sama dengan waktu normal pekerja dijumlahkan dengan waktu *delay* dari masing-masing elemen kerja. Waktu baku digunakan untuk merencanakan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan pada bagian atau proses tertentu agar dapat meningkatkan

produktivitas perusahaan. Hal ini diharapkan dapat memberikan keuntungan lebih kepada perusahaan karena pengalokasian sumber daya manusia diletakkan ke tempat atau bagian yang memang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan kerja agar lebih efektif. Peranan penentuan waktu bagi suatu pekerjaan sangat besar di dalam sistem produksi seperti untuk sistem upah perangsang, penjadwalan kerja dan mesin, pengaturan tata letak pabrik, penganggaran dan sebagainya (Sulistyadi dan Susanti 2003). Waktu baku produksi nanas kaleng dapat dilihat pada Tabel 2.

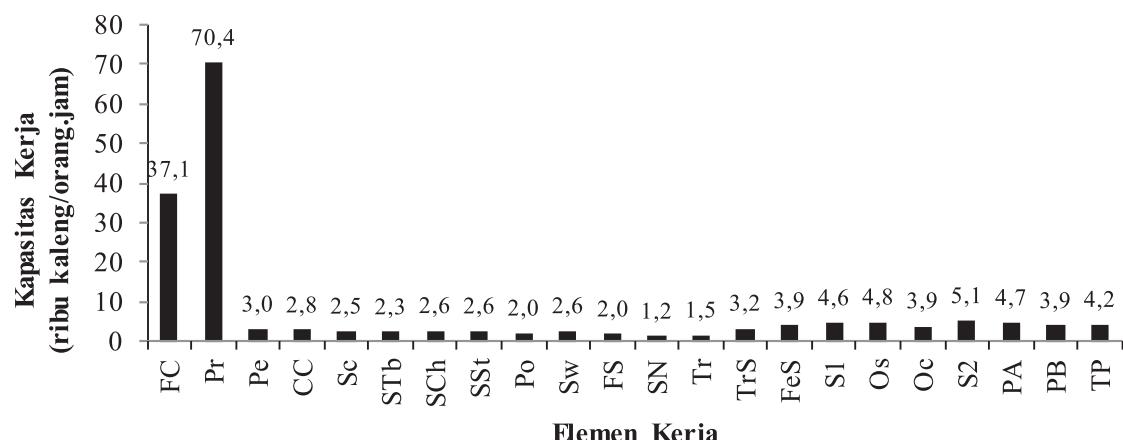
Berdasarkan Tabel 2 terlihat besarnya hasil penentuan waktu normal, *delay* dan baku pada 22 elemen kerja produksi nanas kaleng. Setiap elemen kerja memiliki waktu baku yang berbeda, hal ini menunjukkan besarnya kontribusi waktu dari setiap elemen kerja. Total waktu baku yang setara untuk menghasilkan satu produk nanas kaleng berukuran A2 (420 gram N.W) sebesar 27.608 detik.

Tingkat Kejerihan

Pengukuran tingkat kejerihan dilakukan sama seperti pada saat kegiatan *step-test*. Data HR diambil dengan cara melihat HR yang relatif stabil saat proses kerja berlangsung. Nilai IRHR aktivitas produksi nanas kaleng didapat dengan membandingkan HR pada saat kerja terhadap HR pada saat istirahat dari setiap pekerja. Nilai IRHR merupakan nilai yang menunjukkan tingkat beban



Gambar 4(a). Grafik laju konsumsi energi pada masing-masing elemen kerja.



Gambar 4(b). Grafik kapasitas kerja masing-masing elemen kerja

kerja relatif yang diterima oleh setiap pekerja. Nilai IRHR pada masing-masing elemen kerja ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan nilai IRHR elemen kerja pada proses produksi nanas kaleng memiliki *range* antara 1.13 kkal/menit–1.65 kkal/menit yang dikategorikan pekerjaan ringan sampai berat. Nilai tingkat kejerenhan ini dapat digunakan oleh perusahaan untuk menyesuaikan pekerja dengan pekerjaannya. Pekerja industri biasanya paling sering mengalami keluhan seperti kejang otot dan keselo pada beberapa bagian tubuhnya (Kim 2015), sehingga penentuan tingkat kejerenhan ini penting dilakukan. Elemen kerja yang dikategorikan pekerjaan paling berat adalah elemen kerja S_C . Elemen kerja S_C memiliki karakteristik kerja mengambil irisan nanas *chunk* yang diiris menggunakan mesin dengan cepat sehingga pekerja pada elemen kerja ini tidak hanya dikenai beban kerja fisik dan fisiologis namun juga dikenai beban beban mental. Beban kerja fisik yang berat sebaiknya dikerjakan oleh pekerja yang memiliki tenaga besar untuk mencegah terjadinya cidera tersebut. Elemen kerja yang dikategorikan pekerjaan paling ringan adalah elemen kerja F_C . Karakteristik pekerjaan pada elemen kerja F_C adalah mengoperasikan mesin konveyor sehingga pekerja hanya dikenai beban kerja mental.

Gambar 3 menunjukkan terdapat 6 elemen kerja yang dikategorikan pekerjaan berat yaitu elemen kerja Pr , S_C , S_{Tb} , S_W , FeS dan P_B , sepuluh elemen kerja yang dikategorikan pekerjaan sedang yaitu S_{St} , Po , F_S , S_N , Tr , TrS , S_1 , Os , Oc , T_P , dan 6 elemen kerja dikategorikan pekerjaan ringan yaitu elemen kerja F_C , Pe , CC , S_{Ch} , S_2 dan P_A dimana pada elemen kerja tersebut dikerjakan dengan bantuan mesin. Penentuan kategori berat, sedang dan ringan ditentukan berdasarkan nilai IRHR yang diperoleh dan nilai tersebut kemudian disesuaikan pada kategori tingkat beban kerja yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Laju Konsumsi Energi

Laju konsumsi energi merupakan besarnya energi yang dikeluarkan oleh pekerja dalam waktu tertentu. Laju konsumsi energi pada masing-masing elemen kerja ditunjukkan pada Gambar 4 (a).

Berdasarkan Gambar 4 (a), laju konsumsi energi pada proses produksi nanas kaleng yaitu memiliki rentang antara 1.25 kkal/menit sampai 2.16 kkal/menit. Laju konsumsi terbesar dimiliki oleh elemen kerja Oc yaitu sebesar 2.16 kkal/menit, sedangkan laju konsumsi energi terkecil dimiliki oleh elemen kerja Pe dan Fs yaitu sebesar 1.25 kkal/menit. Karakteristik pekerjaan pada elemen kerja Oc adalah mengoperasikan mesin pemasakan yang membutuhkan konsentrasi untuk mengatur parameter-parameter suhu dan produk yang akan masuk ke stasiun pemasakan. Selain itu, pekerja juga harus berpindah-pindah, dikarenakan posisi mesin yang berjauhan, oleh sebab itu laju

Tabel 4. Energi per kaleng masing-masing elemen kerja.

Elemen Kerja	Waktu Baku (detik/kaleng)	Energi per Kaleng (kkal/kaleng)
F_C	0.092	0.002
Pr	0.040	0.001
Pe	1.152	0.024
CC	1.145	0.026
S_C	1.158	0.029
S_{Tb}	1.162	0.030
S_{Ch}	1.163	0.027
S_{St}	1.124	0.028
Po	7.689	0.186
S_W	1.156	0.028
F_S	1.767	0.036
S_N	1.904	0.060
Tr	1.763	0.059
TrS	0.909	0.023
FeS	0.603	0.019
S_1	0.757	0.019
Os	0.727	0.018
Oc	0.631	0.022
S	0.624	0.014
P_A	0.631	0.015
P_B	0.631	0.018
T_P	0.631	0.020
Total	27.489	0.714

konsumsi energi pada elemen kerja ini relatif besar karena pekerja pada elemen kerja ini tidak hanya dikenai beban kerja fisik namun juga beban kerja mental. Sementara itu, pada elemen kerja Pe dan Fs karakteristik pekerjaannya yaitu mengumpulkan buah nanas ke mesin *peeling* satu persatu namun pekerja tidak perlu memperhitungkan posisi mesin pemotong sehingga pekerja pada elemen kerja tersebut hanya dikenai beban kerja fisik.

Setelah didapatkan nilai laju konsumsi energi pada masing-masing elemen kerja, maka dapat dihitung konsumsi energi untuk menghasilkan satu nanas kaleng. Total konsumsi energi untuk memproduksi satu nanas kaleng dari seluruh elemen sebesar 0.714 kkal. Energi yang dibutuhkan untuk memproduksi satu nanas kaleng pada masing-masing elemen kerja dapat dilihat pada Tabel 4.

Kapasitas Kerja

Kapasitas merupakan jumlah nanas kaleng yang dapat diproduksi oleh pekerja pada setiap elemen kerja selama waktu kerja. Kapasitas kerja dapat dihitung dengan mengetahui konsumsi energi pada berbagai jenis pekerjaan, jenis makanan dan minuman yang harus disediakan untuk keperluan pengadaan energi. Jumlah energi yang dianjurkan agar semua orang dapat hidup sehat dan beraktivitas dengan baik mengikuti data yang ditetapkan oleh

Tabel 5. Tenaga Kerja Berdasarkan Analisis Waktu Baku dan Beban Kerja.

Elemen kerja	Alokasi Tenaga Kerja (orang)		
	Analisis Beban Kerja	Analisis Waktu Baku	Analisis Beban Kerja dan Waktu Baku
Fc	2	2	2
Pr	1	1	1
Pe	14	14	14
C _C	15	14	15
S _C	17	14	17
S _{Tb}	18	14	18
S _{Ch}	16	14	16
S _{St}	17	14	17
Po	21	90	90
S _W	16	14	17
FS	22	21	22
SN	34	23	34
Tr	28	21	28
TrS	13	11	13
FeS	11	7	11
S ₁	10	9	10
O _S	9	9	9
O _C	11	8	11
S ₂	9	8	9
P _A	9	8	9
P _B	11	8	11
T _P	10	8	10
Total	313	332	383

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 75 tahun 2013 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan bagi Bangsa Indonesia. Kebutuhan energi untuk kegiatan sehari-hari seperti berdiri, duduk, dan berjalan adalah sebesar 20% (Kroemer dan Grandjean 1997). Kapasitas kerja didapatkan dengan menggunakan besarnya energi yang dibutuhkan untuk memproduksi satu nanas kaleng dan *human output capacity*. Nilai kapasitas kerja ini akan digunakan untuk menentukan distribusi pekerja setiap elemen kerja. Kapasitas kerja pada proses produksi nanas kaleng ditujukan pada Gambar 4 (b)

Berdasarkan Gambar 4 (b), setiap elemen kerja memiliki kapasitas yang berbeda, serta terlihat bahwa secara umum elemen kerja yang karakteristik pekerjaannya dilakukan dengan bantuan mesin memiliki kapasitas yang lebih besar daripada pekerjaan yang dilakukan secara manual.

Perbandingan Tenaga Kerja Berdasarkan Analisis Waktu Baku dan Beban Kerja

Berdasarkan analisis studi waktu yaitu menggunakan waktu baku didapatkan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk memproduksi 250000 nanas kaleng yaitu berjumlah 332 orang, sedangkan berdasarkan analisis beban kerja

dibutuhkan 313 orang. Perbandingan jumlah tenaga kerja berdasarkan waktu baku dengan jumlah tenaga kerja berdasarkan beban kerja dapat dilihat pada Tabel 5.

Setiap elemen kerja memiliki karakteristik pekerjaan yang berbeda-beda tergantung tuntutan yang terdapat pada elemen kerja tersebut, oleh karena itu untuk pendistribusian tenaga kerja yang optimal maka dilakukan analisis terhadap masing-masing elemen kerja sesuai dengan karakteristik-karakteristik tersebut. Berdasarkan Tabel 5, kebutuhan tenaga kerja pada elemen kerja F_C, Pr, Pe, dan Os baik berdasarkan analisis beban kerja maupun analisis waktu baku berjumlah sama. Hal ini menunjukkan bahwa antara karakteristik kerja dan manusia memiliki tuntutan yang sama pentingnya. Pada elemen kerja C_C, S_C, S_{St}, S_{Tb}, S_{Ch}, S_W, FS, SN, Tr, TrS, FeS, S₁, Oc, S₂, Pa, Pb, dan T_P, jumlah tenaga kerja berdasarkan analisis beban kerja lebih banyak dibandingkan analisis waktu baku. Hal ini menunjukkan bahwa sisi tenaga kerja lebih dibutuhkan sehingga untuk memproduksi 250,000 nanas kaleng faktor tenaga menjadi faktor pembatas pada elemen kerja tersebut. Sebaliknya pada elemen kerja Po, kebutuhan tenaga kerja berdasarkan waktu baku lebih banyak dibandingkan beban kerja.

Elemen kerja Po memiliki karakteristik pekerjaan yang membutuhkan ketelitian dan kontrol yang berkaitan dengan kualitas produk yang dihasilkan. Faktor ketelitian tersebut berpengaruh terhadap waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi satu nanas kaleng. Waktu kerja yang diperlukan lebih lama namun beban yang diterima pekerja relatif kecil sehingga laju konsumsi energi pekerja juga kecil, oleh karena itu untuk memproduksi 250,000 nanas kaleng karakteristik waktu menjadi faktor pembatas. Analisis untuk mengetahui karakteristik pekerjaan ini merupakan hal sederhana namun memiliki manfaat yang sangat besar. Kim (2015) juga menyatakan bahwa resiko kerja harus dikontrol pada bagian yang paling dasar untuk mencegah menyebarluas resiko cidera pada pekerja. Berdasarkan analisis yang sama untuk setiap elemen kerja didapatkan distribusi tenaga kerja optimal sebanyak 383 orang, sedangkan jumlah tenaga yang ada di perusahaan saat ini berjumlah 384 orang sehingga kondisi pada saat ini dapat dikatakan baik.

Simpulan

1. Elemen kerja yang terdapat pada proses produksi nanas kaleng berjumlah 22 elemen kerja dengan alur kerja dimulai dari *Feeding Conveyor* (*Fc*) lalu menuju *Preparation* (*Pr*) untuk kemudian masuk ke elemen kerja *Peeling* (*Pe*), setelah itu buah akan masuk ke bagian line di mana terdapat beberapa alur kerja yaitu *Cutting*, *Crush*, *Seleksi*, *Tidbit* (*S_{Tb}*), *Seleksi* *Choice* (*S_{Ch}*), *Seleksi* *Standard* (*S_{St}*), *Pocking* (*Po*), *Susun Warna* (*Sw*), *Feeding Slice* (*Fs*), *Susun Nampan* (*S_N*), *Transporting* (*Tr*), hingga *Transporting Seamer* (*TrS*), dari bagian ini produk sudah dalam bentuk kaleng yang tersusun rapih untuk dibawa dan diproses pada elemen kerja *Feeding Seamer* (*FeS*), *Sortir 1* (*S₁*), *Seaming* (*Os*), *Cooking* (*Oc*), *Sortir 2* (*S₂*), *Palleting Atas* (*P_A*), *Palleting Bawah* (*P_B*), dan terakhir pada elemen kerja *Transporting Pallet* (*Tp*).
2. Total waktu baku yang setara untuk memproduksi satu nanas kaleng ukuran A2 (420 gram N.W) adalah 27.608 detik.
3. Tingkat kejernihan berdasarkan beban kerja kualitatif pada proses produksi nanas kaleng ukuran A2 berselang antara 1.13 – 1.65 kkal/ menit dikategorikan sebagai pekerjaan ringan sampai berat.
4. Laju konsumsi energi berdasarkan beban kerja kuantitatif berada pada rentang 1.25 kkal/ menit sampai 2.16 kkal/menit. Total energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu nanas kaleng ukuran A2 adalah sebesar 0.714 kkal.
5. Kebutuhan tenaga kerja untuk memenuhi target produksi sebesar 250,000 kaleng/hari berdasarkan waktu baku adalah 332 orang,

berdasarkan analisis beban kerja sebanyak 313 orang. Selanjutnya berdasarkan analisis gabungan antara waktu baku dan beban kerja dibutuhkan 383 orang. Dengan ketersediaan pekerja saat ini yang berjumlah 384 desain dan distribusi tenaga kerja dapat dikatakan baik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Agustian Muarif, Muhammad Rizki, dan Rifan Bachtiar atas bantuan dalam melakukan survei dan mengumpulkan data dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Barnes RM. 1980. Motion and Time Study: Design and Measurement of Work. [handbook, 7th ed.]. John Wiley & Sons. New York & Toronto.
- [ILO] International Labour Organization. 2013. Keselamatan dan Kesehatan Kerja (Sarana untuk Produktivitas). Jakarta (ID): International Labour Office - Jakarta
- Kastaman R, Herodian S. 1998. Studi kalibrasi data pengukuran beban kerja menggunakan metode step test dan ergometer. Buletin Keteknikan Pertanian 12(1): 35-45
- Kim IJ. 2015. Safety and Health Practices in the Food Industry and Ergonomic Interventions. Journal of Ergonomics 6:1
- [Kemenkes] Kementerian Kesehatan. 2013. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 75 tentang Angka Kecukupan Gizi yang Dianjurkan Bagi Bangsa Indonesia. Jakarta (ID): Kemenkes
- Kroemer KHE, Grandjean E. 1997. *Fitting the Task to The Human*, (5th ed). London: Taylor and Francis
- Sulistyadi K, Susanti SL. 2003. Perancangan Sistem Kerja dan Ergonomi. Fakultas Teknik. Jakarta (ID): Universitas Sahid.
- Syuaiib MF, Shoji M., Hiroshi S. 2002. Ergonomic study on the process of mastering tractor operation. Journal of JSAM 64(4):61-67.
- Syuaiib MF. 2003. Ergonomic study on the process of mastering tractor operation [Disertasi]. Tokyo (JP): Tokyo University of Agricultural and Technology
- Syuaiib MF, Herodian S, Hidayat DA, Fil'aini R, Sari TN, Putranti KA. 2012. Laporan Hasil Kajian Ergonomika untuk Penyempurnaan Sistem dan Produktivitas Kerja Panen-muat Sawit di kebun PT Astra Agro Lestari. FATEKA. IPB

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Karakteristik Gelombang Ultrasonik pada Nanas (*Ananas comosus* (L.) Merr.) dengan Tiga Tingkat Kematangan

Ultrasonic Transmission Characteristic of Pineapple at Three Ripeness Levels

Wendianing Putri Luketsi, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor,
Email: wendianing@gmail.com

I Wayan Budiastra, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: wbudiastra@yahoo.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

Currently, determination of quality of fresh pineapple is still subjective by visual judgement based on its color, resulting high variation of ripeness judgement and often does not represent its internal quality. Therefore, we need a non-destructive method that could accurately evaluate internal quality of pineapple, one of which is ultrasonic method. The purposes of this study were to determine the characteristic of ultrasonic transmission (velocity, attenuation coefficient) and physicochemical properties in pineapples and to examine ultrasonic transmission correlation with their physicochemical properties. Pineapple with three ripeness were harvested. Ultrasonic transmission characteristic in pineapples at a frequency of 50 KHz were measured, then followed by measurement of its physicochemical properties (firmness, density, total soluble solid, and total acid). The result showed that the velocity of ultrasonic transmission in pineapples at three ripeness levels were significantly different, ranged between 172.51 to 210.06 m/s. The riper the pineapple, the lower the ultrasonic transmission velocity. The ultrasonic attenuation coefficient in pineapples ranged from 4.09 – 5.14 dB/m. Ultrasonic attenuation coefficient increases as pineapple is riper. Both ultrasonic velocity and attenuation coefficient have linear correlations with firmness.

Keywords: attenuation coefficient, pineapple, ripeness, ultrasonic, velocity

Abstrak

Penentuan kualitas buah nanas segar saat ini masih bersifat subjektif berdasarkan warna, sehingga hasil pemutuannya sangat beragam dan tidak sesuai dengan mutu internal. Oleh karena itu diperlukan metode nondestructif yang mampu mengevaluasi mutu internal nanas, salah satunya adalah metode ultrasonik. Tujuan penelitian ini adalah menentukan karakteristik transmisi gelombang ultrasonik (kecepatan, koefisien atenuasi) dan sifat fisikokimia nanas serta mengkaji hubungan antara karakteristik transmisi gelombang ultrasonik dengan sifat fisikokimia buah nanas. Buah nanas dengan tiga tingkat kematangan dipanen, kemudian langsung dilakukan pengukuran sifat transmisi gelombang ultrasonik pada frekuensi 50 kHz, dilanjutkan dengan pengukuran sifat fisikokimia (kekerasan, densitas, total padatan terlarut, dan total asam). Hasil penelitian menunjukkan kecepatan gelombang ultrasonik buah nanas pada tiga tingkat kematangan berbeda nyata, berkisar antara 172.51 – 210.06 m/s. Semakin matang buah nanas, kecepatan gelombang ultrasonik semakin menurun. Sedangkan koefisien atenuasi berkisar antara 4.09 – 5.14 dB/m. Koefisien atenuasi semakin meningkat dengan semakin matangnya nanas. Kecepatan dan koefisien atenuasi gelombang ultrasonik mempunyai korelasi linier dengan kekerasan nanas.

Kata kunci: kecepatan gelombang, kematangan, koefisien atenuasi, nanas, ultrasonik

Diterima: 11 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Nanas (*Ananas comosus* L. Merr) merupakan salah satu buah tropis unggulan Indonesia yang diperdagangkan di pasar domestik maupun internasional. Varietas kultivar yang banyak dibudidayakan adalah golongan *Cayenne* dan *Queen*. Untuk menjaga kepuasan konsumen dan standar kualitas nanas segar yang sesuai dengan kualifikasi yang telah ditetapkan, BSN (2009) telah menyusun standar nasional untuk mutu nanas (SNI 3166:2009). Meskipun telah ada standar kualitas namun para pelaku usaha tidak melaksanakannya secara baik dan konsisten. Evaluasi mutu masih dilakukan secara subjektif berdasarkan warna, sehingga hasil pemutuannya sangat beragam dan tidak sesuai dengan mutu internal nanas.

Oleh karena itu, perlu dikembangkan sistem evaluasi mutu secara nondestruktif untuk menentukan tingkat kematangan berdasarkan mutu fisik dan mutu internal buah nanas segar. Metode ultrasonik menjadi alternatif pilihan untuk menentukan mutu buah, karena mempunyai daya tembus melebihi metode NIR (*Near Infra Red*) yang hanya mampu menembus hingga kedalaman 5 mm dari permukaan buah, biaya investasi lebih murah, dan buah yang diperiksa tidak berefek bagi kesehatan jika dikonsumsi dibanding teknik sinar X.

Penelitian ultrasonik untuk evaluasi mutu akan metoda ultrasonik untuk menentukan tingkat kematangan alpukat dan Mizrach *et al.* (1989) juga telah mengujinya pada beberapa sayuran dan buah subtropika, dan tingkat kematangan mangga (Mizrach *et al.* 1997). Di Indonesia, aplikasi metoda ultrasonik telah dilakukan pada beberapa penelitian bidang pertanian, antara lain Trisnobudi (1998) untuk mengevaluasi kematangan tomat cherry, Budiastra *et al.* (1998) melakukan pengujian pada durian menggunakan beberapa frekuensi ultrasonik, Rejo *et al.* (2002) melakukan penelitian untuk menentukan kematangan durian dengan ultrasonik dan *neural network*. Haryanto (2002) melaporkan bahwa sifat akustik dapat membedakan tingkat ketuaan durian, Juansah *et al.* (2006) membuat rancang bangun sistem pengukuran gelombang ultrasonik untuk penentuan mutu manggis, Warji (2008) menggunakan ultrasonik untuk menduga kerusakan buah mangga arumanis akibat lalat

buah, Nasution (2006) melakukan pengembangan sistem evaluasi mutu manggis dengan ultrasonik, dan Djamilia *et al.* (2010) berhasil menggunakan metode ultrasonik untuk penentuan mutu buah naga merah super.

Penelitian ini mengkaji metoda ultrasonik untuk menentukan tingkat kematangan dan mutu internal nanas. Secara khusus penelitian ini bertujuan 1) menentukan karakteristik transmisi gelombang ultrasonik (kecepatan, koefisien atenuasi) dan sifat fisikokimia nanas pada tiga tingkat kematangan, dan 2) mengkaji hubungan karakteristik transmisi gelombang ultrasonik dengan sifat fisikokimia nanas pada tiga tingkat kematangan.

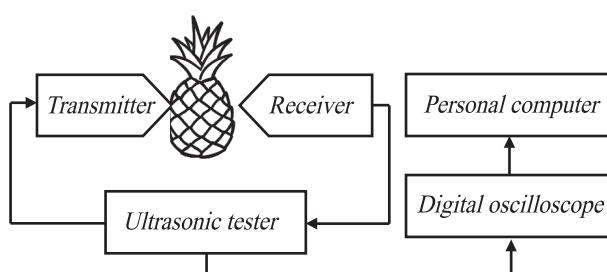
Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan adalah nanas varietas *Cayyene* yang berasal dari kebun petani di Jalan Cagak Kabupaten Subang Jawa Barat. Buah tersebut dipetik pada tiga tingkat kematangan, yaitu tingkat kematangan ke-1 dengan ciri warna kulit hijau seluruhnya tanpa tanda-tanda kuning, ke-2 dengan ciri 50%-60% warna kulit jelas mulai berwarna kuning, dan kematangan ke-3 dengan ciri seluruh warna kulit kuning merata. Masing-masing tingkat kematangan menggunakan 35 sampel nanas, dengan total sampel 105 buah. Beberapa bahan kimia juga digunakan dalam penelitian ini, seperti *aquadest*, larutan NaOH 0.1 N, dan indikator PP (phenolphthalein). Selain itu juga digunakan air untuk pengukuran densitas buah.

Pengukuran Karakteristik Transmisi Gelombang Ultrasonik

Pengukuran karakteristik transmisi gelombang ultrasonik menggunakan alat uji ultrasonik rancangan Budiastra *et al.* (1998) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang terdiri atas transduser pemancar (*transmitter*) dan transduser penerima (*receiver*) gelombang ultrasonik dengan frekuensi 50 kHz dengan bahan piezoelektrik, dudukan sampel, *digital oscilloscope* ETC M621, ultrasonik *tester*, dan personal komputer. Transduser yang digunakan berbentuk silinder berujung kerucut, dengan diameter 2.95 cm dan panjang 7.5 cm.

Nanas yang telah dibersihkan diletakkan pada dudukan buah. Gelombang ultrasonik ditransmisikan ke buah pada sisi yang berbeda, yaitu: bagian pangkal, tengah, dan ujung buah. Pengukuran transmisi gelombang ultrasonik dilakukan sebanyak dua kali. Untuk mengetahui dimensi panjang buah maka dibawah dudukan buah diletakkan mistar. Hasil transmisi buah akan ditampilkan pada layar monitor komputer. Data yang diperoleh adalah data amplitudo dan waktu yang disimpan dalam Microsoft Excel. Kecepatan gelombang ultrasonik (V_b) ditentukan dari panjang buah nanas (L) dengan



Gambar 1. Blok diagram alat pengukuran gelombang ultrasonic.

Tabel 1. Rata-rata nilai karakteristik transmisi gelombang ultrasonik buah nanas varietas Cayyene pada tiga tingkat kematangan.

Sifat akustik	Tingkat kematangan 1	Tingkat kematangan 2	Tingkat kematangan 3
Kecepatan (m/s)	210.06 ± 12.84 a	185.09 ± 8.41 b	172.51 ± 11.26 c
Atenuasi (dB/m)	4.09 ± 0.27 a	4.26 ± 0.32 a	5.14 ± 0.51 b

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama pada masing-masing perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%

waktu (Δt) rambatan gelombang ultrasonik dari *transmitter* ke *receiver* tersaji pada Persamaan 1.

$$Vb = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

$$\alpha = -\frac{1}{x} \ln \left(\frac{a_x}{a_0} \right) \quad (2)$$

Koefisien atenuasi (α) ditentukan oleh rasio antara tekanan amplitudo setelah melewati jarak x di dalam suatu medium (A_x) dan sebelum memasuki medium (A_0), tersaji pada Persamaan 2. Pengambilan data setiap pengukuran sampel sebanyak 4096, *time base* 800 μ s/div, dengan *sampling rate* yang digunakan untuk pengukuran sebesar 512 kHz. Setelah pengukuran karakteristik transmisi gelombang ultrasonik, dilakukan pengukuran sifat fisikokimia.

Pengukuran Sifat Fisikokimia

Sifat fisikokimia yang diukur adalah kekerasan, densitas, total padatan terlarut (TPT), dan total asam (TA). Kekerasan diukur menggunakan alat rheometer model CR 300 DX-L dengan pengaturan kondisi mode: 20; R/H (*hold*): 10.00 mm; P/T (*Press*): 60 mm/m; Rep. 1:1 x 60h; Max 10 kg, probe nomor 38 ($\emptyset = 5$ mm). Densitas menggunakan *water displacement*, TPT menggunakan alat *portable digital refractometer* Atago PR 201 (AOAC 1994), dan TA menurut prosedur AOAC (1995), dengan cara titrasi.

Analisis Data

Data pengukuran gelombang ultrasonik (kecepatan, koefisien atenuasi) dan sifat fisikokimia nanas dianalisis dengan analisa varians (ANOVA), uji beda nyata (DUNCAN) pada taraf uji 5%. Hubungan antara karakteristik transmisi gelombang ultrasonik (kecepatan, koefisien atenuasi) dengan sifat fisikokimia dianalisis dengan regresi linear menggunakan software Minitab Release 14.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Transmisi Gelombang Ultrasonik Buah Nanas Varietas Cayyene Pada Tiga Tingkat Kematangan

Kecepatan gelombang ultrasonik pada tiga tingkat kematangan berbeda nyata pada taraf uji

5% (Tabel 1). Kecepatan gelombang ultrasonik pada tingkat kematangan pertama, kedua dan ketiga sebesar 210.06 m/s, 185.09 m/s, dan 172.51 m/s. Semakin matang buah nanas maka kecepatan gelombang ultrasonik akan semakin menurun. Kecepatan transmisi gelombang pada nanas lebih rendah dari buah naga merah 614.10 – 680.58 m/s (Djamila et al. 2010), manggis 1125 – 1350 m/s (Juansah et al. 2006), durian matang 515.8 – 626.2 m/s (Waluyo et al. 2006), dan alpukat matang 200 – 350 m/s (Self et al. 1994). Namun lebih tinggi dari kecepatan buah jeruk Navel 130-240 m/s (Camarena et al. 2006) dan apel 118 – 180 m/s (Kim et al. 2008). Kecepatan transmisi gelombang pada suatu medium selain dipengaruhi oleh modulus Young (kekerasan), juga dipengaruhi oleh kerapatan jenis atau densitas medium tersebut. Semakin tinggi densitas suatu medium maka semakin cepat juga transmisi gelombang ultrasonik. Dalam hal ini, densitas buah naga merah, manggis, durian, dan alpukat lebih besar daripada nanas.

Sedangkan koefisien atenuasi hanya tingkat kematangan ketiga yang menunjukkan berbeda nyata dibandingkan dengan tingkat kematangan pertama dan kedua pada taraf nyata 5%. Koefisien atenuasi pada tingkat kematangan pertama, kedua dan ketiga sebesar 4.09 dB/m, 4.26 dB/m, dan 5.14 dB/m. Koefisien atenuasi akan semakin meningkat dengan semakin matangnya nanas. Koefisien atenuasi pada buah naga merah super (Djamila et al. 2010) sebesar 501.27 – 540.44 dB/m, manggis (Juansah et al. 2006) sebesar 1.04 – 1.13 dB/m, dan durian matang (Waluyo et al. 2006) sebesar 0.82 – 3.75 dB/m. Kim et al. (2009) juga melakukan pengamatan pada kematangan apel dan mendapatkan nilai atenuasi pada frekuensi yang sama, dan terus meningkat 1200 – 1500 dB/m seiring kematangannya. Hasil ini sesuai dengan Mizrach et al. (1991) yang telah melakukan penelitian pada buah melon dengan atenuasi yang diperoleh 2600 – 7100 dB/mm, serta Mizrach (2000), Flitsanov et al. (2000) dan Gaete-Garreton et al. (2005) melakukan penelitian pada buah alpukat. Perbedaan nilai atenuasi dipengaruhi oleh komponen partikel penyusun yang bervibrasi pada frekuensi yang kemudian akan menentukan jumlah energi absorpsi spesifik (Lee et al. 1992). Selain itu, perbedaan komposisi kimia juga menyebabkan adanya perbedaan pola difraksi gelombang akibat perbedaan dipole atom – atom penyusunnya

Tabel 2. Rata-rata nilai sifat fisikokimia buah nanas varietas Cayyene pada tiga tingkat kematangan.

Sifat fisikokimia	Tingkat kematangan 1	Tingkat kematangan 2	Tingkat kematangan 3
Kekerasan (N)	50.04 ± 4.03 a	44.48 ± 4.47 b	34.01 ± 5.72 c
Densitas (kg/m3)	976.50 ± 101.16 a	981.07 ± 60.23 a	1010.70 ± 117.46 a
TPT (%Brix)	14.99 ± 1.89 a	16.94 ± 1.37 b	13.99 ± 1.26 a
Total Asam (%)	0.62 ± 0.08 a	0.57 ± 0.10 a	0.84 ± 0.11 b

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada baris yang sama pada masing-masing perlakuan tidak berbeda nyata pada taraf uji 5%

Tabel 3, Koefisien korelasi hubungan antara sifat gelombang ultrasonik dengan sifat fisikokimia.

Sifat Gelombang Ultrasonik	Sifat Fisikokimia	Koefisien Korelasi(r)
Kecepatan	Modulus Young (E)	0.930
	Kekerasan	0.688
	Densitas	0.235
	TPT	0.211
	TA	-0.438
Atenuasi	Modulus Young (E)	-0.644
	Kekerasan	-0.683
	Densitas	0.379
	TPT	-0.448
	TA	0.647

sehingga mempengaruhi nilai transmisivitas dan refleksi gelombang ultrasonik (Gooberman 1968).

Sifat Fisikokimia Buah Nanas Varietas Cayyene Pada Tiga Tingkat Kematangan

Selama proses pematangan, buah nanas mengalami beberapa perubahan antara lain pada warna kulit, tekstur dan kekerasan buah, rasa serta aroma khas yang menunjukkan bahwa terjadi perubahan-perubahan dalam susunannya. Beberapa perubahan yang terjadi selama proses pematangan nanas dijelaskan pada hasil yang didapatkan dari data pengujian destruktif (kekerasan, total padatan terlarut, total asam, dan densitas).

Kekerasan daging buah nanas pada tingkat kematangan ke-1 sebesar 50.04 ± 4.03 N dan terus mengalami penurunan kekerasan hingga 34.01 ± 5.72 N. Kekerasan daging buah nanas mengalami penurunan seiring dengan semakin bertambahnya tingkat kematangan, dikarenakan adanya perubahan fase buah dari pramatang menjadi matang. Menurunnya kekerasan pada buah selain akibat pengaruh respirasi dan transpirasi yang terus berlangsung, juga akibat aktifitas fisiologis lain yang terjadi pada buah nanas.

Pada Tabel 2 menunjukkan adanya kenaikan TPT pada tingkat kematangan ke-1 sebesar 14.99 ± 1.89 %Brix menjadi 16.94 ± 1.37 %Brix pada tingkat kematangan ke-2, hal ini dikarenakan

adanya peningkatan kandungan gula totalnya akibat perombakan karbohidrat (pati) menjadi gula-gula sederhana. Namun TPT mengalami penurunan pada tingkat kematangan ke-3 menjadi 13.99 ± 1.26 %Brix. Penurunan nilai TPT dapat diakibatkan adanya awal dari fase matang ke fase pembusukan, dimana proses biokimia pada fase ini akan menyebabkan kandungan karbohidrat dan gula berubah. Penurunan TPT pada buah nanas juga menunjukkan penurunan mutu buah nanas.

Perubahan juga terjadi pada total asam (TA), dimana TA mengalami penurunan dari tingkat kematangan ke-1 dari $0.62 \pm 0.08\%$ menjadi $0.57 \pm 0.10\%$ pada tingkat kematangan ke-2 dan meningkat kembali sebesar $0.84 \pm 0.11\%$ pada tingkat ke-3. Pada buah pisang dan nanas, kandungan asam organik tertinggi pada saat ripening (Widjanarko 2012). Fase ripening merupakan fase khusus pada buah yang peristiwanya dimulai pada tahap akhir pematangan dan menjadi tahap awal kelayuan. Selain kekerasan, TPT dan TA, densitas buah juga mengalami perubahan. Namun tidak berbeda nyata diantara tiga tingkat kematangan.

Hubungan Karakteristik Transmisi Gelombang Ultrasonik Dengan Sifat Fisikokimia Buah Nanas Varietas Cayyene Pada Tiga Tingkat Kematangan

Besarnya nilai koefisien korelasi hubungan karakteristik gelombang ultrasonik dengan sifat fisikokimia buah nanas pada tiga tingkat kematangan disajikan pada Tabel 3. Besar nilai koefisien korelasi menunjukkan kekuatan hubungan linear dan arah hubungan dua variabel acak. Hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan Modulus Young (kekerasan) menunjukkan korelasi positif dan didapatkan model pendugaan $Y = 0.435 X - 45.36$ dengan nilai koefisien korelasi yang dihasilkan sangat tinggi yaitu $r = 0.930$ (Gambar 2). Semakin tinggi kecepatan gelombang, maka semakin tinggi pula Modulus Young pada buah nanas. Kekerasan suatu medium mempengaruhi secara langsung pada kecepatan gelombang ultrasonik. Garret dan Fury (1992) mengukur kecepatan gelombang ultrasonik pada apel dengan menggunakan fungsi rapat massa (ρ), Modulus Young (E), dan Perbandingan Poisson (ν). Persamaan tersebut secara teoritis menjelaskan bahwa kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi

oleh sifat karakteristik fisik yang terdapat pada buah, seperti rapat massa (densitas) dan Modulus Young (kekerasan). Kekerasan merupakan salah satu indikator dominan untuk menentukan tingkat kematangan. Perubahan kekerasan (penurunan) pada buah akan mulai terjadi sejak buah dipanen hingga pada tahap penyimpanan. Peacock *et al.* (1986) menjelaskan kandungan kimia dan kerapatan massa juga merupakan faktor penting untuk menentukan tingkat kematangan dari buah, namun kekerasan merupakan salah satu faktor terpenting untuk menentukan langsung tingkat kematangan buah.

Hubungan antara koefisien atenuasi dengan kekerasan buah nanas menunjukkan adanya hubungan regresi linear (Gambar 3). Dari hubungan tersebut menghasilkan nilai koefisien korelasi sebesar $r = -0.683$. Sehingga nilai kekerasan berdasarkan koefisien atenuasi yang didapatkan, dapat diduga dengan menggunakan model $Y = -9.668 X + 86.47$. Semakin tinggi nilai kekerasan buah maka koefisien atenuasi akan semakin menurun atau dapat diartikan bahwa semakin matang buah nanas (kekerasannya menurun) maka koefisien atenuasinya semakin meningkat dengan kata lain tingkat kehilangan energinya semakin besar. Menurunnya kekerasan pada buah selain akibat pengaruh respirasi dan transpirasi yang terus berlangsung, juga akibat aktifitas fisiologis lain yang terjadi pada buah nanas. Penurunan kekerasan antara lain disebabkan adanya perubahan protopektin dan hemiselulosa selama proses pematangan buah sehingga dinding sel akan menurun struktur padatnya, tekanan turgor sel menurun dan terjadi perubahan tekstur dari keras menjadi lunak. Protopektin yang merupakan induk senyawa pektin secara bertahap terdegradasi secara enzimatis oleh enzim pektin metilesterase dan poligalakturonase sejalan dengan meningkatnya kematangan buah. Protopektin yang mula – mula tidak larut dalam air, akan terurai menjadi molekul yang lebih sederhana (asam pektat, asam galakturonat). Kecepatan menurunnya kelunakan tekstur buah sebanding dengan kecepatan degradasi senyawa

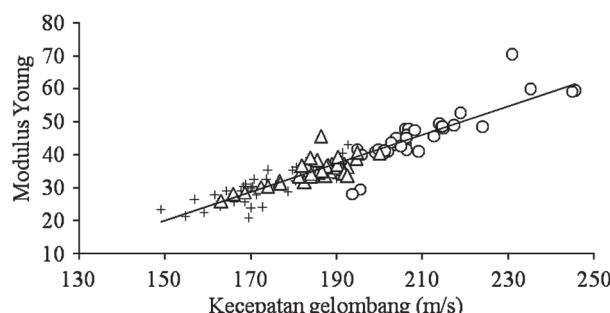
pektin. Trisnobudi (1998) menjelaskan atenuasi tergantung pada jenis mediumnya. Pada medium gas atenuasinya besar, pada cairan atenuasinya sedang, dan pada padatan atenuasinya kecil. Jadi besarnya atenuasi ini berkebalikan dengan besarnya kecepatan gelombang ultrasonik.

Nilai koefisien korelasi (r) pada hubungan kecepatan gelombang ultrasonik dengan Modulus Young (kekerasan) sebesar $r = 0.930$ mempunyai korelasi yang lebih kuat dibandingkan dengan hubungan antara koefisien atenuasi dengan kekerasan buah nanas yang hanya memiliki $r = -0.683$. Sehingga model pendugaan yang diperoleh dari hubungan antara kecepatan gelombang dengan modulus Young (kekerasan) lebih baik untuk menduga kematangan buah nanas pada setiap tingkat kematangannya. Dari kedua hubungan antara karakteristik transmisi gelombang ultrasonik dengan sifat fisikokimia buah nanas, keduanya mempunyai korelasi yang linear dengan kekerasan buah.

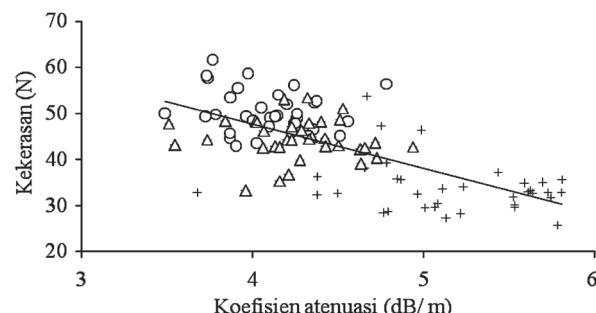
Hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan kekerasan menunjukkan adanya korelasi yang cukup kuat. Sedangkan dengan densitas, TPT dan TA menunjukkan korelasi yang lemah dengan kecepatan ultrasonik. Hubungan antara koefisien atenuasi dengan modulus Young, densitas, TA dan TPT menunjukkan adanya korelasi yang lemah. Lemahnya korelasi antara kecepatan dan atenuasi dengan densitas, TPT dan TA dipengaruhi oleh data yang diperoleh dari ketiga tingkat kematangan tersebut yang tidak berbeda nyata. Selain itu juga disebabkan oleh faktor internal adanya keragaman sifat kimia pada produk pertanian itu sendiri meskipun masih dalam satu varietas.

Simpulan

Kecepatan gelombang ultrasonik buah nanas varietas Cayyene pada tiga tingkat kematangan berkisar antara 172.51 – 210.06 m/s, sedangkan koefisien atenuasinya berkisar 4.09 – 5.14 dB/m. Semakin matang buah nanas maka kecepatan



Gambar 2. Hubungan antara kecepatan gelombang ultrasonik dengan Modulus Young (E) nanas varietas Cayyene pada tiga tingkat kematangan (o tingkat 1, Δ tingkat 2, + tingkat 3).



Gambar 3. Hubungan antara koefisien atenuasi dengan kekerasan nanas varietas Cayyene pada tiga tingkat kematangan (o tingkat 1, Δ tingkat 2, + tingkat 3).

gelombang ultrasonik semakin menurun, sebaliknya koefisien atenuasi semakin meningkat dengan semakin matangnya nanas. Kecepatan dan koefisien atenuasi gelombang ultrasonik mempunyai korelasi linier dengan kekerasan nanas. Kecepatan gelombang ultrasonik mempunyai peluang lebih baik untuk digunakan menduga tingkat kematangan buah nanas dibandingkan koefisien atenuasi.

Daftar Pustaka

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1996. Official Methods of Analysis, 16thed. 45:5-6. Washington DC (US).
- [BSN] Badan Standarisasi Nasional. 2009. Nanas. Standar Nasional Indonesia 3166: 2009. Jakarta (ID): BSN.
- Budiastra IW. 1998. Laporan Kemajuan II Pengembangan Teknologi Gelombang Ultrasonik untuk Penentuan Kematangan dan Kerusakan Buah-buahan Tropika Secara Non-destruktif. Bogor (ID): IPB.
- Camarena F, Martinez-Mora JA. 2006. Potential of Ultrasound to Evaluate Turgidity and Hydration of The Orange Peel. *J Food Eng* 75, 503 -507.
- Djamila S, Budiastra IW, Sutrisno, Edris IM. 2010. Non-destructive Quality Evaluation of Dragon Fruit Using Ultrasound Method. *International Seminar on Horticulture to Support Food Security 2010. Bandar Lampung (ID): C15 - C23.*
- Flitsanov U, Mizrach A, Liberzon A, Akerman M, Zaberman G. 2000. Measurement of Avocado Softening at Various Tempertaure Using Ultrasound. *JPostharvest Biol Tech* 20, 279 – 286.
- Gaete-Garreton L, Vargas-Hernandez Y, Leon-Vidal C, Pettorino-Besnier A. 2005. A Novel Noninvasive Ultrasonic Method to Asses Avocado Ripening. *J Food Sci* 70, E187 – E 191.
- Garret RE, Fury RB. 1992. Velocity of Sonic Pulses In Apples. *ASAE 15(4) : 770-774. Transaction of the ASAE. ST Joseph. MI. USA.*
- Gooberman GL. 1968. Ultrasonics: Theory and Application. London (UK): The English Universities Press Ltd.
- Haryanto B. 2002. Pengembangan Model Empiris Untuk Penentuan Tingkat Ketuaan dan Kematangan Durian Unggul secara Non-destruktif dengan Gelombang Ultrasonik [disertasi]. Bogor (ID): SPS IPB.
- Juansah J, Budiastra IW, Suroso. 2006. Pengembangan Sistem Pengukuran Gelombang Ultrasonik untuk Penentuan Kualitas Buah Manggis (*Gracinia mangostana* L.). *Jurnal Keteknikan Pertanian* 20(2) : 167-178.
- Kim K, Lee S, Kim M, Cho B. 2009. Determination of Apple Firmness by Nondestructive Ultrasonic Measurement. *J Postharvest Biol Tech* 52 : 44 – 48.
- Lee HO, Luan H, Daut DG. 1992. Use of an Ultrasonic Technique to Evaluate the Rheological Properties of Cheese and Dough. *J Food Eng* 16: 127 – 150.
- Maspanger DR, Purwadaria HK, Budiastra IW, Trisnobudi A. 2005. Karakterisasi Mutu Koagulum Karet dengan Metode Ultrasonik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pascapanen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian* : 932 – 943.
- Mizrach A. 2000. Determination of Avocado and Mango Fruit Properties by Ultrasonic Technique. *Ultrasonics* 38 : 717 – 722.
- Mizrach A, Flitsanov U, Fuchs Y. 1997. An Ultrasonic Non Destructive Method For Measuring Maturity of Manggo Fruit. *Trans ASAE* 40(4):1107-1111.
- Mizrach A, Galili N, Rosenhouse G, Teitel DC. 1991. Acoustical, Mechanical, and Quality Parameters of Winter-Grown Melon Tissue. *Trans ASAE* 34, 2135-2138.
- Mizrach A, Galili N, Rosenhouse G. 1989. Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation. *Trans ASAE* 32: 2053 – 2058.
- Nasution DA. 2006. Pengembangan Sistem Evaluasi Buah Manggis Secara Non-destruktif dengan Gelombang Ultrasonik [disertasi]. Bogor (ID): SPS IPB.
- Peacock BC, Murray C, Kosiyachinda S, Kasittrakakul M, Tansiriyakul S. 1986. Influence of Harvest Maturity of Mangoes on Storage Potential and Ripe Fruit Quality. *ASEAN Food J* 2: 99 – 103.
- Rejo A, Suroso, Purwadaria HK, Budiastra IW, Nazaruddin YY. 2002. Model for Predicting and Classifying Durian Fruit Based on Defects using Neural Network. *Proceedings 15th Triennial World Congress, Barcelona, Spain.*
- Self GK, Ordozgoiti E, Povey MJW, Wainwright H. 1994. Ultrasonic Evaluation of Ripening Avocado Flesh. *J Postharvest Biol Tech.* 4, 111.
- Trisnobudi. 1998. Metode Ultrasonik untuk Memperkirakan Tingkat Kematangan Buah Tomat Jenis Cherry. *Prosiding Seminar Nasional Penerapan Teknologi Kendali dan Instrumentasi pada Pertanian. Jakarta (ID): BPPT.*
- Waluyo S, Purwadaria HK, Budiastra IW. 2006. Pengukuran Sifat-Sifat Fisik dan Akustik Buah Durian Selama Pematangan. *Buletin Agricultural Engineering BEARING. Vol 2 (1).*
- Warji. 2008. Pendugaan Kerusakan Buah Mangga Arumanis Akibat Lalat Buah dengan Menggunakan Gelombang Ultrasonik [tesis]. Bogor (ID) : SPS IPB.
- Widjanarko SB. 2012. Fisiologi dan Teknologi Pasca Panen. Malang (ID) : UB Press.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Prediksi Deteksi Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas Menggunakan Gelombang Ultrasonik

*Detection of Cilembu Sweet Potatos Damage Caused by *Cylas formicarius Fabricius* (Coleoptera: Brentidae) Using Ultrasonic Wave*

Adi Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor. Email: adisutrisno.stp@gmail.com

Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor. Email: kensutrisno@yahoo.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian.
Institut Pertanian Bogor: Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to examine wave characteristics of healthy and attacked cilembu sweet potatoes. The study was important to develop non destructive sortation system of cilembu sweet potato in order to detect damages that caused by *C. formicarius*. The research used 105 cilembu sweet potatoes which consisted of 60 healthy and 45 *C. formicarius* attacked cilembu sweet potatoes. Cilembu sweet potatoes was obtained from farmers in Cilembu village, Sumedang, West Java. The measurement was conducted by passing ultrasonic waves through cilembu sweet potatoes. Amplitude and time were gained from the measurement process. Those data were processed to determine ultrasonic wave velocity, attenuation, and moment zero power (Mo). The result showed that ultrasonic wave characteristics of *C. formicarius* attacked cilembu sweet potatoes were respectively; wave velocity of 264.30 m/s, attenuation of 16.85 dB/m, and Mo of 20.10. Meanwhile, ultrasonic wave characteristics of healthy sweet potatoes were respectively; wave velocity of 239.29 m/s ; attenuation of 19.57 dB/m and Mo of 19.14 . The research also verified that forecasting model of *C. formicarius* attack based on wave velocity, attenuation and Mo was not too accurate. The success rate were respectively; 77.14%, 74.29% and 54.29%.

Keywords: *C. formicarius*, cilembu sweet potatos, non destructif, ultasonic wave

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terkena serangan lanas. Kajian ini diperlukan untuk mengembangkan sistem pemutuan ubi jalar cilembu khususnya dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan hama *C. formicarius* secara non-destruktif. Pada penelitian ini digunakan sebanyak 105 buah sampel ubi jalar cilembu, yang terdiri dari 60 ubi jalar cilembu sehat dan 45 ubi jalar cilembu yang terserang *C. formicarius*. Ubi jalar cilembu diperoleh dari petani di Desa Cilembu Kabupaten Sumedang. Pengukuran dilakukan dengan melewatkkan gelombang ultrasonik melalui ubi jalar cilembu. Hasil yang diperoleh dari pengukuran berupa amplitudo dan waktu. Data yang diperoleh diolah sehingga diperoleh kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan moment zero power (Mo). Hasil penelitian menunjukkan karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu yang terserang *C. formicarius* secara berturut-turut rata-rata kecepatan, koefisien atenuasi dan Mo adalah 264.30 ms^{-1} , 16.85 dB m^{-1} dan 20.10 sedangkan ubi jalar cilembu sehat masing-masing adalah 239.29 ms^{-1} , 19.57 dB m^{-1} dan 19.10 . Model pendugaan serangan *C. formicarius* berdasarkan nilai kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan Mo hasilnya tidak terlalu akurat dengan persentase keberhasilan berturut-turut sebesar 77.14%, 74.29% dan 54.29%.

Kata kunci: *C. formicarius*, ubi jalar cilembu, non destruktif, gelombang ultrasonik,

Diterima: 04 April 2016; Disetujui: 25 April 2016

Latar Belakang

Produksi ubi jalar Indonesia secara nasional selama empat tahun terakhir terus mengalami penurunan yaitu dari 2.483 juta ton pada tahun 2012 turun menjadi 2.386 juta ton pada tahun 2013, turun lagi menjadi 2.382 juta ton pada tahun 2014 dan menjadi 2.261 juta ton pada tahun 2015 (BPS 2016). Salah satu varietas ubi jalar yang banyak dikembangkan, bernilai ekonomis dan menjadi komoditas ekspor adalah ubi jalar cilembu. Kendala utama dalam mempertahankan produktivitas dan kualitas ubi jalar cilembu adalah serangan kumbang *Cylas formicarius* (Coleoptera: Brentidae) atau lebih dikenal dengan nama hama lanas. Hama lanas menyerang pada saat proses budidaya maupun pada saat penyimpanan (Capinera 2003). Kehilangan hasil akibat hama lanas dalam budidaya ubi jalar di Indonesia diperkirakan mencapai 10-90% (Nonci 2005), sedangkan di dunia diperkirakan 60-90% (Mannion dan Jansson 1992).

Penanganan pascapanen ubi jalar cilembu telah banyak dilakukan, diantaranya adalah proses sortasi dan pemutuan. Pada proses sortasi dan pemutuan ubi jalar cilembu selain diamati bagian luar permukaannya, perlu pula diamati bagian dalam umbinya untuk memastikan bahwa umbi tersebut memiliki mutu yang baik dan terbebas dari hama penyakit. Sampai saat ini proses sortasi dan pemutuan ubi jalar cilembu masih dilakukan secara manual dan bersifat destruktif, sehingga oleh karena itu sangat diperlukan suatu metode yang dapat mengevaluasi mutu ubi jalar cilembu secara non destruktif.

Menurut Nasution (2006) metode gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mengetahui mutu produk pada bagian yang lebih dalam melebihi gelombang NIR (*Near Infra Red*), selain itu metode ini tidak memerlukan investasi yang mahal dan juga tidak memiliki efek samping yang merugikan dibanding teknik gelombang NRM (*Nuclear Magnetic Resonance*) atau sinar X. Gelombang ultrasonik merupakan salah satu metode yang cukup berhasil dalam menentukan mutu dalam buah (Budistastra *et al.* 1999). Gelombang ultrasonik telah dapat digunakan untuk memprediksi umur simpan dan

kematangan alpukat (Mizrach dan Flitsanov 1995), tingkat ketuaan durian (Haryanto 2002), pemutuan manggis (Juansah 2005), jeruk (Morrison dan Arbeyratne 2014) dan buah-buahan serta sayuran segar (Mizrach 2008). Selain itu gelombang ultrasonik juga digunakan untuk pengembangan model penetuan tingkat kematangan durian dengan *neural network* (Rejo *et al.* 2000) dan pendugaan kerusakan buah mangga arumanis akibat lalat buah (Warji *et al.* 2008). Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terkena serangan lanas. Kajian ini diperlukan untuk mengembangkan sistem pemutuan ubi jalar cilembu dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas secara non-destruktif.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian (TPPHP), Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor pada bulan Februari - Juni 2015.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat pengukur gelombang ultrasonik. Rangkaian tersebut meliputi tranduser pemancar dan tranduser penerima, dudukan tranduser yang dilengkapi pengukur ketebalan sample, oscilloscope digital, ultrasonik transmpter dan personal komputer. Tranduser berbentuk tabung dengan ujung berbentuk lancip dan frekuensi yang dipancarkan besarnya 50 kHz.

Bahan yang digunakan adalah 105 buah ubi jalar cilembu jenis Rancing (terdiri dari 60 ubi sehat dan 45 ubi terserang lanas) dengan umur panen 5-6 bulan, umur simpan tiga hari setelah panen dan berat berkisar antara 200-250 gram. Didapat dari Desa Cilembu Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

Prosedur Percobaan

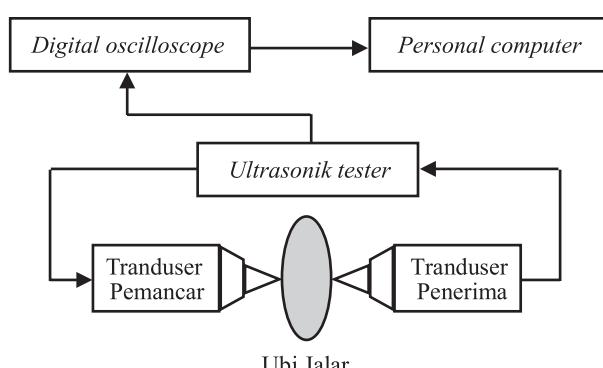
Penelitian ini terdiri atas empat tahapan, yaitu: persiapan bahan, pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik, pengecekan kerusakan umbi secara destruktif dan analisis data serta pemodelan.

1. Persiapan bahan

Sampel ubi jalar cilembu yang digunakan diambil langsung dari lahan dengan melakukan proses sortasi. Sebanyak 2/3 bagian digunakan untuk pembuatan model dan sisanya 1/3 bagian digunakan untuk validasi model.

2. Pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik

Pengukuran dilakukan pada bagian pangkal,



Gambar 1. Bagan pengukuran gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu

ujung dan tengah umbi. Proses pengukurannya dilakukan dengan cara meletakan ubi jalar cilembu di atas dudukan dengan posisi seperti terlihat pada Gambar 1.

3. Pengecekan Kerusakan Umbi Secara Destruktif

Pengukuran kerusakan umbi dilakukan secara manual dengan cara mengupas kulit umbi dan memotongnya secara desktruktif. Parameter yang diamati adalah ada tidaknya kerusakan akibat serangan lanas baik pada permukaan umbi maupun bagian dalam daging umbi.

4. Analisis Data dan Pemodelan

Hasil yang diperoleh dari pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik adalah berupa amplitudo dan waktu. Data tersebut kemudian diolah sehingga diperoleh nilai kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan *moment zero power*. Model pendugaan kerusakan ubi jalar cilembu akibat serangan lanas disusun berdasarkan hubungan karakteristik gelombang ultrasoniknya (kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan *moment zero power*) dengan data kerusakan ubi jalar cilembu.

Kecepatan Gelombang Ultrasonik

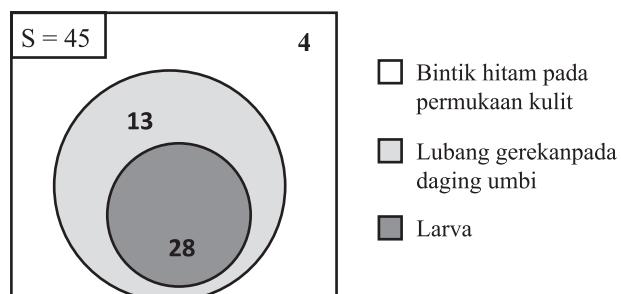
Kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Dimana v adalah kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi hasil pengukuran (m/s^{-1}), s adalah diameter buah atau jarak antara *transmitter* dan *receiver* (m) dan t adalah waktu tempuh gelombang ultrasonik (s).

Koefisien Atenuasi

Koefisien atenuasi (α) dihitung dengan mengonversi tegangan sinyal yang dikirim dan yang diterima setelah menempuh jarak tertentu menjadi grafik gelombang. Perhitungan koefisien atenuasi dilakukan dengan rumus persamaan 2.



Gambar 2. Kerusakan ubi jalar cilembu akibat serangan lanas.

$$\alpha = \frac{1}{x} \left[\ln \frac{A_0}{A_x} \right] \quad (2)$$

Dimana A_0 adalah amplitudo mula-mula (volt), sedangkan A_x , α dan x secara berturut-turut adalah amplitudo setelah menempuh jarak x (volt), koefisien atenuasi (dBm^{-1}) dan jarak yang ditempuh gelombang (m).

Moment Zero Power

Moment zero power (M_0) didefinisikan sebagai luasan di bawah *power spectral*. Hasil pengukuran gelombang ultrasonik berupa hubungan antara amplitudo dan waktu ditransformasikan dengan menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) menjadi hubungan antara *power spectral density* dengan frekuensi. Transformasi ini menggunakan program *Matlab*.

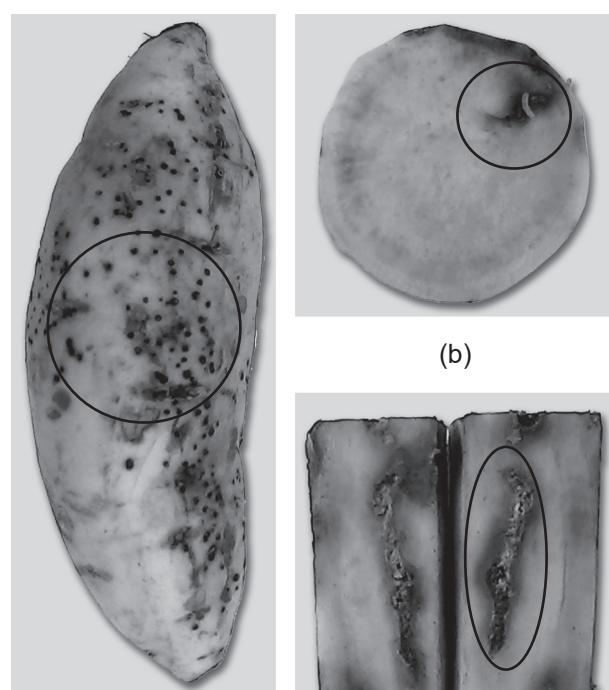
Pembuatan Model dan Validasi Model

Model pendugaan disusun berdasarkan hubungan karakteristik gelombang ultrasonik (kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi) dengan data kerusakan ubi jalar cilembu. Model pendugaan yang didapat kemudian divalidasi.

Hasil dan Pembahasan

Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa seluruh ubi jalar yang teridentifikasi lanas semuanya mengalami kerusakan dipermukaan kulitnya berupa bintik-bintik/lubang kecil berwarna hitam. Setelah



Gambar 3. Ubi jalar terkena serangan lanas.

dilakukan pengecekan yang lebih mendalam secara destruktif, ternyata pada 45 sampel yang mengalami kerusakan berupa bintik-bintik hitam pada 41 sampel diantaranya ditemukan lubang gerekan pada daging umbinya. Dari 41 sampel yang terdapat lubang gerekan, pada 28 sampel diantaranya ditemukan larva *C. formicarius*. Penampakan ubi jalar cilembu yang terserang lanas dapat dilihat pada Gambar 3.

Kerusakan ubi jalar cilembu berawal ketika imago meletakkan telur pada permukaan kulit umbi. Setelah telur menetas, larva akan menyerang umbi dengan membentuk lubang gerekan sedalam 1 sampai 2 cm yang disertai pembusukan, sehingga daging umbi yang berada disekitar lubang gerekan menjadi lebih lunak, berwarna hijau tua kehitaman, memiliki rasa yang pahit dan berbau khas.

Pendugaan Serangan Lanas Berdasarkan Kecepatan Gelombang

Nilai kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas terdapat perbedaan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat rata-rata 239.28 ms^{-1} , sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas rata-rata 264.30 ms^{-1} .

Menurut Self et al. (1994) kecepatan gelombang ultrasonik pada produk pertanian dipengaruhi oleh susunan sel internal serta modulus elastik jaringannya. Adanya udara yang menempati ruang pada lubang gerekan, akan mempengaruhi rambatan gelombang ultrasonik dalam hal ini yaitu pembiasan gelombang yang melalui ubi jalar cilembu. Pembiasan gelombang ini terjadi karena gelombang melalui tiga medium yang berbeda yaitu udara (lubang gerekan), medium padatan lunak berair (larva dan daging umbi disekitar lubang gerekan yang mengalami pembusukan) dan medium padatan keras (daging umbi sehat). Kecepatan gelombang ultrasonik pada udara adalah 340 ms^{-1} . Sedangkan kecepatan gelombang ultrasonik dalam air adalah 1480 ms^{-1} (Gooberman 1968). Oleh karena itu, pada ubi

jalar cilembu yang terserang lanas akan memiliki kecepatan gelombang ultrasonik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang sehat. Hal ini juga sama dengan hasil penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya pada buah manggis (Suroso et al. 2007) dan mangga (Warji 2008) dimana rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik pada buah yang rusak dan terserang hama penyakit lebih tinggi dibandingkan yang sehat. Selain itu Sujana (2007) menyatakan semakin tinggi kandungan udara yang ada antara butiran beras maka semakin tinggi kecepatan gelombang yang melaluinya.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Kecepatan Gelombang

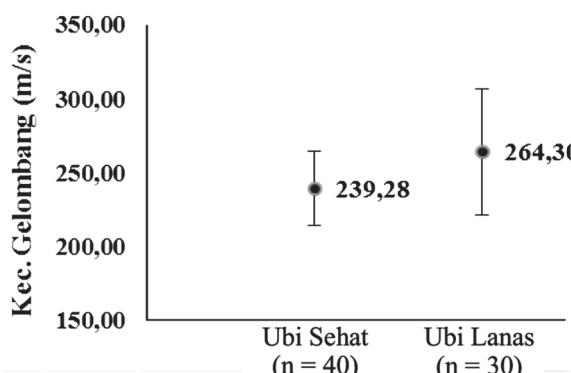
Nilai tengah antara rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik ubi jalar cilembu sehat dan rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik ubi jalar cilembu yang terserang lanas dipilih sebagai nilai batas kerusakan yaitu ditentukan sebesar 251.79 ms^{-1} . Secara matematika range nilai batas kerusakan akibat serangan lanas pada ubi jalar cilembu berdasarkan kecepatan gelombangnya dinyatakan pada Persamaan 3 dan 4.

$$V \geq 251.79 = l \quad (3)$$

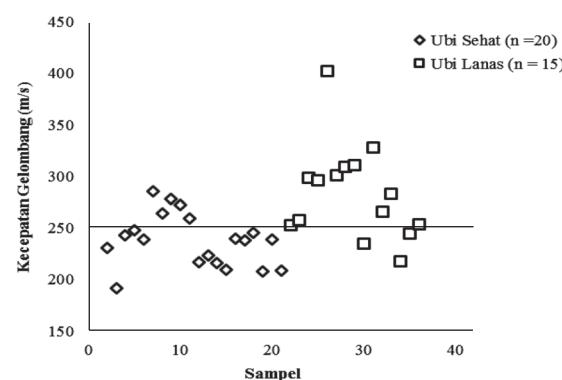
$$V < 251.79 = s \quad (4)$$

Dimana V adalah nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik dengan satuan ms^{-1} , l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

Pada Gambar 5 disajikan grafik validasi dan nilai batas kecepatan gelombang antara ubi jalar cilembu sehat dan terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang sehat berada di bawah garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di atas garis batas. Tingkat keberhasilan pemilahan pada nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik 251.79 ms^{-1} , ubi jalar cilembu dapat terpisah tidak begitu akurat dengan persentase keberhasilan sekitar 77.14%. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpisah menjadi ubi lanas



Gambar 4. Rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.



Gambar 5. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan kecepatan gelombang.

Tabel 1. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan kecepatan gelombang.

Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	12	3	15	20.00
Ubi jalar cilembu sehat	5	15	20	25.00

Tabel 2. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan koefisien atenuasi.

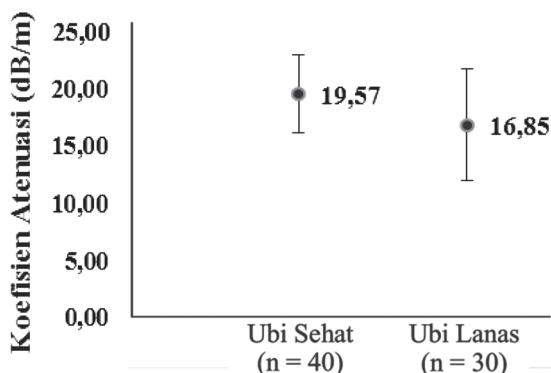
Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	11	4	15	26.67
Ubi jalar cilembu sehat	5	15	20	25.00

sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpisah kedalam ubi sehat sebesar 20.00%.

Pendugaan Serangan Lanas Berdasarkan Nilai Koefisien Atenuasi

Nilai koefisien atenuasi pada ubi jalar cilembu yang sehat dan yang terserang lanas memiliki perbedaan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Koefisien atenuasi ubi jalar cilembu sehat rata-rata 19.57 dB m^{-1} , sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas rata-rata koefisien atenuasinya 16.85 dB m^{-1} .

Ubi jalar cilembu yang terserang lanas memiliki nilai rata-rata koefisien atenuasi yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas mengalami perubahan medium, terbentuknya rongga udara membuat medium udara menjadi lebih besar, sedangkan pembusukan akan membuat tekstur daging umbi menjadi lebih lunak. Besarnya energi yang hilang atau diserap tergantung pada jenis mediumnya, pada medium lunak dan berongga besarnya energi gelombang ultrasonik yang diserap lebih kecil dibandingkan dengan medium yang keras atau padat. Oleh karena itu, pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas menyerap lebih sedikit energi gelombang ultrasonik sehingga nilai koefisien atenuasi rata-ratanya kecil.



Gambar 6. Rata-rata nilai koefisien atenuasi pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.

Hasil penelitian ini juga memiliki kesesuaian dengan (Warji 2008) yang menyatakan bahwa nilai koefisien atenuasi pada mangga yang rusak terserang lalat buah lebih rendah dibandingkan dengan mangga yang sehat.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Koefisien Atenuasi

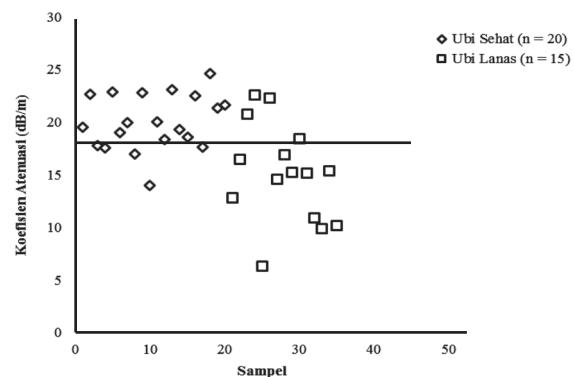
Nilai tengah antara koefisien atenuasi rata-rata ubi jalar cilembu sehat dan nilai koefisien atenuasi rata-rata ubi jalar cilembu yang terserang lanas yaitu 18.21 dB m^{-1} , dipilih sebagai nilai batas kerusakan. Secara matematika range nilai batas kerusakan akibat serangan lanas pada ubi jalar cilembu berdasarkan nilai koefisien atenuasinya dinyatakan pada Persamaan 5 dan 6.

$$\alpha \geq 18.21 = s \quad (5)$$

$$\alpha < 18.21 = l \quad (6)$$

Dimana α adalah nilai batas koefisien atenuasi dengan satuan dB m^{-1} , l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

Pada Gambar 7 disajikan grafik validasi dan nilai batas koefisien atenuasi antara ubi jalar cilembu



Gambar 7. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan koefisien atenuasi.

Tabel 3. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan Mo.

Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	11	3	15	20.00
Ubi jalar cilembu sehat	13	7	20	65.00

sehat dan yang terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang sehat berada di atas garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di bawah garis batas. Pada nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik 18.21 dB m^{-1} , ubi jalar cilembu terpilah tidak terlalu akurat dengan persentasi keberhasilan sebesar 74.29%. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpilah kedalam ubi lanas sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpilah kedalam ubi sehat sebesar 26.67%.

Pendugaan Serangan lanas Berdasarkan Nilai Moment Zero Power

Nilai *moment zero power* (Mo) pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas terdapat perbedaan, namun nilainya banyak yang beririsan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Nilai Mo rata-rata ubi jalar cilembu sehat adalah 19.14 sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas adalah 21.10.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Moment Zero Power

Nilai tengah antara Mo rata-rata ubi jalar cilembu sehat dan nilai Mo rata-rata ubi jalar cilembu yang terserang lanas dipilih sebagai nilai batas kerusakan yang nilainya ditentukan sebesar 20.12. Secara matematika range nilai batas nilai Mo dinyatakan pada Persamaan 7 dan 8.

$$Mo \geq 20.12 = l \quad (7)$$

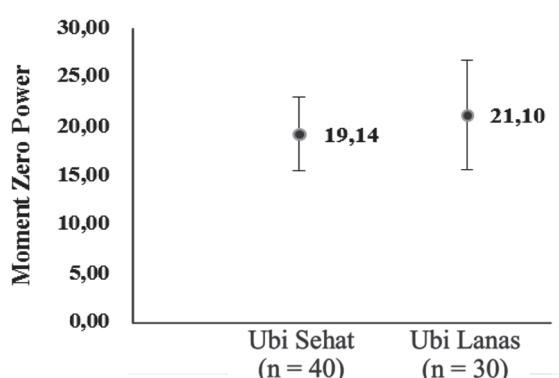
$$Mo < 20.12 = s \quad (8)$$

Dimana Mo adalah nilai batas *moment zero power*, l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

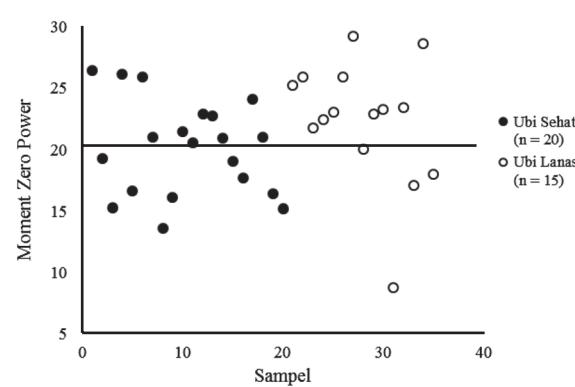
Pada Gambar 9 disajikan grafik validasi dan nilai batas Mo antara ubi sehat dan yang terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang tidak terserang lanas berada di bawah garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di atas garis batas. Tingkat keberhasilan pemilahan pada nilai batas Mo 20.12 ubi jalar cilembu terpilah kurang akurat dengan persentasi keberhasilan hanya sebesar 54.29%. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpilah kedalam ubi lanas sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpilah kedalam ubi sehat sebesar 20.00%.

Penggunaan Gelombang Ultrasonik untuk Mendekripsi Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas

Model pendugaan berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik (kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi) dapat digunakan untuk proses sortasi (memilah antara ubi jalar cilembu yang terserang lanas dan yang sehat), walaupun hasilnya belum terlalu akurat. Hal ini diduga karena gelombang ultrasonik sebagai metoda nondestruktif bekerja pada level makro (kekerasan, density), sehingga deteksi penyakit cukup sulit dilakukan dengan baik. Selain itu pada penelitian ini pengukuran karakteristik gelombang ultrasoniknya dilakukan pada bagian ujung, tengah dan pangkal umbi, terlepas dari apakah pada bagian tersebut terjadi serangan lanas ataupun tidak.



Gambar 8. Rata-rata nilai Mo pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.



Gambar 9. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan Mo.

Dalam aplikasinya penggunaan gelombang ultrasonik dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas dapat dikombinasikan dengan metode non destruktif lainnya seperti *image processing* dan *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). Metode gelombang ultrasonik sangat potensial untuk terus dikembangkan sampai tercipta alat atau mesin sortasi berdasarkan metode gelombang ultrasonik.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu terserang lanas secara berturut-turut rata-rata kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan Mo adalah 264.30 ms^{-1} , 16.85 dB m^{-1} dan 21.10 sedangkan ubi jalar cilembu sehat masing-masing 239.29 ms^{-1} , 19.57 dB m^{-1} dan 19.14 .
2. Model pendugaan berdasarkan kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi yang dibangun dapat digunakan untuk memilah antara ubi jalar cilembu terserang lanas dan yang sehat, walaupun belum begitu akurat, dengan nilai persentase keberhasilan berturut-turut sebesar 77.14 % dan 74.29 %.

Saran

Disarankan dalam penelitian yang sama pengukuran gelombang ultrasoniknya dilakukan pada titik/bagian umbi yang teridentifikasi terkena serangan lanas. Terkait dengan hal tersebut penggunaan gelombang ultrasonik dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas dapat dikombinasikan dengan metode non destruktif lainnya seperti *image processing*.

Daftar Pustaka

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Ubi Jalar Menurut Provinsi 1993-2015. Availabel at:www.bps.go.id/linktabeldinamis/view/id/883. Diakses 08 Maret 2015.
- Budiastra IW, Tresnobudi A, Purwadaria HK. 1999. Ultrasonic System for Automation of Internal Quality Evaluation of Durian. Proceedings IFAC'99. Beijing. 15-19 Juli 1999.
- Capinera JL. 2003. Sweetpotato Weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius). Gainesvile : IFAS University of Florida.
- Gooberman GL. 1968. Ultrasonics Theory and Application. The English Universities Press Ltd, London.
- Haryanto B. 2002. Pengembangan Model Empiris Untuk Penentuan Tingkat Ketuaan dan Kematangan Durian Unggul Secara Non destruktif Dengan Gelombang Ultrasonik. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Juansah J. 2005. Rancang Bangun sistem Pengukuran Gelombang Ultrasonik untuk Pemutuan Mutu Manggis . [Tesis]. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Mannion CM, Jansson RK. 1992. Comparison of ten entomopathogenic nematodes for control of sweetpotato weevil (Coleoptera: Apionidae). J. Econ Entomol85: 1642-1650.
- Mizrach A, Flitsanov U. 1995. Ultrasonic Device for Avocado Shelflife Predicting and Maturity Detection. Proceedings of The World Avocado Congress III (1995) 300 - 306.
- Mizrach A. 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes Postharvest Biology and Technology. Volume 48, Issue 3, Pages 315-330. Avaliable at : <http://www.sciencedirect.com/science>.
- Morrison DS, Abeyratne UR. 2014. Ultrasonic technique for non-destructive quality evaluation of oranges. Journal of Food Engineering 141 (2014) 107–112.
- Nasution D. 2006. Pengembangan Sistem Evaluasi Buah Manggis Secara Non Destruktif dengan Gelombang Ultrasonik. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nonci N. 2005. Bioekologi dan pengendalian kumbang *Cylas formicarius*Fabricus (Coleoptera: Curculionidae). Jurnal Litbang Pertanian 24: 63-69.
- Rejo A, Suroso, Budiastra IW, Purwadaria HK. 2000. Pengembangan model untuk penentuan tingkat kematangan buah durian dengan neural network. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian, Bogor 11-12 Juli 2000. Vol (2) : 183-188.
- Self GK, Ordozgoiti E, Povey MJW, Wainwright H. 1994. Ultrasonic evaluation of ripening avocado flesh. Postharvest Biology and Technology 4 111-116.
- Sujana A. 2007. Kajian Karakteristik Gelombang Ultrasonik pada Beras (*Oryza sativa L.*). [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Suroso, Budiastra IW, Trisnobudi A. 2007. Pengembangan Mesin Sortasi Manggis Berbasis Teknik Pemeriksaan Secara Nondestruktif. Seminar Nasional Ketahanan Pangan, PERTETA. Bandar Lampung.
- Warji. 2008. Pendugaan Kerusakan Mangga Arumanis Akibat Lalat Buah Menggunakan Ultrasonik. Prosiding Seminar Nasional Keteknikan Pertanian 2008. Yogyakarta. 18-19 November 2008.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Penggunaan Vis-NIR untuk Deteksi Serangan Huanglongbing pada Daun Jeruk

The use of Vis-NIR for Detecting Huanglongbing Disease on Leaves of Citrus Orchard

Raden Arief Firmansyah, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan. Email: firmansyah.rief@gmail.com
Kudang Boro Seminar, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: kseminar@apps.ipb.ac.id
Widodo, Departemen Proksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor. Email: taniutun@gmail.com

Abstract

Huanglongbing is citrus disease which is a major threat for citrus orchard. Neither disease has a cure nor an efficient means of control. Early detection is important to prevent development and spread of the disease. The most effective detection used DNA test by PCR. However, identification used DNA test required sample preparation, time-consuming and expensive. The objective of this study was to build detection of healthy and HLB-infected leaves software. The leaf samples collected from citrus orchard in Situgede village, Bogor. Sample leaves divided into three group, Huanglongbing-infected leaves, healthy leaves and asymptomatic leaves. All samples was tested by PCR for verification visual symptoms of huanglongbing. Vis-NIR spectrometer with a spectra range of 339 to 1022nm was used to acquisition HLB-infected and healthy leaves spectral data. MSC, SNV, baseline correction, first and second derivative were used for pretreatment method. Artificial neural network was used to build classification model. X-loading plot from principal component analysis was used to obtain sensitive wavelength. Classification for healthy and HLB-infected class used sensitive wavelength baseline correction-based had the best performance and high accuracy (100%). The classification model was embedded in software PC-desktop based which was used visual basic programming language. Asymptomatic leaves spectral from HLB-positive tree were used to testing classification model. Model classified data into HLB-infected group, which was consistent with PCR test. The result from this study indicated that developed software could be used to HLB detection in early stage of disease.

Keywords: huanglongbing, visible-near infrared spectroscopy, artificial neural network, citrus

Abstrak

Huanglongbing adalah penyakit jeruk yang merupakan ancaman utama bagi budidaya jeruk. Tidak ada pengendalian yang tepat untuk Huanglongbing. Deteksi dini penting untuk mencegah penyebaran dan pengembangan penyakit ini. Deteksi dini yang paling efektif menggunakan tes DNA dengan PCR. Namun, identifikasi menggunakan tes DNA memerlukan persiapan sampel, memakan waktu dan mahal. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun perangkat lunak deteksi daun sehat dan terinfeksi HLB. Sampel daun dikumpulkan dari kebun jeruk di Desa Situ Gede, Bogor. Sampel daun dibagi menjadi tiga kelompok, daun yang terinfeksi HLB, daun sehat dan daun belum bergejala. Semua sampel telah diuji dengan PCR untuk verifikasi gejala visual Huanglongbing. Spektrometer Vis-NIR dengan rentang spektrum dari 339-1022nm digunakan untuk mengumpulkan data spektrum daun terinfeksi HLB dan sehat. MSC, SVN, baseline correction, turunan pertama dan kedua dari spektra digunakan sebagai metode praperlakuan. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk membangun model klasifikasi Plot X-loading dari analisis komponen utama digunakan untuk mendapatkan panjang gelombang sensitif. Klasifikasi terhadap kategori daun sehat dan sakit menggunakan panjang gelombang sensitif berbasis *baseline correction* memiliki nilai akurasi 100 % dan kinerja terbaik. Model klasifikasi yang ditanam pada perangkat lunak berbasis komputer desktop menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Data spektrum daun belum bergejala dari pohon positif terinfeksi HLB digunakan untuk menguji model klasifikasi. Model mengklasifikasikan data tersebut ke kelompok terinfeksi HLB, yang konsisten dengan hasil pengujian PCR yang juga mengelompokkan pada daun terinfeksi HLB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat lunak dapat digunakan untuk deteksi HLB pada tahap awal perkembangan penyakit.

Keywords: huanglongbing, visible-near infrared spectroscopy, artificial neural network, citrus

Diterima: 30 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Huanglongbing atau *citrus greening* termasuk penyakit berbahaya bagi budidaya jeruk. Di Indonesia, penyakit tersebut telah membunuh 2000ha kebun jeruk dalam jangka waktu 6 bulan dengan nilai kerugian Rp 120 miliar/tahun (Nurhadi 2015). Penyakit ini memiliki gejala yang mirip penyakit kekurangan zat hara sehingga sulit dibedakan. Karakteristik gejala penyakit ini adalah pucuk daun menguning dan *blotchy mottle* tetapi gejala tersebut terkadang bias dengan gejala lain yang muncul (Bove et al. 2006). Selain itu, terdapat akumulasi pati pada jaringan parenkima daun yang terinfeksi HLB (Schneider 1968). Di Asia, penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Candidatus liberactus asiaticum* (Bove et al. 2006) yang penyebarannya dibantu oleh serangga *Diaphorina citri* (Taufik et al. 2010). Metode PCR (*Polymer chain reaction*) adalah metode berbasis DNA yang efektif untuk deteksi HLB (Iftikhar et al. 2016). Walaupun metode tersebut memberikan hasil akurat, biaya mahal dan proses pengujian yang butuh waktu menjadi kelemahan metode tersebut (Mishra et al. 2012; Pourreza et al. 2014). Oleh karena itu, dikembangkan metode alternatif yang bersifat cepat dan murah tetapi efektif mendeteksi HLB, antara lain menggunakan spektroskopi *fluorescence* (Sankaran and Ehsani 2012), spektroskopi inframerah (Cardinali et al. 2012), spektroskopi Vis-NIR (Sankaran et al. 2011; Sankaran and Ehsani 2011; Mishra et al. 2012), spektroskopi MIR (Sankaran et al. 2010), Pencitraan dengan Vis-NIR dan termal (Sankaran et al. 2013), pencitraan secara mikroskop (Kim et al. 2009) dan pencitraan dengan filter polarisasi (Pourreza et al. 2014). Di Indonesia, teknologi deteksi HLB selain PCR menggunakan LAMP (*Loop-mediated isothermal amplification*) yang dikembangkan oleh Balitjestro (Badan Penelitian Jeruk dan Buah Subtropika).

Pengendalian terhadap penyakit ini belum efektif, sehingga deteksi dini terhadap gejala penyakit menjadi krusial. Deteksi dini terhadap HLB telah dilakukan menggunakan spektroskopi Vis-NIR (Sankaran et al. 2011) dan spektroskopi inframerah (Cardinali et al. 2012) tetapi hasil akurasi klasifikasi antara daun belum bergejala dan sehat berkisar 80% sehingga perlu untuk ditingkatkan agar sistem deteksi dini penyakit HLB

menjadi lebih akurat. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun aplikasi deteksi daun terinfeksi HLB menggunakan panjang gelombang terpilih dari pengukuran spektroskopi Vis-NIR. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi metode alternatif deteksi HLB yang lebih cepat, murah dan akurat.

Bahan dan Metode

Persiapan Sampel

Sampel daun diperoleh dari kebun jeruk kip (*Citrus nobilis*) di Situgede, Bogor. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juni-September 2015. Daun yang digunakan untuk satu set penelitian adalah daun segar yang dipetik pada pagi hari (06.30-08.00 WIB). Tahap awal persiapan sampel diawali survey lapang untuk menentukan pohon jeruk yang memiliki gejala visual HLB dari total 236 pohon. Survey lapang didasarkan pada gejala visual daun berupa *blotchy mottle*, pucuk daun kuning dan *vein corking*. Selanjutnya, pohon yang memiliki gejala sesuai kriteria tersebut diuji kandungan pati (Etxeberria et al. 2007). Daun yang bergejala HLB, tepi daun berwarna hitam sedangkan daun yang tidak bergejala HLB tepi daun tidak berwarna. Hasil uji akumulasi pati digunakan untuk menentukan sampel pohon yang perlu diuji dengan metode PCR. Total 15 sampel daun (3-4 helai daun per sampel) diuji dengan metode PCR, sampel tersebut terdiri atas tiga kategori, yaitu daun tidak bergejala HLB, daun dengan gejala HLB dan daun belum bergejala dari pohon yang menunjukkan gejala HLB. Penentuan kategori daun belum bergejala HLB bertujuan untuk menganalisis potensi pendektsian awal penyakit HLB sebelum gejala morfologi (fisik) muncul karena gejala awal HLB menunjukkan peningkatan kandungan pati, baik pada daun yang menunjukkan gejala fisik atau tidak (Fan et al. 2010). Setiap kategori terdiri atas lima sampel. Hasil uji dengan PCR diperoleh 4 dari 5 sampel daun sehat, 3 dari 5 sampel daun sakit, dan 1 dari 5 sampel daun belum bergejala, positif terinfeksi HLB. Gambar 1 adalah ilustrasi untuk menjelaskan istilah yang digunakan untuk pengkategorian sampel. Salah satu sampel daun sehat terserang penyakit Diplodia (*Botryodiplodia theobromae* Pat.). selama proses pengujian PCR, sehingga tidak diikutsertakan pada pengukuran spektrum Vis-NIR. Total 7 sampel daun yang dilakukan pengukuran spektrum Vis-NIR. Setiap sampel daun untuk semua pengujian dan pengukuran spektrum disimpan dalam kantong plastik berklip yang di dalamnya terdapat jel silika dan diberi label. Seluruh tahap (pengujian kandungan pati dan PCR serta pengukuran spektrum) dilakukan pada hari yang sama saat pengambilan sampel.

Pengukuran Spektrum

Total 72 helai daun yang diukur spektrum Vis-NIR,

Gambar 1. Ilustrasi istilah untuk jenis sampel yang digunakan.

yang terdiri atas 32 helai daun sehat, 32 helai daun sakit dan 8 helai daun belum bergejala yang positif HLB berdasarkan uji PCR. Tahap awal sebelum dilakukan pengukuran spektrum, sampel daun dikeringangkan dan dibersihkan menggunakan tisu kering. Spektrum daun diukur menggunakan spektrometer Vis-NIR (USB2000-VIS-NIR, Ocean Optics, USA) pada rentang panjang gelombang 339-1022nm (resolusi rata-rata 0.33nm). Cahaya bersumber dari lampu tungsten halogen (LS-1, Ocean Optics, USA) yang dilewatkan ke daun dengan metode transmitan, selanjutnya transmisi cahaya tersebut diterima oleh kabel fiber optik dan diteruskan ke spektrometer. Akuisisi, pemprosesan dan kalibrasi spektrum menggunakan perangkat lunak Spectra Suite (Ocean Optics, USA). Data yang digunakan adalah data absorban spektrum setiap pengukuran. Setiap lima kali pengukuran spektrum dilakukan kalibrasi ulang untuk meminimalkan gangguan (*noise*). Kalibrasi ulang dilakukan dengan pengukuran data intensitas transmisi referensi, yang dalam hal ini intensitas transmisi gelas preparat dan data intensitas gelap.

Analisis Data

Data spektrum hasil pengukuran spektroskop Vis-NIR terdiri atas informasi spektrum dan gangguan (*noise*) sehingga perlu dilakukan praperlakuan data agar terbentuk model kalibrasi yang stabil dan akurat (Cen dan He 2007). Metode praperlakuan yang digunakan antara lain, *mean scattering correction* (MSC), *standart normal variate* (SNV), *Baseline Correction*, turunan pertama dan kedua spektrum. Jenis praperlakuan berbeda tersebut digunakan untuk mendapatkan metode praperlakuan terbaik untuk identifikasi daun sakit HLB.

Seluruh data yang sudah diberikan jenis praperlakuan berbeda dianalisis menggunakan analisis komponen utama (AKU) untuk mengurangi dimensi data dan memvisualkan pengelompokan data. Hasil AKU didapatkan nilai skor komponen utama, nilai loading komponen utama dan *explained variance*. Pemberian praperlakuan dan analisis komponen utama terhadap spektrum menggunakan perangkat lunak Unscrambler 10.3 (Camo ASA, Oslo, Norway). Nilai loading

komponen utama digunakan untuk mendapatkan nilai panjang gelombang sensitif. *Explained variance* digunakan untuk menjelaskan seberapa banyak komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan keragaman data. Pengklasifikasian menggunakan pendekatan klasifikasi terawasi (*supervised classification*) dengan metode jaringan saraf tiruan (JST). Pengklasifikasian dengan JST menggunakan *neural network toolbox* yang tersedia pada MATLAB® 8.3 (The MathWorks Inc., Natick, MA). Data untuk pembangunan model klasifikasi dibagi tiga bagian, data pelatihan, validasi dan pengujian dengan perbandingan 70:15:15, yang pembagiannya dilakukan acak. Jumlah neuron yang digunakan pada lapisan tersembunyi adalah 10 neuron. Pelatihan model JST menggunakan algoritma *scaled conjugate gradient backpropagation* (trainscg). Fungsi transfer pada lapisan tersembunyi menggunakan fungsi *tansig*. Fungsi transfer pada lapisan output adalah fungsi *softmax*. Model klasifikasi dengan JST ditentukan berdasarkan parameter *cross entropy* (CE) dan akurasi klasifikasi. *Cross entropy* (CE) adalah fungsi *error* JST yang menjadi standar pilihan untuk penyelesaian masalah dalam bidang klasifikasi (Granitto *et al.* 2002). Penggunaan CE sebagai fungsi *error* dapat mempercepat konvergensi (Yuan *et al.* 2003) dan memberikan kinerja JST yang baik dibandingkan dengan fungsi kinerja *mean square error* (MSE) (Nasr *et al.* 2002). Oleh karena itu, semakin kecil nilai CE semakin baik kinerja model JST tersebut dan semakin tinggi nilai akurasi menunjukkan bahwa model JST memiliki kinerja yang baik dalam proses klasifikasi. Metode JST digunakan untuk dua kali proses klasifikasi, pertama untuk mendapatkan jenis praperlakuan yang tepat dengan input nilai skor komponen utama yang dihasilkan dari AKU. Kedua, JST digunakan untuk mendapatkan set panjang gelombang sensitif terbaik dengan memperhatikan nilai kinerja JST

Pembangunan Aplikasi Deteksi Daun Terinfeksi HLB

Model klasifikasi dari panjang gelombang sensitif terbaik ditanamkan pada aplikasi berbasis komputer desktop yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman *visual basic*. Model klasifikasi



Gambar 2. Posisi pengukuran spektrum daun (kiri) dan spectrometer Vis-NIR (kanan).

Tabel 1. hasil analisis komponen utama dan klasifikasi menggunakan JST.

Jenis praperlakuan	kinerja (<i>cross entropy</i>)	Akurasi (%)	Jumlah KU
No pretreatment	4.96×10^{-7}	100	3
MSC	1.12×10^{-6}	100	3
Turunan spektrum pertama	0.0796	98.4	7
Turunan spektrum kedua	0.0302	98.4	10
Baseline correction	1.10×10^{-6}	100	3
SNV	9.30×10^{-7}	100	3

yang ditanamkan adalah nilai bobot lapisan input, bias lapisan input, bobot lapisan output dan bias lapisan ouput, yang diperoleh dari metode JST menggunakan input panjang gelombang sensitif terbaik. Pembangunan aplikasi harus memenuhi kriteria dapat membaca format *file txt*, yang merupakan hasil keluaran dari spectrometer Vis-NIR

Hasil dan Pembahasan

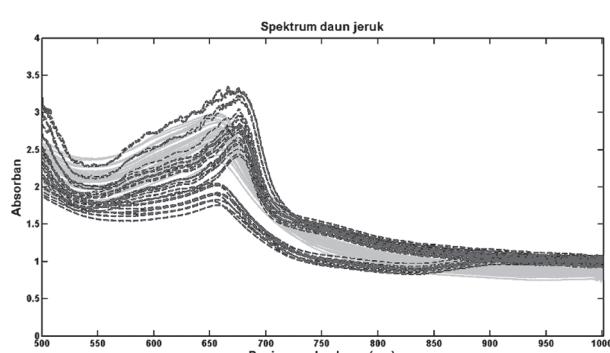
Karakteristik Spektrum Daun Jeruk

Hasil pengukuran spektrum daun (64 sampel) tersaji pada Gambar 3. Rentang panjang gelombang 500-1000nm dipilih karena memiliki gangguan yang minimal dibandingkan dengan rentang panjang gelombang 399-499nm dan 1001-1022nm. Spektrum daun sehat memiliki puncak pada panjang gelombang 660nm sedangkan spektrum daun sakit memiliki dua puncak, di panjang gelombang 660nm dan 675nm. Puncak spektrum tersebut menyatakan bahwa daun menyerap lebih banyak gelombang cahaya pada panjang gelombang tersebut. Absorban pada beberapa sampel daun sakit memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan absorban daun sehat, tetapi beberapa spektrum daun sakit memiliki nilai absorban yang berhimpit dengan absorban daun sehat. Nilai absorban daun sakit di daerah panjang gelombang cahaya tampak (500-700nm) lebih rendah dibandingkan dengan daun sehat akibat perubahan pigmen yang terjadi di daun. Penyerapan cahaya pada daerah panjang gelombang tersebut, erat kaitannya dengan konsentrasi pigmen yang terdapat di daun, perubahan pigmen sendiri berkaitan erat

dengan status fisiologi tanaman (Sims dan Gamon 2002). Pada daerah panjang gelombang NIR (701-1000nm), spektrum daun sehat lebih rendah nilai absorbannya dibandingkan dengan daun sakit. Hal tersebut konsisten dengan hasil penelitian lain yang juga menggunakan teknik spektroskopi Vis-NIR (Poole 2008; Mishra *et al.* 2012). Perbedaan nilai absorban di daerah panjang gelombang NIR menunjukkan adanya perubahan kandungan kimia di daun karena rentang daerah panjang gelombang tersebut berkaitan dengan struktur internal dan bahan kering pada daun (Ceccato *et al.* 2001). Panjang gelombang NIR (701-1000nm) memiliki nilai absorban yang rendah karena hamburan yang terjadi antara udara dan sel pada jaringan daun (West *et al.* 2003) sehingga sulit untuk menentukan jenis kandungan kimia yang berubah pada daun terinfeksi HLB.

Analisis Data Spektrum Menggunakan Analisis Komponen Utama

Tahap awal, data spektrum yang tersaji pada Gambar 3 perlu dilakukan praperlakuan untuk mengurangi gangguan yang masih terdapat pada spektrum daun. Nilai akurasi klasifikasi tersaji pada Tabel 1 menunjukkan jenis praperlakuan dengan MSC, SNV dan *baseline correction* tepat mengklasifikasi spektrum daun sakit dan sehat. Walaupun nilai kinerja dan akurasi klasifikasi data spektrum tanpa praperlakuan sama baiknya dengan tiga perlakuan tadi, pemberian praperlakuan terhadap data spektrum bertujuan untuk meminimalkan terjadinya gangguan, memperbaiki variasi *baseline*, meningkatkan resolusi spektra dan menormalisasi data (Ozaki *et al.* 2007) karena gangguan dapat bersumber dari beberapa faktor yaitu, interaksi antar senyawa, bauran cahaya, proses pengukuran spektrum yang kurang baik dan distorsi spektrum akibat peranti keras spectrometer (Heise dan Winzen 2002). Plot skor komponen utama (Gambar 4) menunjukkan bahwa dengan pemberian praperlakuan (MSC, SNV, dan *baseline correction*), pengelompokan data lebih baik dibandingkan dengan tanpa praperlakuan. Pada plot skor tersebut (Gambar 4) sampel terbagi menjadi tiga bagian dengan batas antar kelompok jelas. Hasil pengelompokan berdasarkan plot skor komponen utama tersebut tidak dapat dinyatakan secara kuantitatif (Li dan He 2008). Oleh karena



Gambar 3. spektrum daun jeruk sehat dan sakit.

Tabel 2. Panjang gelombang sensitif setiap metode praperlakuan.

Metode Praperlakuan	Panjang gelombang (nm)						
MSC	500.52	527.62	527.62	631.91	680.8	691.21	
SNV	500.52	527.62	631.91	680.8	690.87	731.79	
Baseline correction	500.52	538.61	658.16	680.8	725.84	997.25	

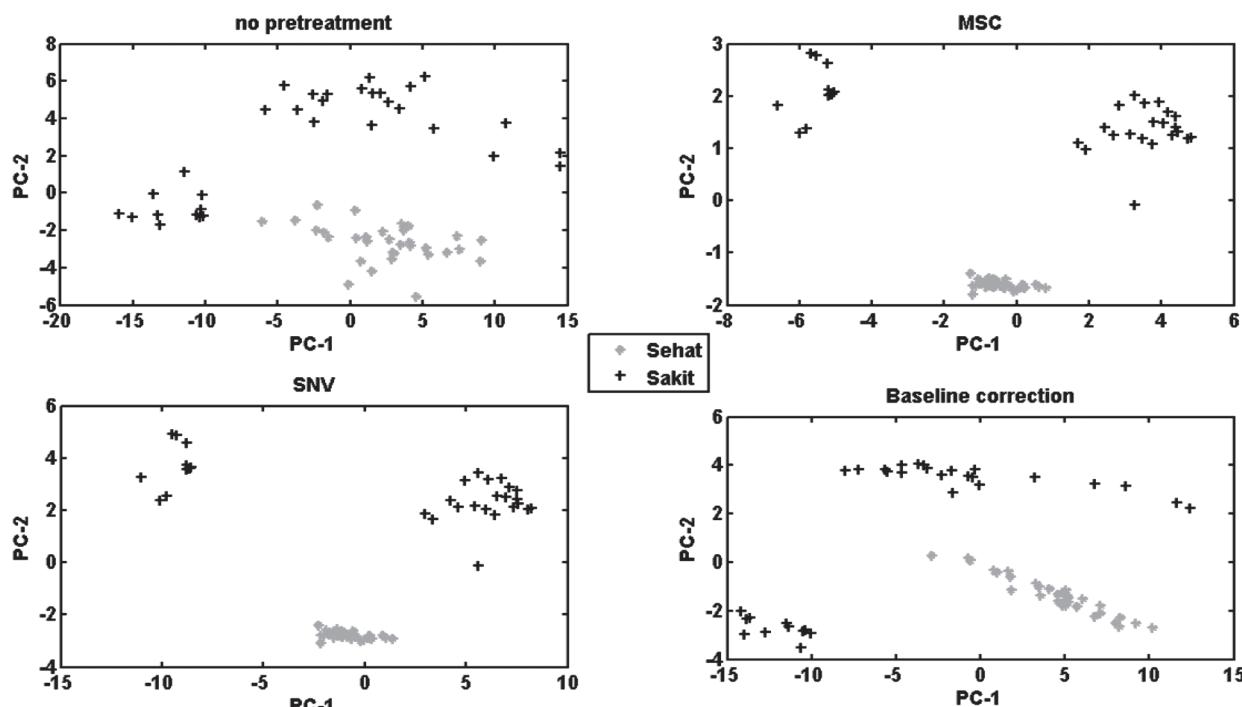
itu diperlukan metode JST untuk mengklasifikasikan sampel sehat dan sakit secara kuantitatif. Jumlah komponen utama (KU) pada Tabel 1 diperoleh dari nilai *explained variance*, nilai ini berguna untuk mengetahui berapa banyak komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan keberagaman data. Jumlah komponen utama tiga jenis praperlakuan (MSC, SNV dan *baseline correction*) paling sedikit diantara jenis praperlakuan lain, hasil ini menunjukkan bahwa dengan tiga jenis praperlakuan tersebut keberagaman data dapat diwakilkan cukup dengan tiga komponen utama dengan nilai akumulasi *explained variance* mendekati 99%.

Jumlah komponen utama dari tiga jenis praperlakuan digunakan untuk mendapatkan panjang gelombang sensitif pengklasifikasi data spektrum daun sakit dan sehat melalui nilai *X-loading* komponen utama. Gambar 5 menyajikan plot *X-loading* dari tiga jenis praperlakuan. Panjang gelombang sensitif diperoleh dari nilai positif dan negatif tersebesar dari setiap *X-loading* komponen utama (Pholpho *et al.* 2011), nilai tersebut menunjukkan bahwa panjang gelombang sensitif terpilih berperan penting dalam pengklasifian daun sakit dan sehat. Tabel 2 menunjukkan bahwa panjang gelombang sensitif di daerah cahaya tampak lebih dominan dibandingkan dengan panjang gelombang daerah NIR untuk pengklasifikasi daun sakit dan

sehat. Kondisi sampel daun yang bergejala *blotchy mottle* (warna daun sebagian kuning, hijau, dengan beberapa corak kuning, hijau pucat dan hijau gelap, yang warna tersebut saling bercampur tanpa ada batasan antar corak) berpengaruh terhadap spektrum di daerah cahaya tampak. Panjang gelombang sensitif di daerah NIR (725.84, 731.79, 997.25nm) berperan dalam pengklasifikasi yang berkaitan dengan perbedaan komposisi kimia pada daun. Keuntungan dari penggunaan beberapa panjang gelombang dibandingkan dengan seluruh panjang gelombang dapat meningkatkan proses deteksi daun terinfeksi huanglongbing (Sankaran dan Ehsani 2011), menghemat waktu analisis (Luo *et al.* 2012) dan meningkatkan *correlation robustness* (Rady dan Guyer 2015)

Pengklasifikasi Menggunakan Panjang Gelombang Sensitif

Panjang gelombang sensitif yang didapatkan dengan menggunakan jenis praperlakuan berbeda memiliki beberapa panjang gelombang sensitif yang sama. Oleh karena itu, dibuat dua dataset baru selain panjang gelombang sensitif dari tiap jenis praperlakuan yang terdiri atas panjang gelombang sensitif yang sama dari tiga praperlakuan dan gabungan panjang gelombang sensitif tiga jenis praperlakuan. Total lima dataset baru tersebut



Gambar 4. plot skor komponen utama no pretreatment, MSC, Baseline correction, SNV.

Tabel 3. hasil klasifikasi JST menggunakan panjang gelombang sensitive.

Dataset	Akurasi Klasifikasi (%)	Kinerja (Cross Entropy)
Baseline Correction	100	4.9×10^{-7}
All data	100	5.32×10^{-7}
Same data spectrum	100	2.27×10^{-6}
SNV	100	1.54×10^{-6}
MSC	100	0.000584

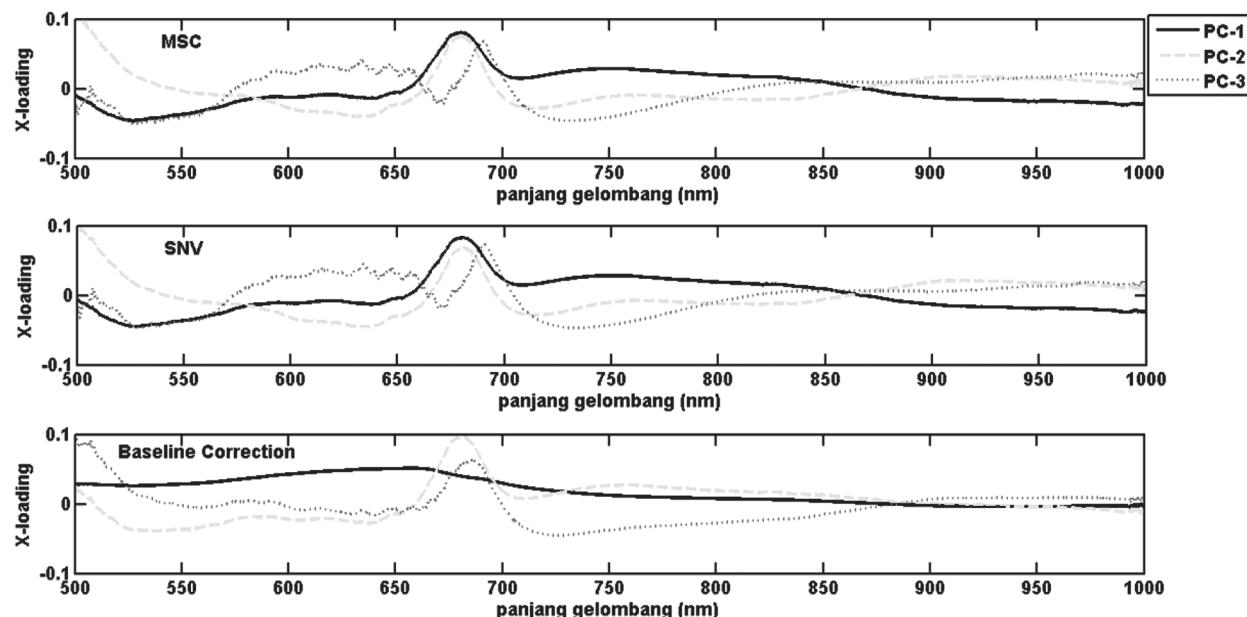
digunakan untuk proses klasifikasi agar didapatkan model klasifikasi terbaik. Hasil klasifikasi menggunakan panjang gelombang sensitif tersaji pada Tabel 3. Berdasarkan nilai kinerja cross entropy dari jaringan saraf tiruan didapatkan bahwa panjang gelombang sensitif dengan praperlakuan *baseline correction* adalah yang terbaik.

Berdasarkan nilai akurasi dan kinerja JST dari Tabel 3, praperlakuan *baseline correction* menghasilkan akurasi tertinggi dan nilai kinerja yang paling rendah. Panjang gelombang sensitif dari praperlakuan *baseline correction* selanjutnya diuji menggunakan data spektrum yang tidak diikutkan selama proses pembangunan model klasifikasi daun jeruk. Data uji (8 sampel) yang digunakan adalah daun dengan kategori belum bergejala dari pohon yang positif terserang HLB. Model klasifikasi mengklasifikasi semua sampel uji sebagai daun sakit (Tabel 4), hasil tersebut konsisten dengan hasil pengujian sampel daun menggunakan metode PCR yang mengkategorikan daun belum bergejala tersebut sebagai daun sakit. Keberhasilan model mengklasifikasi daun belum bergejala dapat terjadi karena diantara panjang gelombang sensitif tersebut terdapat panjang gelombang 680nm yang menunjukkan daerah serapan klorofil (Carter dan Knapp 2001). Hasil penelitian Windham *et al.* (2011) menyimpulkan bahwa perbedaan antara daun sakit HLB dan daun sehat dapat diamati

pada panjang gelombang yang berasosiasi dengan serapan klorofil, yang pada daun sakit HLB memiliki nilai absorban yang lebih rendah dibandingkan dengan daun sehat. Selain panjang gelombang 680nm, panjang gelombang 997.25nm yang merupakan kisaran panjang gelombang daerah serapan pati (Osborne *et al.* 1993) juga menjadi pembeda untuk daun sakit dan sehat. Kaitan antara daun sakit terinfeksi HLB dan kandungan pati di daun adalah kandungan pati di daun 3-8 kali lebih banyak dibandingkan dengan daun sehat (Fan *et al.* 2010). Hasil pengujian terhadap kategori sampel daun belum bergejala menunjukkan bahwa model klasifikasi berpotensi untuk digunakan mendeteksi lebih awal penyakit HLB sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan dengan cepat.

Aplikasi Untuk Deteksi Penyakit HLB

Aplikasi yang telah dikembangkan berbasis komputer dekstop yang tidak memerlukan kebutuhan sistem operasi tertentu. Output aplikasi ini berupa keputusan dalam bentuk biner, bahwa data spektum yang diinputkan terkласifikasi sebagai kelompok sakit atau sehat. Aplikasi ini memiliki kelebihan dapat mendeteksi daun jeruk yang terserang HLB walaupun secara morfologi (fisik) belum menunjukkan gejala sakit. Fitur utama dari aplikasi tersaji pada Gambar 6, terdiri atas tombol *open*, *transfer*, dan *classify*, *textbox* untuk menampilkan



Gambar 5. Plot X-loading komponen utama untuk tiga jenis metode praperlakuan.

Tabel 4. Hasil klasifikasi JST terhadap spektrum daun berlum bergejala.

Sampel	Aktual	Target
1	1.01×10^{-4}	0.999899
2	3.45×10^{-6}	0.999997
3	2.72×10^{-8}	1.000000
4	9.67×10^{-5}	0.999903
5	1.79×10^{-5}	0.999982
6	5.93×10^{-6}	0.999994
7	3.88×10^{-8}	1.000000
8	3.51×10^{-3}	0.996494

Keterangan: [0 1] kodifikasi untuk kategori sakit
[1 0] kodifikasi untuk kategori sehat

data pengukuran spektrum Vis-NIR, *textbox2* untuk menampilkan hasil perhitungan, berupa keputusan bahwa spektrum hasil pengukuran dikategorikan sakit atau sehat, serta *listview* untuk menampilkan data pengukuran berformat numerik. Setiap tombol panel memiliki fungsi yaitu, tombol *open* digunakan untuk membuka *file* hasil pengukuran spectrometer Vis-NIR, kemudian data spektrum ditampilkan pada *textbox*. Selanjutnya, untuk memisahkan data antara tipe numerik dan tipe karakter dari data pengukuran, digunakan tombol *transfer*. Tombol *classify* digunakan untuk proses perhitungan data spektrum Vis-NIR termasuk dalam kelas daun sehat atau sakit, selanjutnya hasil keputusan klasifikasi ditampilkan pada *textbox2*. Pengklasifikasian spektrum data pengukuran Vis-NIR didasarkan atas model klasifikasi yang dibangun menggunakan metode JST. Nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi dan lapisan output yang merupakan penyusun dari model klasifikasi ditanamkan pada aplikasi deteksi penyakit HLB untuk mengklasifikasikan data spektrum Vis-NIR yang diinput pada sistem.

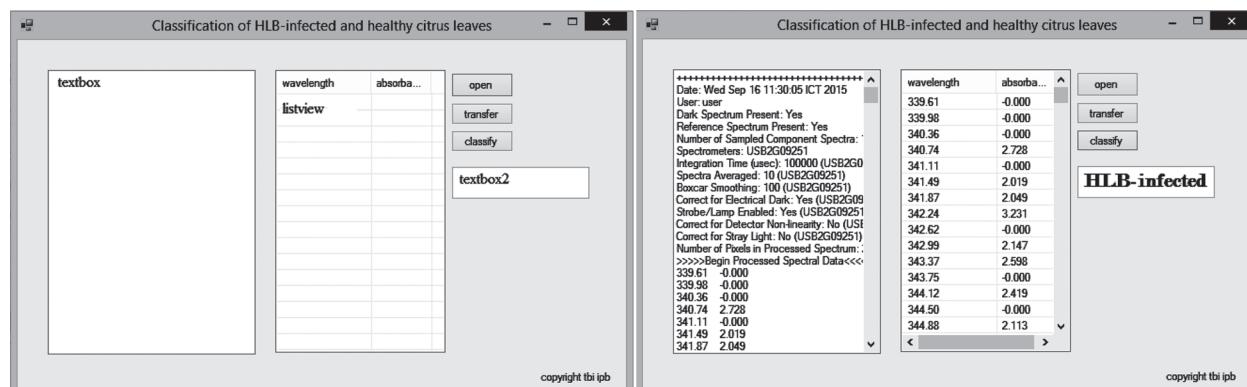
Simpulan

Aplikasi untuk klasifikasi daun jeruk terinfeksi HLB berbasis komputer desktop berdasarkan

panjang gelombang sensitif telah berhasil dibangun menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Model klasifikasi yang dibangun menggunakan metode klasifikasi jaringan saraf tiruan. Aplikasi yang dibangun dapat mengklasifikasikan dengan tepat daun sehat dan daun terinfeksi HLB dengan akurasi 100%, dan dapat mengklasifikasikan dengan tepat daun belum bergejala dengan akurasi 100%. Panjang gelombang sensitif yang ditanamkan pada sistem adalah nilai *X-loading* hasil analisis komponen utama dengan pemberian praperlakuan spektrum *baseline correction*, yang nilai panjang gelombang sensitifnya adalah 500.52, 538.61, 658.16, 680.8, 725.84 dan 997.25nm.

Daftar Pustaka

- Bove JM, Genomique DR, Pathogene P, Recherche C De, Bordeaux I De, Bourlaux E, Cedex O, Df A, Pereira A, Araraquara P. 2006. HUANGLONGBING : A Destructive, Newly-Emerging, Century-Old Disease of Citrus. J. Plant Pathol. 88(1):7–37.
- Cardinali MC do B, Boas PRV, Milori DMBP, Ferreira EJ, Silva MF e, Machado MA, Bellete BS, Silva MF das GF da. 2012. Infrared spectroscopy: A potential tool in huanglongbing and citrus variegated chlorosis diagnosis. Talanta 91:1–6.
- Carter GA, Knapp AK. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J. Bot. 88(4):677–684.
- Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, Jacquemoud S, Gregoire JM. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sens. Environ. 77(1):22–33.
- Cen H, He Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Trends food Sci. Technol. 18(2):72–83.
- Etxeberria E, Gonzalez P, Dawson W, Spann T. 2007. An Iodine-Based Starch Test to Assist in Selecting Leaves for HLB Testing.
- Fan J, Chen C, Bransky RH, Gmitter FG, Li ZG. 2010. Changes in carbohydrate metabolism



Gambar 6. GUI aplikasi deteksi penyakit HLB, jendela utama (kiri) dan hasil (kanan).

- in *Citrus sinensis* infected with "Candidatus *Liberibacter asiaticus*". *Plant Pathol.* 59(6):1037–1043.
- Granitto PM, Navone HD, Verdes PF, Ceccatto H a. 2002. Weed seeds identification by machine vision. *Comput. Electron. Agric.* 33(2):91–103.
- Heise HM, Winzen R. 2002. Fundamental Chemometric Methods. In: Siesler H., Ozaki Y, Kawata S, Heise H., editors. *Near-Infrared Spectroscopy Principles, Instruments, Applications*. Weinheim: Wiley-VCH. p. 125–162.
- Iftikhar Y, Rauf S, Shahzad U, Zahid MA. 2016. Huanglongbing : Pathogen detection system for integrated disease management – A review. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 15(1):1–11.
- Kim DG, Burks TF, Schumann AW, Zekri M, Zhao X. 2009. Detection of Citrus Greening Using Microscopic Imaging. *CIGR J. XI*.
- Li X, He Y. 2008. Discriminating varieties of tea plant based on Vis/NIR spectral characteristics and using artificial neural networks. *Biosyst. Eng.* 99(3):313–321.
- Luo X, Takahashi T, Kyo K, Zhang S. 2012. Wavelength selection in vis / NIR spectra for detection of bruises on apples by ROC analysis. *J. Food Eng.* 109(3):457–466.
- Mishra AR, Karimi D, Ehsani R, Lee WS. 2012. Identification of Citrus Greening (HLb) Using a Vis-Nir Spectroscopy Technique. *Trans. Asabe* 55(2):711–720.
- Nasr G, Badr E, Joun C. 2002. Cross Entropy Error Function in Neural Networks: Forecasting Gasoline Demand. *FLAIRS Conf.*:381–384.
- Nurhadi. 2015. PENYAKIT HUANGLONGBING TANAMAN JERUK (Candidatus *Liberibacter asiaticus*): ANCAMAN DAN STRATEGI PENGENDALIAN Huanglongbing Disease (Candidatus *Liberibacter asiaticus*) on Citrus : Threats and Control Strategy. *Pengemb. Inov. Pertan.* 8(1):21–32.
- Osborne BG, Fearn T, Hindle PH, Hindle PT. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. Singapore: Longman Scientific & Technical (Longman food technology).
- Ozaki Y, Morita S, Du Y. 2007. Spectral Analysis. In: Ozaki Y, McClure WF, Christy AA, editors. *Near-Infrared Spectroscopy In Food Science And Technology*. New Jersey: Wiley-Interscience. p. 47–72.
- Pholpho T, Pathaveerat S, Sirisomboon P. 2011. Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy. *J. Food Eng.* 104(1):169–172.
- Poole G. 2008. Visible/near-infrared spectroscopy for discrimination of HLB-infected citrus leaves from healthy leaves. In: Proc. Intl. Research Conf. on Huanglongbing. St. Paul, Minn: Plant Management Network. p. 178–180.
- Pourreza A, Lee WS, Raveh E, Ehsani R, Etxeberria E. 2014. Citrus Huanglongbing Detection Using Narrow-Band Imaging and Polarized Illumination. *Trans. Asabe* 57(1):259–272.
- Rady A, Guyer D. 2015. Utilization of visible/near-infrared spectroscopic and wavelength selection methods in sugar prediction and potatoes classification. *J. Food Meas. Charact.* 9(1):20–34.
- Sankaran S, Ehsani R. 2011. Visible-near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. *Crop Prot.* 30(11):1508–1513.
- Sankaran S, Ehsani R. 2012. Detection of Huanglongbing Disease in Citrus Using Fluorescence Spectroscopy. *Trans. Asabe* 55(1):313–320.
- Sankaran S, Ehsani R, Etxeberria E. 2010. Mid-infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing (greening) in citrus leaves. *Talanta* 83:574–581.
- Sankaran S, Maja JM, Buchanon S, Ehsani R. 2013. Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques. *Sensors (Basel)*. 13(2):2117–30.
- Sankaran S, Mishra A, Maja JM, Ehsani R. 2011. Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. *Comput. Electron. Agric.* 77(2):127–134.
- Schneider H. 1968. Anatomy of greening-diseased sweet orange shoots. *Phytopathology* 58(1):1155–1160.
- Sims DA, Gamon JA. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ.* 81(2):337–354.
- Taufik M, Khaeruni A, Pakki T. 2010. Deteksi Keberadaan Citrus Vein Phloem Degeneration (CVPD) dengan Teknik PCR (Polymerase Chain Reaction) di Sulawesi Tenggara. *J. HPT Trop.* 10(1):73–79.
- West JS, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney HA. 2003. The Potential of Optical Canopy Measurement for Targeted Control of Field Crop Diseases. *Annu. Rev. Phytopathol* 41(1):593–614.
- Windham WR, Poole GH, Park B, Heitschmidt G, Hawkins SA, Albano JP, Gottwald TR, Lawrence KC. 2011. Rapid screening of Huanglongbing-infected citrus leaves by near-infrared reflectance spectroscopy. *Trans. ASABE* 54:2253–2258.
- Yuan HC, Xiong FL, Huai XY. 2003. A method for estimating the number of hidden neurons in feed-forward neural networks based on information entropy. *Comput. Electron. Agric.* 40(1):57–64.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Prediksi Deteksi Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas Menggunakan Gelombang Ultrasonik

*Detection of Cilembu Sweet Potatos Damage Caused by *Cylas formicarius Fabricius* (Coleoptera: Brentidae) Using Ultrasonic Wave*

Adi Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor. Email: adisutrisno.stp@gmail.com

Sutrisno, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor. Email: kensutrisno@yahoo.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian.
Institut Pertanian Bogor: Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to examine wave characteristics of healthy and attacked cilembu sweet potatoes. The study was important to develop non destructive sortation system of cilembu sweet potato in order to detect damages that caused by *C. formicarius*. The research used 105 cilembu sweet potatoes which consisted of 60 healthy and 45 *C. formicarius* attacked cilembu sweet potatoes. Cilembu sweet potatoes was obtained from farmers in Cilembu village, Sumedang, West Java. The measurement was conducted by passing ultrasonic waves through cilembu sweet potatoes. Amplitude and time were gained from the measurement process. Those data were processed to determine ultrasonic wave velocity, attenuation, and moment zero power (Mo). The result showed that ultrasonic wave characteristics of *C. formicarius* attacked cilembu sweet potatoes were respectively; wave velocity of 264.30 m/s, attenuation of 16.85 dB/m, and Mo of 20.10. Meanwhile, ultrasonic wave characteristics of healthy sweet potatoes were respectively; wave velocity of 239.29 m/s ; attenuation of 19.57 dB/m and Mo of 19.14 . The research also verified that forecasting model of *C. formicarius* attack based on wave velocity, attenuation and Mo was not too accurate. The success rate were respectively; 77.14%, 74.29% and 54.29%.

Keywords: *C. formicarius*, cilembu sweet potatos, non destructif, ultasonic wave

Abstrak

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terkena serangan lanas. Kajian ini diperlukan untuk mengembangkan sistem pemutuan ubi jalar cilembu khususnya dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan hama *C. formicarius* secara non-destruktif. Pada penelitian ini digunakan sebanyak 105 buah sampel ubi jalar cilembu, yang terdiri dari 60 ubi jalar cilembu sehat dan 45 ubi jalar cilembu yang terserang *C. formicarius*. Ubi jalar cilembu diperoleh dari petani di Desa Cilembu Kabupaten Sumedang. Pengukuran dilakukan dengan melewatkkan gelombang ultrasonik melalui ubi jalar cilembu. Hasil yang diperoleh dari pengukuran berupa amplitudo dan waktu. Data yang diperoleh diolah sehingga diperoleh kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan moment zero power (Mo). Hasil penelitian menunjukkan karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu yang terserang *C. formicarius* secara berturut-turut rata-rata kecepatan, koefisien atenuasi dan Mo adalah 264.30 ms^{-1} , 16.85 dB m^{-1} dan 20.10 sedangkan ubi jalar cilembu sehat masing-masing adalah 239.29 ms^{-1} , 19.57 dB m^{-1} dan 19.10 . Model pendugaan serangan *C. formicarius* berdasarkan nilai kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan Mo hasilnya tidak terlalu akurat dengan persentase keberhasilan berturut-turut sebesar 77.14%, 74.29% dan 54.29%.

Kata kunci: *C. formicarius*, ubi jalar cilembu, non destruktif, gelombang ultrasonik,

Diterima: 04 April 2016; Disetujui: 25 April 2016

Latar Belakang

Produksi ubi jalar Indonesia secara nasional selama empat tahun terakhir terus mengalami penurunan yaitu dari 2.483 juta ton pada tahun 2012 turun menjadi 2.386 juta ton pada tahun 2013, turun lagi menjadi 2.382 juta ton pada tahun 2014 dan menjadi 2.261 juta ton pada tahun 2015 (BPS 2016). Salah satu varietas ubi jalar yang banyak dikembangkan, bernilai ekonomis dan menjadi komoditas ekspor adalah ubi jalar cilembu. Kendala utama dalam mempertahankan produktivitas dan kualitas ubi jalar cilembu adalah serangan kumbang *Cylas formicarius* (Coleoptera: Brentidae) atau lebih dikenal dengan nama hama lanas. Hama lanas menyerang pada saat proses budidaya maupun pada saat penyimpanan (Capinera 2003). Kehilangan hasil akibat hama lanas dalam budidaya ubi jalar di Indonesia diperkirakan mencapai 10-90% (Nonci 2005), sedangkan di dunia diperkirakan 60-90% (Mannion dan Jansson 1992).

Penanganan pascapanen ubi jalar cilembu telah banyak dilakukan, diantaranya adalah proses sortasi dan pemutuan. Pada proses sortasi dan pemutuan ubi jalar cilembu selain diamati bagian luar permukaannya, perlu pula diamati bagian dalam umbinya untuk memastikan bahwa umbi tersebut memiliki mutu yang baik dan terbebas dari hama penyakit. Sampai saat ini proses sortasi dan pemutuan ubi jalar cilembu masih dilakukan secara manual dan bersifat destruktif, sehingga oleh karena itu sangat diperlukan suatu metode yang dapat mengevaluasi mutu ubi jalar cilembu secara non destruktif.

Menurut Nasution (2006) metode gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mengetahui mutu produk pada bagian yang lebih dalam melebihi gelombang NIR (*Near Infra Red*), selain itu metode ini tidak memerlukan investasi yang mahal dan juga tidak memiliki efek samping yang merugikan dibanding teknik gelombang NRM (*Nuclear Magnetic Resonance*) atau sinar X. Gelombang ultrasonik merupakan salah satu metode yang cukup berhasil dalam menentukan mutu dalam buah (Budistastra *et al.* 1999). Gelombang ultrasonik telah dapat digunakan untuk memprediksi umur simpan dan

kematangan alpukat (Mizrach dan Flitsanov 1995), tingkat ketuaan durian (Haryanto 2002), pemutuan manggis (Juansah 2005), jeruk (Morrison dan Arbeyratne 2014) dan buah-buahan serta sayuran segar (Mizrach 2008). Selain itu gelombang ultrasonik juga digunakan untuk pengembangan model penetuan tingkat kematangan durian dengan *neural network* (Rejo *et al.* 2000) dan pendugaan kerusakan buah mangga arumanis akibat lalat buah (Warji *et al.* 2008). Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terkena serangan lanas. Kajian ini diperlukan untuk mengembangkan sistem pemutuan ubi jalar cilembu dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas secara non-destruktif.

Bahan dan Metode

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Pengolahan Pangan dan Hasil Pertanian (TPPHP), Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor pada bulan Februari - Juni 2015.

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat alat pengukur gelombang ultrasonik. Rangkaian tersebut meliputi tranduser pemancar dan tranduser penerima, dudukan tranduser yang dilengkapi pengukur ketebalan sample, oscilloscope digital, ultrasonik transmpter dan personal komputer. Tranduser berbentuk tabung dengan ujung berbentuk lancip dan frekuensi yang dipancarkan besarnya 50 kHz.

Bahan yang digunakan adalah 105 buah ubi jalar cilembu jenis Rancing (terdiri dari 60 ubi sehat dan 45 ubi terserang lanas) dengan umur panen 5-6 bulan, umur simpan tiga hari setelah panen dan berat berkisar antara 200-250 gram. Didapat dari Desa Cilembu Kabupaten Sumedang, Jawa Barat.

Prosedur Percobaan

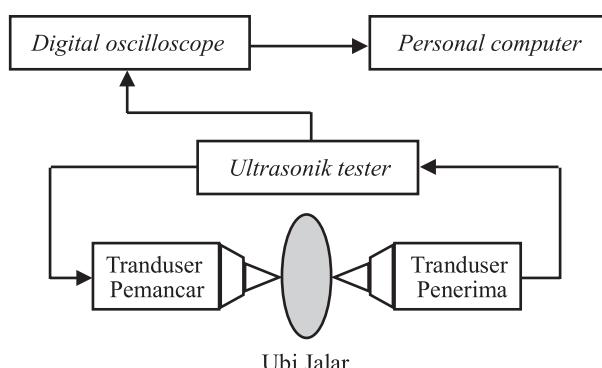
Penelitian ini terdiri atas empat tahapan, yaitu: persiapan bahan, pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik, pengecekan kerusakan umbi secara destruktif dan analisis data serta pemodelan.

1. Persiapan bahan

Sampel ubi jalar cilembu yang digunakan diambil langsung dari lahan dengan melakukan proses sortasi. Sebanyak 2/3 bagian digunakan untuk pembuatan model dan sisanya 1/3 bagian digunakan untuk validasi model.

2. Pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik

Pengukuran dilakukan pada bagian pangkal,



Gambar 1. Bagan pengukuran gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu

ujung dan tengah umbi. Proses pengukurannya dilakukan dengan cara meletakan ubi jalar cilembu di atas dudukan dengan posisi seperti terlihat pada Gambar 1.

3. Pengecekan Kerusakan Umbi Secara Destruktif

Pengukuran kerusakan umbi dilakukan secara manual dengan cara mengupas kulit umbi dan memotongnya secara desktruktif. Parameter yang diamati adalah ada tidaknya kerusakan akibat serangan lanas baik pada permukaan umbi maupun bagian dalam daging umbi.

4. Analisis Data dan Pemodelan

Hasil yang diperoleh dari pengukuran karakteristik gelombang ultrasonik adalah berupa amplitudo dan waktu. Data tersebut kemudian diolah sehingga diperoleh nilai kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan *moment zero power*. Model pendugaan kerusakan ubi jalar cilembu akibat serangan lanas disusun berdasarkan hubungan karakteristik gelombang ultrasoniknya (kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan *moment zero power*) dengan data kerusakan ubi jalar cilembu.

Kecepatan Gelombang Ultrasonik

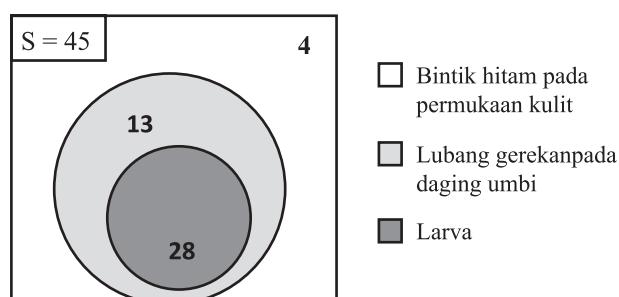
Kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Dimana v adalah kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi hasil pengukuran (m/s^{-1}), s adalah diameter buah atau jarak antara *transmitter* dan *receiver* (m) dan t adalah waktu tempuh gelombang ultrasonik (s).

Koefisien Atenuasi

Koefisien atenuasi (α) dihitung dengan mengonversi tegangan sinyal yang dikirim dan yang diterima setelah menempuh jarak tertentu menjadi grafik gelombang. Perhitungan koefisien atenuasi dilakukan dengan rumus persamaan 2.



Gambar 2. Kerusakan ubi jalar cilembu akibat serangan lanas.

$$\alpha = \frac{1}{x} \left[\ln \frac{A_0}{A_x} \right] \quad (2)$$

Dimana A_0 adalah amplitudo mula-mula (volt), sedangkan A_x , α dan x secara berturut-turut adalah amplitudo setelah menempuh jarak x (volt), koefisien atenuasi (dBm^{-1}) dan jarak yang ditempuh gelombang (m).

Moment Zero Power

Moment zero power (M_0) didefinisikan sebagai luasan di bawah *power spectral*. Hasil pengukuran gelombang ultrasonik berupa hubungan antara amplitudo dan waktu ditransformasikan dengan menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) menjadi hubungan antara *power spectral density* dengan frekuensi. Transformasi ini menggunakan program *Matlab*.

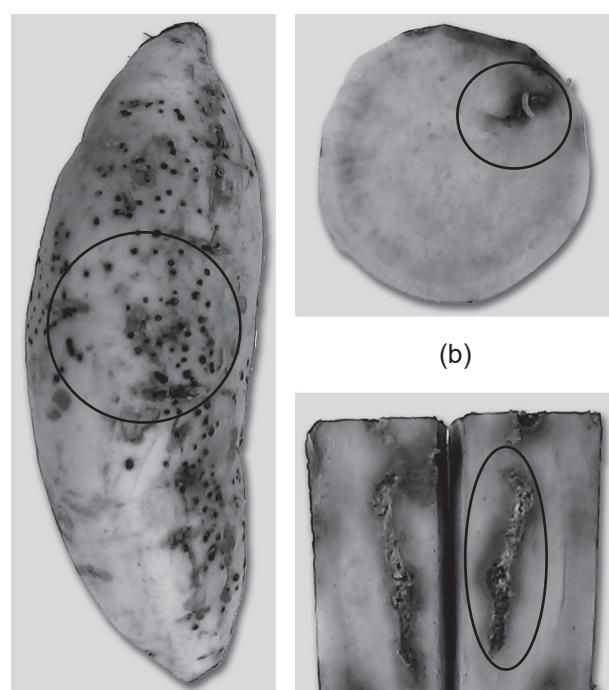
Pembuatan Model dan Validasi Model

Model pendugaan disusun berdasarkan hubungan karakteristik gelombang ultrasonik (kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi) dengan data kerusakan ubi jalar cilembu. Model pendugaan yang didapat kemudian divalidasi.

Hasil dan Pembahasan

Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa seluruh ubi jalar yang teridentifikasi lanas semuanya mengalami kerusakan dipermukaan kulitnya berupa bintik-bintik/lubang kecil berwarna hitam. Setelah



Gambar 3. Ubi jalar terkena serangan lanas.

dilakukan pengecekan yang lebih mendalam secara destruktif, ternyata pada 45 sampel yang mengalami kerusakan berupa bintik-bintik hitam pada 41 sampel diantaranya ditemukan lubang gerekan pada daging umbinya. Dari 41 sampel yang terdapat lubang gerekan, pada 28 sampel diantaranya ditemukan larva *C. formicarius*. Penampakan ubi jalar cilembu yang terserang lanas dapat dilihat pada Gambar 3.

Kerusakan ubi jalar cilembu berawal ketika imago meletakkan telur pada permukaan kulit umbi. Setelah telur menetas, larva akan menyerang umbi dengan membentuk lubang gerekan sedalam 1 sampai 2 cm yang disertai pembusukan, sehingga daging umbi yang berada disekitar lubang gerekan menjadi lebih lunak, berwarna hijau tua kehitaman, memiliki rasa yang pahit dan berbau khas.

Pendugaan Serangan Lanas Berdasarkan Kecepatan Gelombang

Nilai kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas terdapat perbedaan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat rata-rata 239.28 ms^{-1} , sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas rata-rata 264.30 ms^{-1} .

Menurut Self et al. (1994) kecepatan gelombang ultrasonik pada produk pertanian dipengaruhi oleh susunan sel internal serta modulus elastik jaringannya. Adanya udara yang menempati ruang pada lubang gerekan, akan mempengaruhi rambatan gelombang ultrasonik dalam hal ini yaitu pembiasan gelombang yang melalui ubi jalar cilembu. Pembiasan gelombang ini terjadi karena gelombang melalui tiga medium yang berbeda yaitu udara (lubang gerekan), medium padatan lunak berair (larva dan daging umbi disekitar lubang gerekan yang mengalami pembusukan) dan medium padatan keras (daging umbi sehat). Kecepatan gelombang ultrasonik pada udara adalah 340 ms^{-1} . Sedangkan kecepatan gelombang ultrasonik dalam air adalah 1480 ms^{-1} (Gooberman 1968). Oleh karena itu, pada ubi

jalar cilembu yang terserang lanas akan memiliki kecepatan gelombang ultrasonik yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang sehat. Hal ini juga sama dengan hasil penelitian sejenis yang pernah dilakukan sebelumnya pada buah manggis (Suroso et al. 2007) dan mangga (Warji 2008) dimana rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik pada buah yang rusak dan terserang hama penyakit lebih tinggi dibandingkan yang sehat. Selain itu Sujana (2007) menyatakan semakin tinggi kandungan udara yang ada antara butiran beras maka semakin tinggi kecepatan gelombang yang melaluinya.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Kecepatan Gelombang

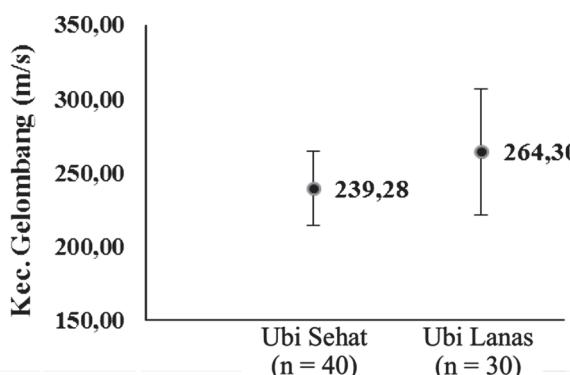
Nilai tengah antara rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik ubi jalar cilembu sehat dan rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik ubi jalar cilembu yang terserang lanas dipilih sebagai nilai batas kerusakan yaitu ditentukan sebesar 251.79 ms^{-1} . Secara matematika range nilai batas kerusakan akibat serangan lanas pada ubi jalar cilembu berdasarkan kecepatan gelombangnya dinyatakan pada Persamaan 3 dan 4.

$$V \geq 251.79 = l \quad (3)$$

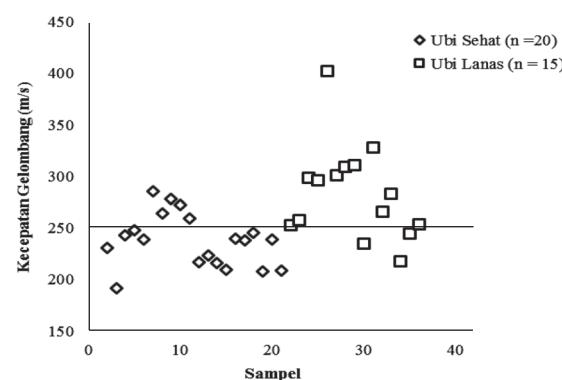
$$V < 251.79 = s \quad (4)$$

Dimana V adalah nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik dengan satuan ms^{-1} , l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

Pada Gambar 5 disajikan grafik validasi dan nilai batas kecepatan gelombang antara ubi jalar cilembu sehat dan terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang sehat berada di bawah garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di atas garis batas. Tingkat keberhasilan pemilahan pada nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik 251.79 ms^{-1} , ubi jalar cilembu dapat terpisah tidak begitu akurat dengan persentase keberhasilan sekitar 77.14%. Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpisah menjadi ubi lanas



Gambar 4. Rata-rata kecepatan gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.



Gambar 5. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan kecepatan gelombang.

Tabel 1. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan kecepatan gelombang.

Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	12	3	15	20.00
Ubi jalar cilembu sehat	5	15	20	25.00

Tabel 2. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan koefisien atenuasi.

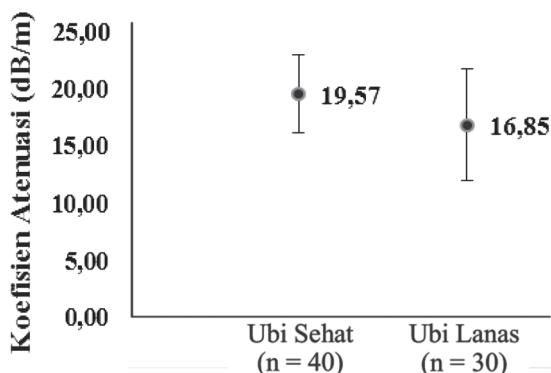
Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	11	4	15	26.67
Ubi jalar cilembu sehat	5	15	20	25.00

sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpisah kedalam ubi sehat sebesar 20.00%.

Pendugaan Serangan Lanas Berdasarkan Nilai Koefisien Atenuasi

Nilai koefisien atenuasi pada ubi jalar cilembu yang sehat dan yang terserang lanas memiliki perbedaan, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Koefisien atenuasi ubi jalar cilembu sehat rata-rata 19.57 dB m^{-1} , sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas rata-rata koefisien atenuasinya 16.85 dB m^{-1} .

Ubi jalar cilembu yang terserang lanas memiliki nilai rata-rata koefisien atenuasi yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas mengalami perubahan medium, terbentuknya rongga udara membuat medium udara menjadi lebih besar, sedangkan pembusukan akan membuat tekstur daging umbi menjadi lebih lunak. Besarnya energi yang hilang atau diserap tergantung pada jenis mediumnya, pada medium lunak dan berongga besarnya energi gelombang ultrasonik yang diserap lebih kecil dibandingkan dengan medium yang keras atau padat. Oleh karena itu, pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas menyerap lebih sedikit energi gelombang ultrasonik sehingga nilai koefisien atenuasi rata-ratanya kecil.



Gambar 6. Rata-rata nilai koefisien atenuasi pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.

Hasil penelitian ini juga memiliki kesesuaian dengan (Warji 2008) yang menyatakan bahwa nilai koefisien atenuasi pada mangga yang rusak terserang lalat buah lebih rendah dibandingkan dengan mangga yang sehat.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Koefisien Atenuasi

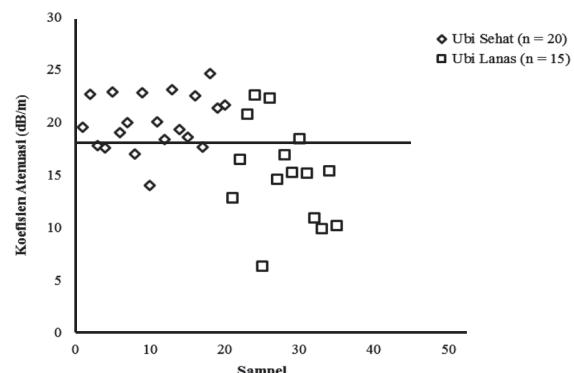
Nilai tengah antara koefisien atenuasi rata-rata ubi jalar cilembu sehat dan nilai koefisien atenuasi rata-rata ubi jalar cilembu yang terserang lanas yaitu 18.21 dB m^{-1} , dipilih sebagai nilai batas kerusakan. Secara matematika range nilai batas kerusakan akibat serangan lanas pada ubi jalar cilembu berdasarkan nilai koefisien atenuasinya dinyatakan pada Persamaan 5 dan 6.

$$\alpha \geq 18.21 = s \quad (5)$$

$$\alpha < 18.21 = l \quad (6)$$

Dimana α adalah nilai batas koefisien atenuasi dengan satuan dB m^{-1} , l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

Pada Gambar 7 disajikan grafik validasi dan nilai batas koefisien atenuasi antara ubi jalar cilembu



Gambar 7. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan koefisien atenuasi.

Tabel 3. Kesalahan pemilahan ubi sehat dan ubi lanas berdasarkan Mo.

Kelompok	Hasil Pemilahan		Total	Kesalahan (%)
	Lanas	Sehat		
Ubi jalar cilembu lanas	11	3	15	20.00
Ubi jalar cilembu sehat	13	7	20	65.00

sehat dan yang terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang sehat berada di atas garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di bawah garis batas. Pada nilai batas kecepatan gelombang ultrasonik 18.21 dB m^{-1} , ubi jalar cilembu terpilah tidak terlalu akurat dengan persentasi keberhasilan sebesar 74.29%. Pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpilah kedalam ubi lanas sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpilah kedalam ubi sehat sebesar 26.67%.

Pendugaan Serangan lanas Berdasarkan Nilai Moment Zero Power

Nilai *moment zero power* (Mo) pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas terdapat perbedaan, namun nilainya banyak yang beririsan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Nilai Mo rata-rata ubi jalar cilembu sehat adalah 19.14 sedangkan pada ubi jalar cilembu yang terserang lanas adalah 21.10.

Pemodelan dan Validasi Pendugaan Berdasarkan Moment Zero Power

Nilai tengah antara Mo rata-rata ubi jalar cilembu sehat dan nilai Mo rata-rata ubi jalar cilembu yang terserang lanas dipilih sebagai nilai batas kerusakan yang nilainya ditentukan sebesar 20.12. Secara matematika range nilai batas nilai Mo dinyatakan pada Persamaan 7 dan 8.

$$Mo \geq 20.12 = l \quad (7)$$

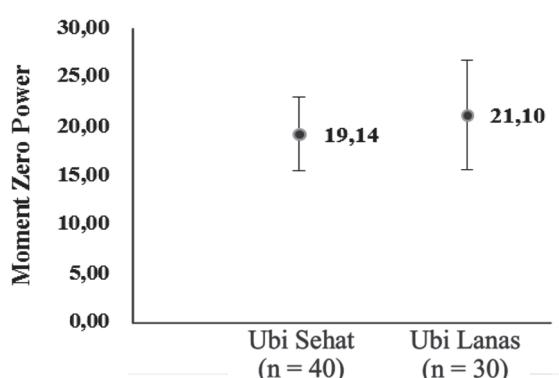
$$Mo < 20.12 = s \quad (8)$$

Dimana Mo adalah nilai batas *moment zero power*, l adalah ubi jalar cilembu terserang lanas dan s adalah ubi jalar cilembu sehat.

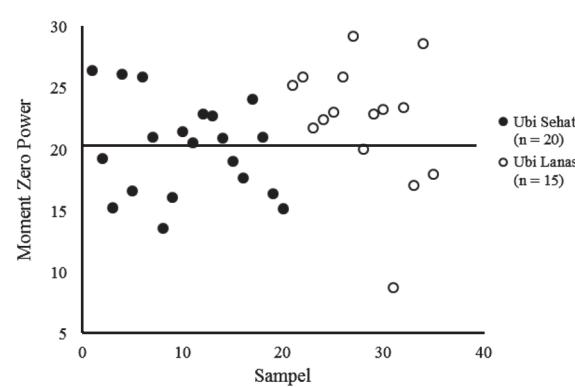
Pada Gambar 9 disajikan grafik validasi dan nilai batas Mo antara ubi sehat dan yang terserang lanas. Ubi jalar cilembu yang tidak terserang lanas berada di bawah garis batas dan ubi jalar cilembu yang terserang lanas berada di atas garis batas. Tingkat keberhasilan pemilahan pada nilai batas Mo 20.12 ubi jalar cilembu terpilah kurang akurat dengan persentasi keberhasilan hanya sebesar 54.29%. Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa terjadi kesalahan pemilahan ubi sehat yang terpilah kedalam ubi lanas sebesar 25.00% dan kesalahan pemilahan ubi lanas yang terpilah kedalam ubi sehat sebesar 20.00%.

Penggunaan Gelombang Ultrasonik untuk Mendekripsi Kerusakan Ubi Jalar Cilembu Akibat Serangan Lanas

Model pendugaan berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik (kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi) dapat digunakan untuk proses sortasi (memilah antara ubi jalar cilembu yang terserang lanas dan yang sehat), walaupun hasilnya belum terlalu akurat. Hal ini diduga karena gelombang ultrasonik sebagai metoda nondestruktif bekerja pada level makro (kekerasan, density), sehingga deteksi penyakit cukup sulit dilakukan dengan baik. Selain itu pada penelitian ini pengukuran karakteristik gelombang ultrasoniknya dilakukan pada bagian ujung, tengah dan pangkal umbi, terlepas dari apakah pada bagian tersebut terjadi serangan lanas ataupun tidak.



Gambar 8. Rata-rata nilai Mo pada ubi jalar cilembu sehat dan yang terserang lanas.



Gambar 9. Validasi model pendugaan ubi sehat dan ubi terserang lanas berdasarkan Mo.

Dalam aplikasinya penggunaan gelombang ultrasonik dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas dapat dikombinasikan dengan metode non destruktif lainnya seperti *image processing* dan *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR). Metode gelombang ultrasonik sangat potensial untuk terus dikembangkan sampai tercipta alat atau mesin sortasi berdasarkan metode gelombang ultrasonik.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik gelombang ultrasonik pada ubi jalar cilembu terserang lanas secara berturut-turut rata-rata kecepatan gelombang, koefisien atenuasi dan Mo adalah 264.30 ms^{-1} , 16.85 dB m^{-1} dan 21.10 sedangkan ubi jalar cilembu sehat masing-masing 239.29 ms^{-1} , 19.57 dB m^{-1} dan 19.14 .
2. Model pendugaan berdasarkan kecepatan gelombang dan koefisien atenuasi yang dibangun dapat digunakan untuk memilah antara ubi jalar cilembu terserang lanas dan yang sehat, walaupun belum begitu akurat, dengan nilai persentase keberhasilan berturut-turut sebesar 77.14 % dan 74.29 %.

Saran

Disarankan dalam penelitian yang sama pengukuran gelombang ultrasoniknya dilakukan pada titik/bagian umbi yang teridentifikasi terkena serangan lanas. Terkait dengan hal tersebut penggunaan gelombang ultrasonik dalam mendeteksi kerusakan akibat serangan lanas dapat dikombinasikan dengan metode non destruktif lainnya seperti *image processing*.

Daftar Pustaka

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2016. Produksi Ubi Jalar Menurut Provinsi 1993-2015. Availabel at:www.bps.go.id/linktabeldinamis/view/id/883. Diakses 08 Maret 2015.
- Budiastra IW, Tresnobudi A, Purwadaria HK. 1999. Ultrasonic System for Automation of Internal Quality Evaluation of Durian. Proceedings IFAC'99. Beijing. 15-19 Juli 1999.
- Capinera JL. 2003. Sweetpotato Weevil, *Cylas formicarius* (Fabricius). Gainesvile : IFAS University of Florida.
- Gooberman GL. 1968. Ultrasonics Theory and Application. The English Universities Press Ltd, London.
- Haryanto B. 2002. Pengembangan Model Empiris Untuk Penentuan Tingkat Ketuaan dan Kematangan Durian Unggul Secara Non destruktif Dengan Gelombang Ultrasonik. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Juansah J. 2005. Rancang Bangun sistem Pengukuran Gelombang Ultrasonik untuk Pemutuan Mutu Manggis . [Tesis]. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Mannion CM, Jansson RK. 1992. Comparison of ten entomopathogenic nematodes for control of sweetpotato weevil (Coleoptera: Apionidae). J. Econ Entomol85: 1642-1650.
- Mizrach A, Flitsanov U. 1995. Ultrasonic Device for Avocado Shelflife Predicting and Maturity Detection. Proceedings of The World Avocado Congress III (1995) 300 - 306.
- Mizrach A. 2008. Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes Postharvest Biology and Technology. Volume 48, Issue 3, Pages 315-330. Avaliable at : <http://www.sciencedirect.com/science>.
- Morrison DS, Abeyratne UR. 2014. Ultrasonic technique for non-destructive quality evaluation of oranges. Journal of Food Engineering 141 (2014) 107–112.
- Nasution D. 2006. Pengembangan Sistem Evaluasi Buah Manggis Secara Non Destruktif dengan Gelombang Ultrasonik. [Disertasi]. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nonci N. 2005. Bioekologi dan pengendalian kumbang *Cylas formicarius*Fabricus (Coleoptera: Curculionidae). Jurnal Litbang Pertanian 24: 63-69.
- Rejo A, Suroso, Budiastra IW, Purwadaria HK. 2000. Pengembangan model untuk penentuan tingkat kematangan buah durian dengan neural network. Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian, Bogor 11-12 Juli 2000. Vol (2) : 183-188.
- Self GK, Ordozgoiti E, Povey MJW, Wainwright H. 1994. Ultrasonic evaluation of ripening avocado flesh. Postharvest Biology and Technology 4 111-116.
- Sujana A. 2007. Kajian Karakteristik Gelombang Ultrasonik pada Beras (*Oryza sativa L.*). [Skripsi]. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Suroso, Budiastra IW, Trisnobudi A. 2007. Pengembangan Mesin Sortasi Manggis Berbasis Teknik Pemeriksaan Secara Nondestruktif. Seminar Nasional Ketahanan Pangan, PERTETA. Bandar Lampung.
- Warji. 2008. Pendugaan Kerusakan Mangga Arumanis Akibat Lalat Buah Menggunakan Ultrasonik. Prosiding Seminar Nasional Keteknikan Pertanian 2008. Yogyakarta. 18-19 November 2008.

Halaman ini sengaja dikosongkan

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Penggunaan Vis-NIR untuk Deteksi Serangan Huanglongbing pada Daun Jeruk

The use of Vis-NIR for Detecting Huanglongbing Disease on Leaves of Citrus Orchard

Raden Arief Firmansyah, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan. Email: firmansyah.rief@gmail.com
Kudang Boro Seminar, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: kseminar@apps.ipb.ac.id
Widodo, Departemen Proksi Tanaman, Institut Pertanian Bogor. Email: taniutun@gmail.com

Abstract

Huanglongbing is citrus disease which is a major threat for citrus orchard. Neither disease has a cure nor an efficient means of control. Early detection is important to prevent development and spread of the disease. The most effective detection used DNA test by PCR. However, identification used DNA test required sample preparation, time-consuming and expensive. The objective of this study was to build detection of healthy and HLB-infected leaves software. The leaf samples collected from citrus orchard in Situgede village, Bogor. Sample leaves divided into three group, Huanglongbing-infected leaves, healthy leaves and asymptomatic leaves. All samples was tested by PCR for verification visual symptoms of huanglongbing. Vis-NIR spectrometer with a spectra range of 339 to 1022nm was used to acquisition HLB-infected and healthy leaves spectral data. MSC, SNV, baseline correction, first and second derivative were used for pretreatment method. Artificial neural network was used to build classification model. X-loading plot from principal component analysis was used to obtain sensitive wavelength. Classification for healthy and HLB-infected class used sensitive wavelength baseline correction-based had the best performance and high accuracy (100%). The classification model was embedded in software PC-desktop based which was used visual basic programming language. Asymptomatic leaves spectral from HLB-positive tree were used to testing classification model. Model classified data into HLB-infected group, which was consistent with PCR test. The result from this study indicated that developed software could be used to HLB detection in early stage of disease.

Keywords: huanglongbing, visible-near infrared spectroscopy, artificial neural network, citrus

Abstrak

Huanglongbing adalah penyakit jeruk yang merupakan ancaman utama bagi budidaya jeruk. Tidak ada pengendalian yang tepat untuk Huanglongbing. Deteksi dini penting untuk mencegah penyebaran dan pengembangan penyakit ini. Deteksi dini yang paling efektif menggunakan tes DNA dengan PCR. Namun, identifikasi menggunakan tes DNA memerlukan persiapan sampel, memakan waktu dan mahal. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun perangkat lunak deteksi daun sehat dan terinfeksi HLB. Sampel daun dikumpulkan dari kebun jeruk di Desa Situ Gede, Bogor. Sampel daun dibagi menjadi tiga kelompok, daun yang terinfeksi HLB, daun sehat dan daun belum bergejala. Semua sampel telah diuji dengan PCR untuk verifikasi gejala visual Huanglongbing. Spektrometer Vis-NIR dengan rentang spektrum dari 339-1022nm digunakan untuk mengumpulkan data spektrum daun terinfeksi HLB dan sehat. MSC, SVN, baseline correction, turunan pertama dan kedua dari spektra digunakan sebagai metode praperlakuan. Jaringan syaraf tiruan digunakan untuk membangun model klasifikasi Plot X-loading dari analisis komponen utama digunakan untuk mendapatkan panjang gelombang sensitif. Klasifikasi terhadap kategori daun sehat dan sakit menggunakan panjang gelombang sensitif berbasis *baseline correction* memiliki nilai akurasi 100 % dan kinerja terbaik. Model klasifikasi yang ditanam pada perangkat lunak berbasis komputer desktop menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Data spektrum daun belum bergejala dari pohon positif terinfeksi HLB digunakan untuk menguji model klasifikasi. Model mengklasifikasikan data tersebut ke kelompok terinfeksi HLB, yang konsisten dengan hasil pengujian PCR yang juga mengelompokkan pada daun terinfeksi HLB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perangkat lunak dapat digunakan untuk deteksi HLB pada tahap awal perkembangan penyakit.

Keywords: huanglongbing, visible-near infrared spectroscopy, artificial neural network, citrus

Diterima: 30 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Latar Belakang

Huanglongbing atau *citrus greening* termasuk penyakit berbahaya bagi budidaya jeruk. Di Indonesia, penyakit tersebut telah membunuh 2000ha kebun jeruk dalam jangka waktu 6 bulan dengan nilai kerugian Rp 120 miliar/tahun (Nurhadi 2015). Penyakit ini memiliki gejala yang mirip penyakit kekurangan zat hara sehingga sulit dibedakan. Karakteristik gejala penyakit ini adalah pucuk daun menguning dan *blotchy mottle* tetapi gejala tersebut terkadang bias dengan gejala lain yang muncul (Bove et al. 2006). Selain itu, terdapat akumulasi pati pada jaringan parenkima daun yang terinfeksi HLB (Schneider 1968). Di Asia, penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Candidatus liberactus asiaticum* (Bove et al. 2006) yang penyebarannya dibantu oleh serangga *Diaphorina citri* (Taufik et al. 2010). Metode PCR (*Polymer chain reaction*) adalah metode berbasis DNA yang efektif untuk deteksi HLB (Iftikhar et al. 2016). Walaupun metode tersebut memberikan hasil akurat, biaya mahal dan proses pengujian yang butuh waktu menjadi kelemahan metode tersebut (Mishra et al. 2012; Pourreza et al. 2014). Oleh karena itu, dikembangkan metode alternatif yang bersifat cepat dan murah tetapi efektif mendeteksi HLB, antara lain menggunakan spektroskopi *fluorescence* (Sankaran and Ehsani 2012), spektroskopi inframerah (Cardinali et al. 2012), spektroskopi Vis-NIR (Sankaran et al. 2011; Sankaran and Ehsani 2011; Mishra et al. 2012), spektroskopi MIR (Sankaran et al. 2010), Pencitraan dengan Vis-NIR dan termal (Sankaran et al. 2013), pencitraan secara mikroskop (Kim et al. 2009) dan pencitraan dengan filter polarisasi (Pourreza et al. 2014). Di Indonesia, teknologi deteksi HLB selain PCR menggunakan LAMP (*Loop-mediated isothermal amplification*) yang dikembangkan oleh Balitjestro (Badan Penelitian Jeruk dan Buah Subtropika).

Pengendalian terhadap penyakit ini belum efektif, sehingga deteksi dini terhadap gejala penyakit menjadi krusial. Deteksi dini terhadap HLB telah dilakukan menggunakan spektroskopi Vis-NIR (Sankaran et al. 2011) dan spektroskopi inframerah (Cardinali et al. 2012) tetapi hasil akurasi klasifikasi antara daun belum bergejala dan sehat berkisar 80% sehingga perlu untuk ditingkatkan agar sistem deteksi dini penyakit HLB

menjadi lebih akurat. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun aplikasi deteksi daun terinfeksi HLB menggunakan panjang gelombang terpilih dari pengukuran spektroskopi Vis-NIR. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi metode alternatif deteksi HLB yang lebih cepat, murah dan akurat.

Bahan dan Metode

Persiapan Sampel

Sampel daun diperoleh dari kebun jeruk kip (*Citrus nobilis*) di Situgede, Bogor. Pengambilan sampel dilakukan pada bulan Juni-September 2015. Daun yang digunakan untuk satu set penelitian adalah daun segar yang dipetik pada pagi hari (06.30-08.00 WIB). Tahap awal persiapan sampel diawali survey lapang untuk menentukan pohon jeruk yang memiliki gejala visual HLB dari total 236 pohon. Survey lapang didasarkan pada gejala visual daun berupa *blotchy mottle*, pucuk daun kuning dan *vein corking*. Selanjutnya, pohon yang memiliki gejala sesuai kriteria tersebut diuji kandungan pati (Etxeberria et al. 2007). Daun yang bergejala HLB, tepi daun berwarna hitam sedangkan daun yang tidak bergejala HLB tepi daun tidak berwarna. Hasil uji akumulasi pati digunakan untuk menentukan sampel pohon yang perlu diuji dengan metode PCR. Total 15 sampel daun (3-4 helai daun per sampel) diuji dengan metode PCR, sampel tersebut terdiri atas tiga kategori, yaitu daun tidak bergejala HLB, daun dengan gejala HLB dan daun belum bergejala dari pohon yang menunjukkan gejala HLB. Penentuan kategori daun belum bergejala HLB bertujuan untuk menganalisis potensi pendektsian awal penyakit HLB sebelum gejala morfologi (fisik) muncul karena gejala awal HLB menunjukkan peningkatan kandungan pati, baik pada daun yang menunjukkan gejala fisik atau tidak (Fan et al. 2010). Setiap kategori terdiri atas lima sampel. Hasil uji dengan PCR diperoleh 4 dari 5 sampel daun sehat, 3 dari 5 sampel daun sakit, dan 1 dari 5 sampel daun belum bergejala, positif terinfeksi HLB. Gambar 1 adalah ilustrasi untuk menjelaskan istilah yang digunakan untuk pengkategorian sampel. Salah satu sampel daun sehat terserang penyakit Diplodia (*Botryodiplodia theobromae* Pat.). selama proses pengujian PCR, sehingga tidak diikutsertakan pada pengukuran spektrum Vis-NIR. Total 7 sampel daun yang dilakukan pengukuran spektrum Vis-NIR. Setiap sampel daun untuk semua pengujian dan pengukuran spektrum disimpan dalam kantong plastik berklip yang di dalamnya terdapat jel silika dan diberi label. Seluruh tahap (pengujian kandungan pati dan PCR serta pengukuran spektrum) dilakukan pada hari yang sama saat pengambilan sampel.

Pengukuran Spektrum

Total 72 helai daun yang diukur spektrum Vis-NIR,

Gambar 1. Ilustrasi istilah untuk jenis sampel yang digunakan.

yang terdiri atas 32 helai daun sehat, 32 helai daun sakit dan 8 helai daun belum bergejala yang positif HLB berdasarkan uji PCR. Tahap awal sebelum dilakukan pengukuran spektrum, sampel daun dikeringangkan dan dibersihkan menggunakan tisu kering. Spektrum daun diukur menggunakan spektrometer Vis-NIR (USB2000-VIS-NIR, Ocean Optics, USA) pada rentang panjang gelombang 339-1022nm (resolusi rata-rata 0.33nm). Cahaya bersumber dari lampu tungsten halogen (LS-1, Ocean Optics, USA) yang dilewatkan ke daun dengan metode transmitan, selanjutnya transmisi cahaya tersebut diterima oleh kabel fiber optik dan diteruskan ke spektrometer. Akuisisi, pemprosesan dan kalibrasi spektrum menggunakan perangkat lunak Spectra Suite (Ocean Optics, USA). Data yang digunakan adalah data absorban spektrum setiap pengukuran. Setiap lima kali pengukuran spektrum dilakukan kalibrasi ulang untuk meminimalkan gangguan (*noise*). Kalibrasi ulang dilakukan dengan pengukuran data intensitas transmisi referensi, yang dalam hal ini intensitas transmisi gelas preparat dan data intensitas gelap.

Analisis Data

Data spektrum hasil pengukuran spektroskop Vis-NIR terdiri atas informasi spektrum dan gangguan (*noise*) sehingga perlu dilakukan praperlakuan data agar terbentuk model kalibrasi yang stabil dan akurat (Cen dan He 2007). Metode praperlakuan yang digunakan antara lain, *mean scattering correction* (MSC), *standart normal variate* (SNV), *Baseline Correction*, turunan pertama dan kedua spektrum. Jenis praperlakuan berbeda tersebut digunakan untuk mendapatkan metode praperlakuan terbaik untuk identifikasi daun sakit HLB.

Seluruh data yang sudah diberikan jenis praperlakuan berbeda dianalisis menggunakan analisis komponen utama (AKU) untuk mengurangi dimensi data dan memvisualkan pengelompokan data. Hasil AKU didapatkan nilai skor komponen utama, nilai loading komponen utama dan *explained variance*. Pemberian praperlakuan dan analisis komponen utama terhadap spektrum menggunakan perangkat lunak Unscrambler 10.3 (Camo ASA, Oslo, Norway). Nilai loading

komponen utama digunakan untuk mendapatkan nilai panjang gelombang sensitif. *Explained variance* digunakan untuk menjelaskan seberapa banyak komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan keragaman data. Pengklasifikasian menggunakan pendekatan klasifikasi terawasi (*supervised classification*) dengan metode jaringan saraf tiruan (JST). Pengklasifikasian dengan JST menggunakan *neural network toolbox* yang tersedia pada MATLAB® 8.3 (The MathWorks Inc., Natick, MA). Data untuk pembangunan model klasifikasi dibagi tiga bagian, data pelatihan, validasi dan pengujian dengan perbandingan 70:15:15, yang pembagiannya dilakukan acak. Jumlah neuron yang digunakan pada lapisan tersembunyi adalah 10 neuron. Pelatihan model JST menggunakan algoritma *scaled conjugate gradient backpropagation* (trainscg). Fungsi transfer pada lapisan tersembunyi menggunakan fungsi *tansig*. Fungsi transfer pada lapisan output adalah fungsi *softmax*. Model klasifikasi dengan JST ditentukan berdasarkan parameter *cross entropy* (CE) dan akurasi klasifikasi. *Cross entropy* (CE) adalah fungsi *error* JST yang menjadi standar pilihan untuk penyelesaian masalah dalam bidang klasifikasi (Granitto *et al.* 2002). Penggunaan CE sebagai fungsi *error* dapat mempercepat konvergensi (Yuan *et al.* 2003) dan memberikan kinerja JST yang baik dibandingkan dengan fungsi kinerja *mean square error* (MSE) (Nasr *et al.* 2002). Oleh karena itu, semakin kecil nilai CE semakin baik kinerja model JST tersebut dan semakin tinggi nilai akurasi menunjukkan bahwa model JST memiliki kinerja yang baik dalam proses klasifikasi. Metode JST digunakan untuk dua kali proses klasifikasi, pertama untuk mendapatkan jenis praperlakuan yang tepat dengan input nilai skor komponen utama yang dihasilkan dari AKU. Kedua, JST digunakan untuk mendapatkan set panjang gelombang sensitif terbaik dengan memperhatikan nilai kinerja JST

Pembangunan Aplikasi Deteksi Daun Terinfeksi HLB

Model klasifikasi dari panjang gelombang sensitif terbaik ditanamkan pada aplikasi berbasis komputer desktop yang dikembangkan dengan bahasa pemrograman *visual basic*. Model klasifikasi



Gambar 2. Posisi pengukuran spektrum daun (kiri) dan spectrometer Vis-NIR (kanan).

Tabel 1. hasil analisis komponen utama dan klasifikasi menggunakan JST.

Jenis praperlakuan	kinerja (<i>cross entropy</i>)	Akurasi (%)	Jumlah KU
No pretreatment	4.96×10^{-7}	100	3
MSC	1.12×10^{-6}	100	3
Turunan spektrum pertama	0.0796	98.4	7
Turunan spektrum kedua	0.0302	98.4	10
Baseline correction	1.10×10^{-6}	100	3
SNV	9.30×10^{-7}	100	3

yang ditanamkan adalah nilai bobot lapisan input, bias lapisan input, bobot lapisan output dan bias lapisan ouput, yang diperoleh dari metode JST menggunakan input panjang gelombang sensitif terbaik. Pembangunan aplikasi harus memenuhi kriteria dapat membaca format *file txt*, yang merupakan hasil keluaran dari spectrometer Vis-NIR

Hasil dan Pembahasan

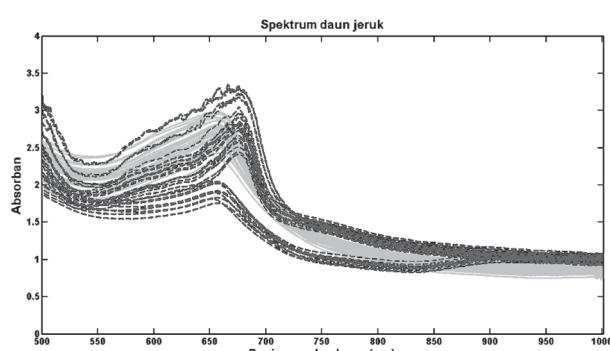
Karakteristik Spektrum Daun Jeruk

Hasil pengukuran spektrum daun (64 sampel) tersaji pada Gambar 3. Rentang panjang gelombang 500-1000nm dipilih karena memiliki gangguan yang minimal dibandingkan dengan rentang panjang gelombang 399-499nm dan 1001-1022nm. Spektrum daun sehat memiliki puncak pada panjang gelombang 660nm sedangkan spektrum daun sakit memiliki dua puncak, di panjang gelombang 660nm dan 675nm. Puncak spektrum tersebut menyatakan bahwa daun menyerap lebih banyak gelombang cahaya pada panjang gelombang tersebut. Absorban pada beberapa sampel daun sakit memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan absorban daun sehat, tetapi beberapa spektrum daun sakit memiliki nilai absorban yang berhimpit dengan absorban daun sehat. Nilai absorban daun sakit di daerah panjang gelombang cahaya tampak (500-700nm) lebih rendah dibandingkan dengan daun sehat akibat perubahan pigmen yang terjadi di daun. Penyerapan cahaya pada daerah panjang gelombang tersebut, erat kaitannya dengan konsentrasi pigmen yang terdapat di daun, perubahan pigmen sendiri berkaitan erat

dengan status fisiologi tanaman (Sims dan Gamon 2002). Pada daerah panjang gelombang NIR (701-1000nm), spektrum daun sehat lebih rendah nilai absorbannya dibandingkan dengan daun sakit. Hal tersebut konsisten dengan hasil penelitian lain yang juga menggunakan teknik spektroskopi Vis-NIR (Poole 2008; Mishra *et al.* 2012). Perbedaan nilai absorban di daerah panjang gelombang NIR menunjukkan adanya perubahan kandungan kimia di daun karena rentang daerah panjang gelombang tersebut berkaitan dengan struktur internal dan bahan kering pada daun (Ceccato *et al.* 2001). Panjang gelombang NIR (701-1000nm) memiliki nilai absorban yang rendah karena hamburan yang terjadi antara udara dan sel pada jaringan daun (West *et al.* 2003) sehingga sulit untuk menentukan jenis kandungan kimia yang berubah pada daun terinfeksi HLB.

Analisis Data Spektrum Menggunakan Analisis Komponen Utama

Tahap awal, data spektrum yang tersaji pada Gambar 3 perlu dilakukan praperlakuan untuk mengurangi gangguan yang masih terdapat pada spektrum daun. Nilai akurasi klasifikasi tersaji pada Tabel 1 menunjukkan jenis praperlakuan dengan MSC, SNV dan *baseline correction* tepat mengklasifikasi spektrum daun sakit dan sehat. Walaupun nilai kinerja dan akurasi klasifikasi data spektrum tanpa praperlakuan sama baiknya dengan tiga perlakuan tadi, pemberian praperlakuan terhadap data spektrum bertujuan untuk meminimalkan terjadinya gangguan, memperbaiki variasi *baseline*, meningkatkan resolusi spektra dan menormalisasi data (Ozaki *et al.* 2007) karena gangguan dapat bersumber dari beberapa faktor yaitu, interaksi antar senyawa, bauran cahaya, proses pengukuran spektrum yang kurang baik dan distorsi spektrum akibat peranti keras spectrometer (Heise dan Winzen 2002). Plot skor komponen utama (Gambar 4) menunjukkan bahwa dengan pemberian praperlakuan (MSC, SNV, dan *baseline correction*), pengelompokan data lebih baik dibandingkan dengan tanpa praperlakuan. Pada plot skor tersebut (Gambar 4) sampel terbagi menjadi tiga bagian dengan batas antar kelompok jelas. Hasil pengelompokan berdasarkan plot skor komponen utama tersebut tidak dapat dinyatakan secara kuantitatif (Li dan He 2008). Oleh karena



Gambar 3. spektrum daun jeruk sehat dan sakit.

Tabel 2. Panjang gelombang sensitif setiap metode praperlakuan.

Metode Praperlakuan	Panjang gelombang (nm)						
MSC	500.52	527.62	527.62	631.91	680.8	691.21	
SNV	500.52	527.62	631.91	680.8	690.87	731.79	
Baseline correction	500.52	538.61	658.16	680.8	725.84	997.25	

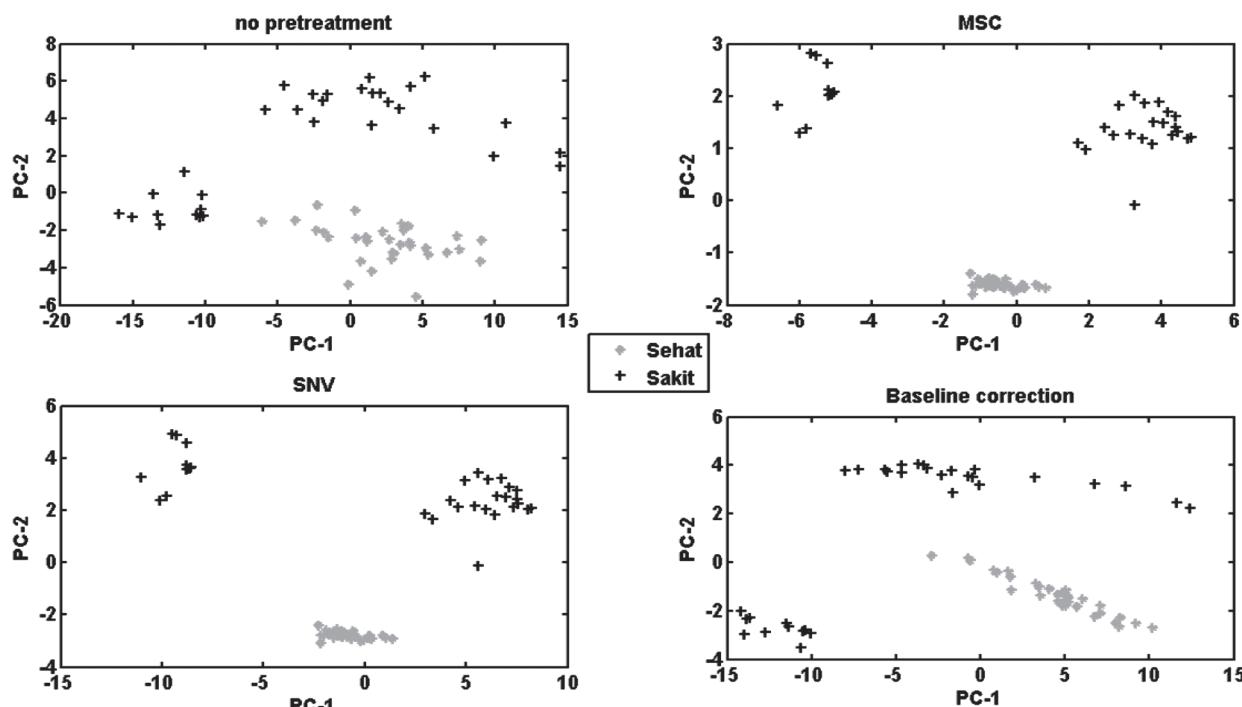
itu diperlukan metode JST untuk mengklasifikasikan sampel sehat dan sakit secara kuantitatif. Jumlah komponen utama (KU) pada Tabel 1 diperoleh dari nilai *explained variance*, nilai ini berguna untuk mengetahui berapa banyak komponen utama yang diperlukan untuk menjelaskan keberagaman data. Jumlah komponen utama tiga jenis praperlakuan (MSC, SNV dan *baseline correction*) paling sedikit diantara jenis praperlakuan lain, hasil ini menunjukkan bahwa dengan tiga jenis praperlakuan tersebut keberagaman data dapat diwakilkan cukup dengan tiga komponen utama dengan nilai akumulasi *explained variance* mendekati 99%.

Jumlah komponen utama dari tiga jenis praperlakuan digunakan untuk mendapatkan panjang gelombang sensitif pengklasifikasi data spektrum daun sakit dan sehat melalui nilai *X-loading* komponen utama. Gambar 5 menyajikan plot *X-loading* dari tiga jenis praperlakuan. Panjang gelombang sensitif diperoleh dari nilai positif dan negatif tersebesar dari setiap *X-loading* komponen utama (Pholpho *et al.* 2011), nilai tersebut menunjukkan bahwa panjang gelombang sensitif terpilih berperan penting dalam pengklasifian daun sakit dan sehat. Tabel 2 menunjukkan bahwa panjang gelombang sensitif di daerah cahaya tampak lebih dominan dibandingkan dengan panjang gelombang daerah NIR untuk pengklasifikasi daun sakit dan

sehat. Kondisi sampel daun yang bergejala *blotchy mottle* (warna daun sebagian kuning, hijau, dengan beberapa corak kuning, hijau pucat dan hijau gelap, yang warna tersebut saling bercampur tanpa ada batasan antar corak) berpengaruh terhadap spektrum di daerah cahaya tampak. Panjang gelombang sensitif di daerah NIR (725.84, 731.79, 997.25nm) berperan dalam pengklasifikasi yang berkaitan dengan perbedaan komposisi kimia pada daun. Keuntungan dari penggunaan beberapa panjang gelombang dibandingkan dengan seluruh panjang gelombang dapat meningkatkan proses deteksi daun terinfeksi huanglongbing (Sankaran dan Ehsani 2011), menghemat waktu analisis (Luo *et al.* 2012) dan meningkatkan *correlation robustness* (Rady dan Guyer 2015)

Pengklasifikasi Menggunakan Panjang Gelombang Sensitif

Panjang gelombang sensitif yang didapatkan dengan menggunakan jenis praperlakuan berbeda memiliki beberapa panjang gelombang sensitif yang sama. Oleh karena itu, dibuat dua dataset baru selain panjang gelombang sensitif dari tiap jenis praperlakuan yang terdiri atas panjang gelombang sensitif yang sama dari tiga praperlakuan dan gabungan panjang gelombang sensitif tiga jenis praperlakuan. Total lima dataset baru tersebut



Gambar 4. plot skor komponen utama no pretreatment, MSC, Baseline correction, SNV.

Tabel 3. hasil klasifikasi JST menggunakan panjang gelombang sensitive.

Dataset	Akurasi Klasifikasi (%)	Kinerja (Cross Entropy)
Baseline Correction	100	4.9×10^{-7}
All data	100	5.32×10^{-7}
Same data spectrum	100	2.27×10^{-6}
SNV	100	1.54×10^{-6}
MSC	100	0.000584

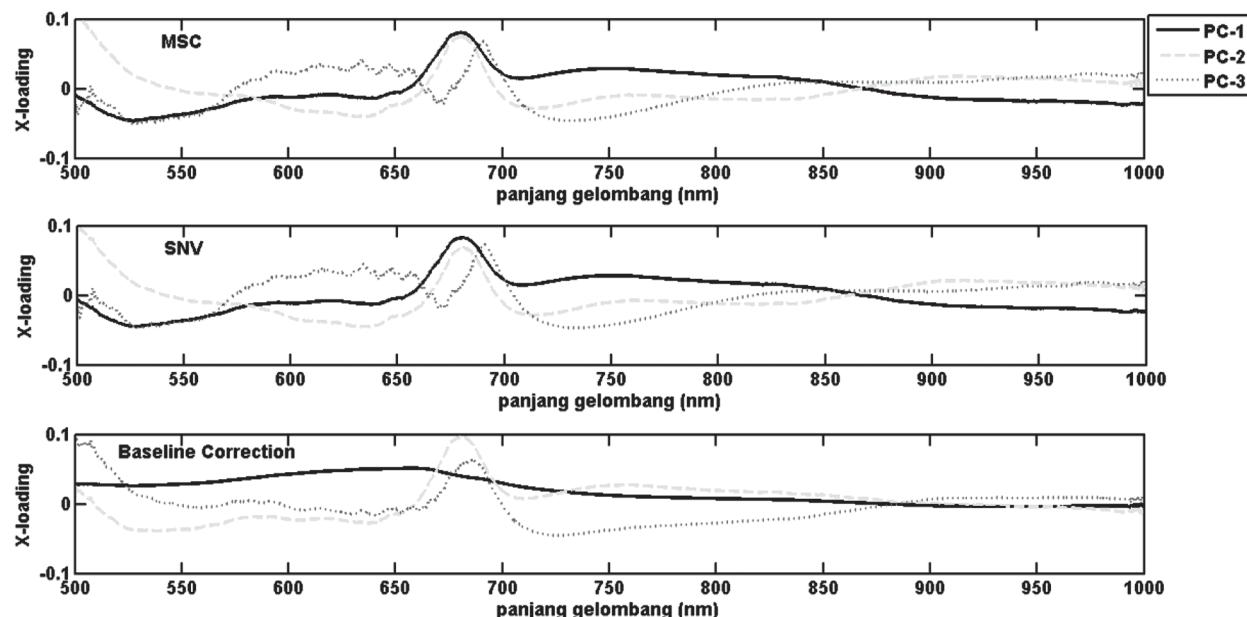
digunakan untuk proses klasifikasi agar didapatkan model klasifikasi terbaik. Hasil klasifikasi menggunakan panjang gelombang sensitif tersaji pada Tabel 3. Berdasarkan nilai kinerja cross entropy dari jaringan saraf tiruan didapatkan bahwa panjang gelombang sensitif dengan praperlakuan *baseline correction* adalah yang terbaik.

Berdasarkan nilai akurasi dan kinerja JST dari Tabel 3, praperlakuan *baseline correction* menghasilkan akurasi tertinggi dan nilai kinerja yang paling rendah. Panjang gelombang sensitif dari praperlakuan *baseline correction* selanjutnya diuji menggunakan data spektrum yang tidak diikutkan selama proses pembangunan model klasifikasi daun jeruk. Data uji (8 sampel) yang digunakan adalah daun dengan kategori belum bergejala dari pohon yang positif terserang HLB. Model klasifikasi mengklasifikasi semua sampel uji sebagai daun sakit (Tabel 4), hasil tersebut konsisten dengan hasil pengujian sampel daun menggunakan metode PCR yang mengkategorikan daun belum bergejala tersebut sebagai daun sakit. Keberhasilan model mengklasifikasi daun belum bergejala dapat terjadi karena diantara panjang gelombang sensitif tersebut terdapat panjang gelombang 680nm yang menunjukkan daerah serapan klorofil (Carter dan Knapp 2001). Hasil penelitian Windham *et al.* (2011) menyimpulkan bahwa perbedaan antara daun sakit HLB dan daun sehat dapat diamati

pada panjang gelombang yang berasosiasi dengan serapan klorofil, yang pada daun sakit HLB memiliki nilai absorban yang lebih rendah dibandingkan dengan daun sehat. Selain panjang gelombang 680nm, panjang gelombang 997.25nm yang merupakan kisaran panjang gelombang daerah serapan pati (Osborne *et al.* 1993) juga menjadi pembeda untuk daun sakit dan sehat. Kaitan antara daun sakit terinfeksi HLB dan kandungan pati di daun adalah kandungan pati di daun 3-8 kali lebih banyak dibandingkan dengan daun sehat (Fan *et al.* 2010). Hasil pengujian terhadap kategori sampel daun belum bergejala menunjukkan bahwa model klasifikasi berpotensi untuk digunakan mendeteksi lebih awal penyakit HLB sehingga tindakan pengendalian dapat dilakukan dengan cepat.

Aplikasi Untuk Deteksi Penyakit HLB

Aplikasi yang telah dikembangkan berbasis komputer dekstop yang tidak memerlukan kebutuhan sistem operasi tertentu. Output aplikasi ini berupa keputusan dalam bentuk biner, bahwa data spektum yang diinputkan terkласifikasi sebagai kelompok sakit atau sehat. Aplikasi ini memiliki kelebihan dapat mendeteksi daun jeruk yang terserang HLB walaupun secara morfologi (fisik) belum menunjukkan gejala sakit. Fitur utama dari aplikasi tersaji pada Gambar 6, terdiri atas tombol *open*, *transfer*, dan *classify*, *textbox* untuk menampilkan



Gambar 5. Plot X-loading komponen utama untuk tiga jenis metode praperlakuan.

Tabel 4. Hasil klasifikasi JST terhadap spektrum daun berlum bergejala.

Sampel	Aktual	Target
1	1.01×10^{-4}	0.999899
2	3.45×10^{-6}	0.999997
3	2.72×10^{-8}	1.000000
4	9.67×10^{-5}	0.999903
5	1.79×10^{-5}	0.999982
6	5.93×10^{-6}	0.999994
7	3.88×10^{-8}	1.000000
8	3.51×10^{-3}	0.996494

Keterangan: [0 1] kodifikasi untuk kategori sakit
[1 0] kodifikasi untuk kategori sehat

data pengukuran spektrum Vis-NIR, *textbox2* untuk menampilkan hasil perhitungan, berupa keputusan bahwa spektrum hasil pengukuran dikategorikan sakit atau sehat, serta *listview* untuk menampilkan data pengukuran berformat numerik. Setiap tombol panel memiliki fungsi yaitu, tombol *open* digunakan untuk membuka *file* hasil pengukuran spectrometer Vis-NIR, kemudian data spektrum ditampilkan pada *textbox*. Selanjutnya, untuk memisahkan data antara tipe numerik dan tipe karakter dari data pengukuran, digunakan tombol *transfer*. Tombol *classify* digunakan untuk proses perhitungan data spektrum Vis-NIR termasuk dalam kelas daun sehat atau sakit, selanjutnya hasil keputusan klasifikasi ditampilkan pada *textbox2*. Pengklasifikasian spektrum data pengukuran Vis-NIR didasarkan atas model klasifikasi yang dibangun menggunakan metode JST. Nilai bobot dan bias pada lapisan tersembunyi dan lapisan output yang merupakan penyusun dari model klasifikasi ditanamkan pada aplikasi deteksi penyakit HLB untuk mengklasifikasikan data spektrum Vis-NIR yang diinput pada sistem.

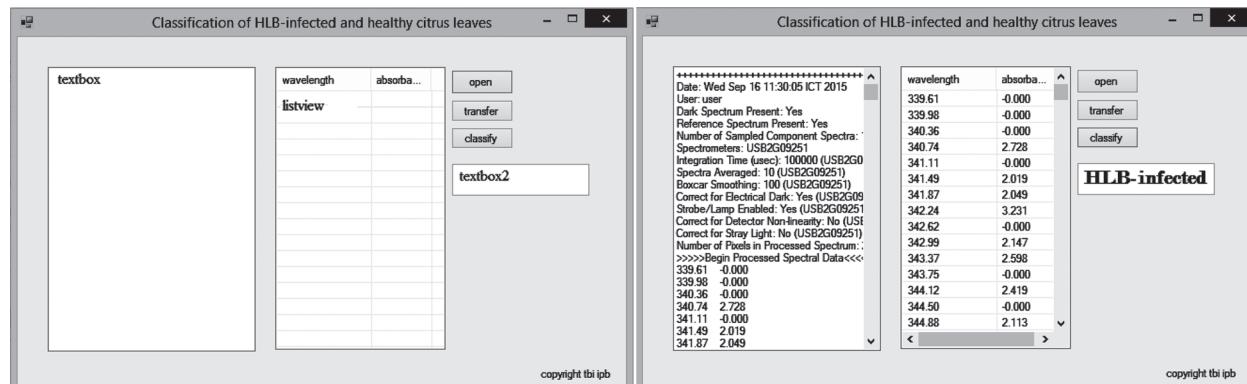
Simpulan

Aplikasi untuk klasifikasi daun jeruk terinfeksi HLB berbasis komputer desktop berdasarkan

panjang gelombang sensitif telah berhasil dibangun menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Model klasifikasi yang dibangun menggunakan metode klasifikasi jaringan saraf tiruan. Aplikasi yang dibangun dapat mengklasifikasikan dengan tepat daun sehat dan daun terinfeksi HLB dengan akurasi 100%, dan dapat mengklasifikasikan dengan tepat daun belum bergejala dengan akurasi 100%. Panjang gelombang sensitif yang ditanamkan pada sistem adalah nilai *X-loading* hasil analisis komponen utama dengan pemberian praperlakuan spektrum *baseline correction*, yang nilai panjang gelombang sensitifnya adalah 500.52, 538.61, 658.16, 680.8, 725.84 dan 997.25nm.

Daftar Pustaka

- Bove JM, Genomique DR, Pathogene P, Recherche C De, Bordeaux I De, Bourlaux E, Cedex O, Df A, Pereira A, Araraquara P. 2006. HUANGLONGBING : A Destructive, Newly-Emerging, Century-Old Disease of Citrus. J. Plant Pathol. 88(1):7–37.
- Cardinali MC do B, Boas PRV, Milori DMBP, Ferreira EJ, Silva MF e, Machado MA, Bellete BS, Silva MF das GF da. 2012. Infrared spectroscopy: A potential tool in huanglongbing and citrus variegated chlorosis diagnosis. Talanta 91:1–6.
- Carter GA, Knapp AK. 2001. Leaf optical properties in higher plants: linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. Am. J. Bot. 88(4):677–684.
- Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, Jacquemoud S, Gregoire JM. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. Remote Sens. Environ. 77(1):22–33.
- Cen H, He Y. 2007. Theory and application of near infrared reflectance spectroscopy in determination of food quality. Trends food Sci. Technol. 18(2):72–83.
- Etxeberria E, Gonzalez P, Dawson W, Spann T. 2007. An Iodine-Based Starch Test to Assist in Selecting Leaves for HLB Testing.
- Fan J, Chen C, Bransky RH, Gmitter FG, Li ZG. 2010. Changes in carbohydrate metabolism



Gambar 6. GUI aplikasi deteksi penyakit HLB, jendela utama (kiri) dan hasil (kanan).

- in *Citrus sinensis* infected with "Candidatus *Liberibacter asiaticus*". *Plant Pathol.* 59(6):1037–1043.
- Granitto PM, Navone HD, Verdes PF, Ceccatto H a. 2002. Weed seeds identification by machine vision. *Comput. Electron. Agric.* 33(2):91–103.
- Heise HM, Winzen R. 2002. Fundamental Chemometric Methods. In: Siesler H., Ozaki Y, Kawata S, Heise H., editors. *Near-Infrared Spectroscopy Principles, Instruments, Applications*. Weinheim: Wiley-VCH. p. 125–162.
- Iftikhar Y, Rauf S, Shahzad U, Zahid MA. 2016. Huanglongbing : Pathogen detection system for integrated disease management – A review. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.* 15(1):1–11.
- Kim DG, Burks TF, Schumann AW, Zekri M, Zhao X. 2009. Detection of Citrus Greening Using Microscopic Imaging. *CIGR J. XI*.
- Li X, He Y. 2008. Discriminating varieties of tea plant based on Vis/NIR spectral characteristics and using artificial neural networks. *Biosyst. Eng.* 99(3):313–321.
- Luo X, Takahashi T, Kyo K, Zhang S. 2012. Wavelength selection in vis / NIR spectra for detection of bruises on apples by ROC analysis. *J. Food Eng.* 109(3):457–466.
- Mishra AR, Karimi D, Ehsani R, Lee WS. 2012. Identification of Citrus Greening (HLb) Using a Vis-Nir Spectroscopy Technique. *Trans. Asabe* 55(2):711–720.
- Nasr G, Badr E, Joun C. 2002. Cross Entropy Error Function in Neural Networks: Forecasting Gasoline Demand. *FLAIRS Conf.*:381–384.
- Nurhadi. 2015. PENYAKIT HUANGLONGBING TANAMAN JERUK (Candidatus *Liberibacter asiaticus*): ANCAMAN DAN STRATEGI PENGENDALIAN Huanglongbing Disease (Candidatus *Liberibacter asiaticus*) on Citrus : Threats and Control Strategy. *Pengemb. Inov. Pertan.* 8(1):21–32.
- Osborne BG, Fearn T, Hindle PH, Hindle PT. 1993. Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis. Singapore: Longman Scientific & Technical (Longman food technology).
- Ozaki Y, Morita S, Du Y. 2007. Spectral Analysis. In: Ozaki Y, McClure WF, Christy AA, editors. *Near-Infrared Spectroscopy In Food Science And Technology*. New Jersey: Wiley-Interscience. p. 47–72.
- Pholpho T, Pathaveerat S, Sirisomboon P. 2011. Classification of longan fruit bruising using visible spectroscopy. *J. Food Eng.* 104(1):169–172.
- Poole G. 2008. Visible/near-infrared spectroscopy for discrimination of HLB-infected citrus leaves from healthy leaves. In: Proc. Intl. Research Conf. on Huanglongbing. St. Paul, Minn: Plant Management Network. p. 178–180.
- Pourreza A, Lee WS, Raveh E, Ehsani R, Etxeberria E. 2014. Citrus Huanglongbing Detection Using Narrow-Band Imaging and Polarized Illumination. *Trans. Asabe* 57(1):259–272.
- Rady A, Guyer D. 2015. Utilization of visible/near-infrared spectroscopic and wavelength selection methods in sugar prediction and potatoes classification. *J. Food Meas. Charact.* 9(1):20–34.
- Sankaran S, Ehsani R. 2011. Visible-near infrared spectroscopy based citrus greening detection: Evaluation of spectral feature extraction techniques. *Crop Prot.* 30(11):1508–1513.
- Sankaran S, Ehsani R. 2012. Detection of Huanglongbing Disease in Citrus Using Fluorescence Spectroscopy. *Trans. Asabe* 55(1):313–320.
- Sankaran S, Ehsani R, Etxeberria E. 2010. Mid-infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing (greening) in citrus leaves. *Talanta* 83:574–581.
- Sankaran S, Maja JM, Buchanon S, Ehsani R. 2013. Huanglongbing (citrus greening) detection using visible, near infrared and thermal imaging techniques. *Sensors (Basel)*. 13(2):2117–30.
- Sankaran S, Mishra A, Maja JM, Ehsani R. 2011. Visible-near infrared spectroscopy for detection of Huanglongbing in citrus orchards. *Comput. Electron. Agric.* 77(2):127–134.
- Schneider H. 1968. Anatomy of greening-diseased sweet orange shoots. *Phytopathology* 58(1):1155–1160.
- Sims DA, Gamon JA. 2002. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. *Remote Sens. Environ.* 81(2):337–354.
- Taufik M, Khaeruni A, Pakki T. 2010. Deteksi Keberadaan Citrus Vein Phloem Degeneration (CVPD) dengan Teknik PCR (Polymerase Chain Reaction) di Sulawesi Tenggara. *J. HPT Trop.* 10(1):73–79.
- West JS, Bravo C, Oberti R, Lemaire D, Moshou D, McCartney HA. 2003. The Potential of Optical Canopy Measurement for Targeted Control of Field Crop Diseases. *Annu. Rev. Phytopathol* 41(1):593–614.
- Windham WR, Poole GH, Park B, Heitschmidt G, Hawkins SA, Albano JP, Gottwald TR, Lawrence KC. 2011. Rapid screening of Huanglongbing-infected citrus leaves by near-infrared reflectance spectroscopy. *Trans. ASABE* 54:2253–2258.
- Yuan HC, Xiong FL, Huai XY. 2003. A method for estimating the number of hidden neurons in feed-forward neural networks based on information entropy. *Comput. Electron. Agric.* 40(1):57–64.

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi

Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

(Indonesian Society of Agricultural Engineering)

bekerjasama dengan

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATEKA

Institut Pertanian Bogor



JTEP JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN 2407-0475 E-ISSN 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017

Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)

Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)

Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)

Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)

Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)

Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)

Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makasar)

I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)

Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)

Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)

Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)

Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)

Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)

Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)

Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)

Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Aplikasi Pelapis Bionanokomposit berbasis Karagenan untuk Mempertahankan Mutu Buah Mangga Utuh

Application of Carrageenan-based Bionanocomposite Coating for Maintaining Quality of Whole Mango Fruit

Bayu Meindrawan, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: bayumeindrawan@gmail.com

Nugraha Edhi Suyatma, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: nugrahaedhi@gmail.com

Tien Ruspriatin Muchtadi, Departemen Ilmu Pangan, Institut Pertanian Bogor.

Email: tienrmuchtadi@yahoo.com

Evi Savitri Iriani, Indonesian Agency for Postharvest Research and Development.

Email: evi.savitri1601@gmail.com

Abstract

Mango is one of Indonesia export commodities which vulnerable to decay during transportation and storage. Coating is known as an effective method to overcome such shortcomings of mango during storage. The objective of this study is to examine the effect of carrageenan-based bionanocomposite coating application for maintaining quality of mango type Gedong gincu stored at 20 °C as well as characterize the mechanical and water vapor barrier properties of resulting film. Zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) (1 % w/w carrageenan) and beeswax (3 % v/v solution), as hydrophobic component, were incorporated into carrageenan polymer to produce bionanocomposite solution. The results showed the mechanical and water vapor barrier properties of carrageenan films were improved by the addition of beeswax and ZnO NPs. N1B1 (carrageenan + beeswax + ZnO NPs) emerged as the most effective coating formulation to delay the change of weight loss, firmness, CO₂ production, total acidity as well as alteration in color parameters (L, a and b) of mango during storage. Carrageenan-based bionanocomposite coating was potential as alternative method to keep the quality of mango during storage.

Keywords: mango, bionanocomposite, carrageenan, beeswax, ZnO nanoparticles

Abstrak

Mangga merupakan salah satu komoditas ekspor Indonesia yang rentan mengalami kerusakan selama transportasi dan penyimpanan. Pelapisan dikenal sebagai metode yang efektif untuk mengatasi masalah mangga selama penyimpanan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengkaji pengaruh aplikasi pelapis bionanokomposit berbasis karagenan dalam mempertahankan kualitas mangga jenis Gedong gincu yang disimpan pada suhu 20 °C serta mengkarakterisasi sifat mekanis dan *barier* uap air dari film yang dihasilkan. Nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) (1% b/b karagenan) dan beeswax (3 % v/v larutan), sebagai komponen hidrofobik, diinkorporasikan ke dalam polimer karagenan untuk menghasilkan larutan bionanokomposit. Hasil penelitian menunjukkan sifat mekanis serta barier uap air dari film karagenan mampu diperbaiki dengan penambahan beeswax dan NP-ZnO. N1B1 (karagenan + beeswax + NP-ZnO) muncul sebagai formulasi pelapis yang paling efektif dalam menekan perubahan susut bobot, kekerasan, produksi CO₂, total asam serta perubahan parameter warna (L, a dan b) mangga selama penyimpanan. Pelapis bionanokomposit berbasis karagenan potensial sebagai alternatif metode untuk menjaga kualitas mangga selama penyimpanan.

Kata kunci: mangga, bionanokomposit, karagenan, lilin lebah, nanopartikel ZnO

Diterima: 07 Mei 2016; Disetujui: 20 Desember 2016

Latar belakang

Mangga merupakan salah satu komoditas ekspor Indonesia dengan volume ekspor yang terus meningkat (Qanytah dan Ambarsari 2011). Saat ini pangsa pasar ekspor utama buah mangga segar Indonesia adalah Timur Tengah, Hongkong, Singapura, Malaysia, dan Brunei Darussalam dimana pengiriman dilakukan melalui transportasi laut. Akan tetapi pengiriman ini memerlukan waktu yang lama sehingga buah mangga banyak mengalami kerusakan sesampainya di negara tujuan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi hal tersebut sekaligus memperpanjang umur simpan buah mangga diantaranya dengan penyimpanan suhu dingin, penyimpanan atmosfer terkontrol atau termodifikasi, irradiasi, perlakuan kimia dan pelapisan (Liu et al. 2014).

Penelitian mengenai pelapisan pada buah mangga untuk mempertahankan kualitas mangga selama penyimpanan telah cukup banyak dilakukan. Kittur et al (2001), Zhu et al (2008), serta Moalemiyan et al (2011) melaporkan bahwa penggunaan pelapis berbasis polisakarida efektif untuk menghambat laju respirasi, kehilangan kekerasan, perubahan warna, serangan *C. gloeosporioides* serta menurunkan pembentukan asam askorbat pada mangga.

Karagenan adalah salah satu polisakarida yang sangat potensial sebagai pembentuk film pelapis (Shojaee-aliabadi et al. 2014) dan telah diaplikasikan sebagai pelapis pada buah mangga (Plotto et al. 2010). Akan tetapi, sebagian besar film pelapis tunggal yang bersifat hidrofilik memiliki barier terhadap gas yang baik namun memiliki ketahanan terhadap uap air yang buruk. Beberapa jenis senyawa hidrofobik seperti *lipid* sering diinkorporasikan ke dalam film hidrokoloid untuk mengatasi hal tersebut (Shojaee-Aliabadi et al. 2014).

Beeswax (lilin lebah) merupakan salah satu jenis *lipid* yang efektif dalam meningkatkan sifat barier kelembapan dari film hidrofilik. Penelitian melaporkan bahwa penambahan beeswax ke dalam film berbasis karagenan (Diova et al. 2013), pati (Han et al. 2006; Muscat et al. 2013), pektin (Mafsoonazad et al. 2007) dan sodium kaseinat (Fabra et al. 2008) dapat menurunkan permeabilitas uap air dari film. Sedangkan aplikasi beeswax sebagai campuran material pelapis buah telah banyak diteliti seperti pada jambu (Ruzaina et al. 2013) dan stroberi (Velickova et al. 2013).

Alternatif terbaru untuk memperbaiki performa film hidrofilik adalah mencampurkan pengisi (*filler*) berukuran nano ke dalam matriks biopolimer sehingga terbentuk polimer bionanokomposit. Nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) merupakan salah satu material pengisi yang telah diaplikasikan secara luas dikarenakan memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang besar, sifat termal dan mekanis yang unik, serta telah diterima sebagai

substansi GRAS (*Generally Recognized As Safe*) (Sharon et al. 2010). NP-ZnO telah diinkorporasikan ke dalam polimer seperti PVC (Li et al. 2011), kitosan (Meng et al. 2014) dan pektin (Sabarisman et al. 2015) untuk menghasilkan pelapis bionanokomposit yang efektif dalam mempertahankan mutu buah. Akan tetapi, saat ini penggunaan pelapis bionanokomposit untuk menjaga kualitas mangga belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh aplikasi pelapis bionanokomposit berbahan baku karagenan, beeswax serta NP-ZnO dalam upayanya mempertahankan kualitas fisik dan kimia buah mangga. Pengaruh penambahan komponen hidrofobik (beeswax) dan nanopartikel ZnO (NP-ZnO) terhadap sifat mekanis serta *barier* dari film yang dihasilkan juga diuji.

Bahan dan Metode

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan yaitu mangga Gedong gincu yang diperoleh dari petani mangga di dusun Sumber, Cirebon dengan tingkat kematangan 70 – 80 % atau berumur sekitar 90 hari setelah bunga mekar. Material untuk membuat pelapis bionanokomposit antara lain kappa-karagenan (Sigma Aldrich, Jerman), nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) dengan ukuran partikel rata-rata 20 nm (Wako, Jepang), beeswax (lilin lebah) diperoleh dari petani madu di Bogor dan gliserol sebagai pemlastis. Bahan kimia lain yang digunakan antara lain Span 60 dan Tween 60 untuk membuat emulsi beeswax serta NaOCl, NaOH dan indikator PP dengan *analytical grade*. Peralatan yang digunakan yaitu *stirring hot plate*, *universal testing machine* Instron, instumen uji permeabilitas uap air, *ultraturrax digital* IKA T-25, *texture analyzer* CT V1.2 Brookfield, neraca analitik merek WPS 600 Radwag, CO₂ meter Lutron GCH, serta kamera digital Canon IXUS 160.

Prosedur Penelitian

Penelitian terdiri dari dua tahapan yaitu pembuatan larutan bionanokomposit dan karakterisasi film yang dihasilkan serta aplikasinya sebagai pelapis mangga. Pembuatan larutan pelapis bionanokomposit mengacu pada modifikasi metode yang dilakukan oleh Kanmani dan Rhim (2014). Sebanyak 1 % nanopartikel seng oksida (NP-ZnO) (½ karagenan) dilarutkan dalam 500 ml akuades menggunakan *ultraturrax*. Setelah terdispersi sempurna, ke dalam larutan tersebut ditambahkan 4 g karagenan sambil diaduk menggunakan *stirring hot plate* hingga 60 °C. Selanjutnya, 2.5 ml gliserol dan 3 % beeswax (½ larutan) yang sebelumnya telah diemulsikan (mengacu pada metode Ramnanan-Singh 2012) dicampurkan ke dalam larutan hingga suhu 80 °C dan dipertahankan selama 5 menit. Larutan pelapis

yang terbentuk didiamkan hingga dingin sebelum diaplikasikan pada mangga. Sebanyak 4 formulasi larutan pelapis dihasilkan antara lain N0B0 (karagenan), N0B1 (karagenan + beeswax), N1B0 (karagenan + NP-ZnO) serta N1B1 (karagenan + NP-ZnO + beeswax).

Mangga dengan tingkat kematangan 70 – 80 % atau sekitar 90 hari setelah bunga mekar disortasi berdasarkan ukuran dan warna yang seragam serta dipastikan tidak mengalami kerusakan fisik dan bebas dari serangan hama. Permukaan mangga disterilisasi dengan dicelupkan dalam larutan NaOCl 1 % selama 3 menit kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan. Mangga kemudian dicelupkan ke dalam larutan pelapis bionanokomposit dan ditiriskan. Mangga tanpa pencelupan dianggap sebagai kontrol. Sampel mangga kemudian disimpan pada suhu 20 °C dan dilakukan pengujian secara berkala.

Untuk karakterisasi film bionanokomposit yang dihasilkan, sebanyak 25 ml larutan dituang ke dalam cawan petri dan didiamkan selama 48 jam dalam suhu ruang hingga air menguap. Film yang telah kering diangkat dari cawan petri kemudian dibungkus dalam aluminium foil dan disimpan dalam desikator dengan RH = 53 % selama 48 jam untuk prekondisi sebelum dilakukan karakterisasi.

Parameter Pengamatan Karakterisasi Film Bionanokomposit

Laju Transmisi Uap Air

Laju transmisi uap air film diukur berdasarkan metode pada ASTM D1249-90 (1993) dengan sedikit modifikasi. Sampel film dipotong dalam bentuk silinder dengan diameter 30 mm dan dilekatkan pada wadah permeansi dengan kemudian disimpan dalam desikator pada 25 °C. Gradien RH diantara film dijaga dengan meletakkan CaCl₂ anhidrat (RH 2 %) di dalam wadah permeansi dan larutan KCl jenuh (RH 97 %) dalam desikator. Wadah permeansi ditimbang secara berkala. Laju transmisi uap air film (*water vapour transmission rate/WVTR*) (g/m² jam) dihitung dari kemiringan garis (*slope*) yang dihasilkan dari analisis regresi bobot sebagai fungsi waktu.

Sifat Mekanis

Sifat mekanis film dianalisis mengacu pada metode ASTM D 882-02 (2002) menggunakan instrumen *Universal Testing Machine* (Instron, USA). Film dipotong dengan pola tertentu berukuran 2 cm x 7 cm. *Initial grip* diatur pada 17 mm dengan kecepatan tarik 20 mm/menit. Kuat tarik (MPa) ditentukan dengan membagi beban maksimum (N) dengan area *cross section* awal film (m²) sedangkan nilai elongasi merupakan persentase pemanjangan film sebelum film putus. Nilai kuat tarik dan elongasi merupakan rata-rata dari 3 kali pengukuran setiap sampel.

Perubahan Mutu Mangga

Susut bobot

Sampel mangga ditimbang menggunakan neraca analitik untuk mengetahui susut bobotnya selama penyimpanan. Susut bobot mangga dihitung menggunakan persamaan 1.

$$W (\%) = \frac{(mi - mt)}{mi} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan: w = susut bobot (%), mi = massa awal (g), mt = massa akhir (g).

Kekerasan

Kekerasan mangga diukur menggunakan instrumen *texture analyzer* dengan tipe *probe TA 39*, beban kompresi 4500 g dengan kecepatan kompresi 0.5 mm/s. Kompresi dilakukan pada 5 titik yang berbeda pada tiap buah mangga yaitu 1 titik masing-masing di ujung dan pangkal buah serta 3 titik di bagian tengah buah. Kekerasan sampel diperoleh dari nilai maksimum (N) rata-rata yang tercatat selama dilakukan kompresi.

Produksi CO₂

Laju respirasi mangga dianalisis dengan mengukur produksi CO₂ (ppm). Sebanyak 3 buah sampel mangga ditempatkan dalam wadah bervolume 3,310 ml dan ditutup sedemikian rupa (*closed system*) sebelum diukur menggunakan CO₂ meter.

Total asam

Penetapan total asam dilakukan dengan titrasi mengacu pada metode AOAC. Sebanyak ±10 g sampel dimasukkan dalam labu ukur 250 ml dan diencerkan menggunakan akuades. Filtrat diambil sebanyak 25 ml dan diberi beberapa tetes indikator PP kemudian dititrasi menggunakan NaOH 0.1 N. Titik akhir titrasi ditandai dengan terbentuknya warna merah muda. Total asam (%) dihitung menggunakan persamaan 2.

$$Total \text{ asam (\%)} = \frac{(ml \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times P \times BE)}{B} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan: P = jumlah pengenceran (kali), BE = berat ekuivalen asam sitrat, N = normalitas NaOH (N), B = berat sampel (g)

Karakteristik warna

Karakteristik warna mangga diuji menggunakan kamera digital Canon IXUS 160. Gambar mangga (2 sisi) diambil dalam di lemari potret. Kondisi dikontrol dengan pencahayaan menggunakan lampu LED. Jarak lensa kamera dengan sampel yaitu 30 cm. Parameter warna L, a dan b hunter diperoleh dari analisis gambar menggunakan piranti lunak *Adobe Photoshop CS6*. Kursor digerakkan pada 30 titik yang berbeda (masing-masing sisi diambil 15 titik) pada gambar mangga. Pilihan *info* pada menu *window* terlebih dahulu diaktifkan.

Tabel 1. Laju transmisi uap air (WVTR) dan sifat mekanis film karagenan serta bionanokompositnya. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

Formulasi	WVTR (g/m ² jam)	Kuat tarik (MPa)	Elongasi (%)
N0B0	65.88 ± 1.55 ^d	84.83 ± 4.67 ^b	60.94 ± 6.03 ^a
N0B1	37.16 ± 0.86 ^b	31.07 ± 3.15 ^a	83.48 ± 6.28 ^b
N1B0	59.97 ± 0.87 ^c	113.07 ± 6.57 ^c	65.48 ± 1.49 ^a
N1B1	31.28 ± 1.26 ^a	28.97 ± 0.68 ^a	71.48 ± 2.29 ^a

Keterangan: Perbedaan huruf menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax

Analisis statistika

Data yang diperoleh dari pengamatan perubahan mutu mangga dianalisis secara statistik menggunakan Rancangan Acak Faktorial Lengkap dengan perlakuan pelapisan (formulasi) dan lama penyimpanan sebagai faktor. Sedangkan data hasil karakterisasi film dianalisis menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan formulasi sebagai kelompok. Uji lanjut Tukey pada taraf kepercayaan (α) 5 % dilakukan untuk mengetahui beda nyata antar perlakuan dan lama penyimpanan.

Hasil dan Pembahasan

Laju Transmisi Uap Air

Kemampuan film untuk melewaskan uap air dapat ditentukan dengan mengukur laju transmisi uap air (*water vapor transmission rate/WVTR*) film. Tabel 1 menunjukkan inkorporasi NP-ZnO menurunkan nilai WVTR secara signifikan ($\alpha = 5\%$). Hasil ini serupa dengan penelitian sebelumnya dimana penambahan NP-ZnO ke dalam polimer karagenan mampu menurunkan permeabilitas uap air dari film dari 1.89 menjadi 1.71×10^{-9} g/m Pa s (Kanmani dan Rhim 2014). Nanopartikel dilaporkan mampu membentuk jalur berliku bagi molekul air untuk melewati matriks film (Yu et al. 2009). Studi lain juga menyatakan bahwa permeabilitas uap air dari nanokomposit film pati terplastisasi gliserol/ZnO (Ma et al. 2009) dan pati sagu/ZnO (Nafchi et al. 2012). Nilai WVTR film karagenan juga menurun secara signifikan oleh keberadaan komponen hidrofobik (beeswax) dalam matriks film. Hasil yang sama juga didapatkan dengan penambahan beeswax ke dalam film berbasis pati tinggi amilosa (Muscat et al. 2013) dan poli asam laktat (Lim et al. 2015). Beeswax tersusun atas ester alkohol dan alkana rantai panjang yang sangat efektif dalam membatasi difusi air (Kristo et al. 2007). Pada penelitian ini, inkorporasi NP-ZnO yang dikombinasikan dengan beeswax menciptakan efek sinergis terbaik dalam menurunkan WVTR film (formulasi N1B1).

Sifat Mekanis

Sifat mekanis film yang diuji dalam penelitian ini

adalah parameter kuat tarik dan elongasi. Tabel 1 menunjukkan bahwa inkorporasi NP-ZnO ke dalam polimer karagenan meningkatkan kuat tarik film secara signifikan tetapi tidak berpengaruh pada nilai elongasi ($\alpha = 5\%$). Serupa dengan hasil penelitian ini, Ma et al (2009) melaporkan bahwa inkorporasi NP-ZnO ke dalam polimer pati terplastisasi gliserol meningkatkan kuat tarik film dari 3.94 menjadi 10.80 MPa sedangkan elongasi menurun dari 42.2 % menjadi 20.4 %. Peningkatan area kontak antara matriks polimer dengan nanopartikel diduga menjadi sebab tingginya kuat tarik film nanokomposit (Rhim dan Wang 2013). Nanopartikel ZnO mampu mengisi celah diantara rantai polimer sehingga membatasi pergerakan matriks dan berujung pada meningkatnya kuat tarik film (Li et al. 2009).

Keberadaan beeswax juga berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanis yang dibuktikan dengan menurunnya kuat tarik dan meningkatnya elongasi film. Hasil ini serupa dengan dengan penelitian Muscat et al (2013) yang menyatakan bahwa penambahan 5 % beeswax ke dalam pati tinggi amilosa dapat menurunkan kuat tarik dari 31.6 menjadi 25.8 MPa sedangkan elongasi meningkat dari 4.3 menjadi 9.2 %. Menurut Monedero et al (2009) komponen beeswax mampu meningkatkan derajat diskontinuitas matriks polimer sehingga perubahan bentuk film dapat diminimalkan. Semakin rendah kuat tarik film, fleksibilitas film semakin meningkat. Beeswax mengandung hidrokarbon tak jenuh yang bertanggung jawab pada fleksibilitas film (Kristo et al. 2007). Selain itu, keberadaan komponen pengemulsi seperti Span 60 dan Tween 60 dalam emulsi beeswax mampu memberikan efek sebagai pemlastis sehingga mampu meningkatkan elongasi film. Kombinasi NP-ZnO dan beeswax diketahui menghasilkan efek antagonis terlihat dari penurunan kuat tarik dari film sebesar 34 % sedangkan elongasi tidak berubah secara signifikan ($\alpha = 5\%$).

Susut bobot

Susut bobot mangga dipengaruhi secara nyata oleh kehilangan air akibat proses transpirasi serta respirasi. Gambar 1 menunjukkan susut bobot mangga meningkat signifikan ($\alpha = 5\%$) seiring dengan lamanya penyimpanan. Pada hari ke-16,

tercatat mangga kontrol mengalami susut bobot terbesar yaitu 19.84 %, sedangkan mangga dengan perlakuan N1B1 hanya sebesar 13.62 %. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa perlakuan N0B1 mampu menurunkan bobot mangga lebih kecil (14.35 %) dibanding N0B0 (hari ke-16). Kittur *et al.* (2001) melaporkan bahwa pelapisan mangga yang hanya menggunakan polisakarida tunggal tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap susut bobot buah karena cenderung bersifat hidrofilik. Penambahan komponen lemak seperti beeswax diketahui dapat meregulasi keseimbangan komponen hidrofilik-hidrofobik pelapis sehingga meningkatkan efektifitasnya dalam menekan kehilangan air. Penelitian serupa melaporkan bahwa pelapisan mangga menggunakan kombinasi polisakarida (pektin) dan lemak (beeswax) mampu menurunkan susut bobot mangga lebih kecil (4.4 %) dibanding kontrol (6.3 %) setelah 6 hari penyimpanan (Moalemiyan *et al.* 2011). Gambar 1 juga menunjukkan bahwa penambahan NP-ZnO pada pelapis (perlakuan N1B0) mampu menurunkan susut bobot lebih kecil dibanding kontrol dan N0B0 ($\alpha = 5\%$). Sesuai dengan hasil pengujian laju transmisi uap air bahwa penambahan nanopartikel mampu meningkatkan permeabilitas uap air dari film sehingga susut bobot akibat kehilangan air dapat dihambat. Penelitian lain melaporkan bahwa inkorporasi NP-ZnO dalam material pelapis berbasis mampu menurunkan susut bobot dari buah salak lebih baik dibanding kontrol (Marpaung *et al.* 2015, Sabarisman *et al.* 2015). Hal ini disebabkan keberadaan NP-ZnO dalam polimer pelapis mampu meningkatkan sifat mekanis dari polimer yang digunakan.

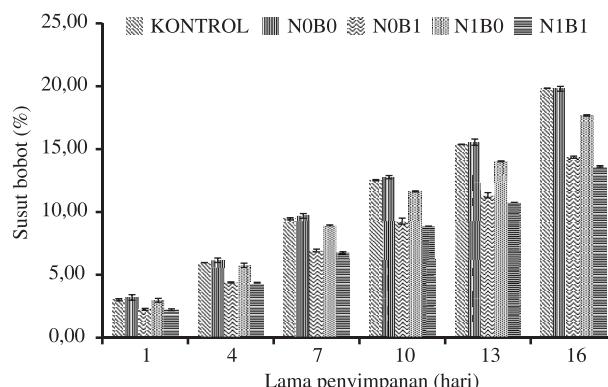
Kekerasan

Tingkat kekerasan buah mangga mengalami penurunan yang signifikan seiring lamanya penyimpanan ($\alpha = 5\%$) (Gambar 2). Mangga kontrol memiliki kekerasan sebesar 5.28 N sementara dengan pelapisan kekerasan mangga berkisar 4.79 – 5.74 N (hari ke-18) dimana hanya perlakuan N1B1 berbeda nyata dengan kontrol ($\alpha = 5\%$). Baldwin *et al.* (1999) menyatakan bahwa baik pelapis berbasis polisakarida maupun lemak (lilin karnauba) menghasilkan kekerasan buah mangga yang lebih tinggi (masing-masing 5.3 dan 7 N) dibanding kontrol (2.8 N). Akan tetapi, kombinasi antara polisakarida dan lemak diketahui lebih efektif dalam mempertahankan kekerasan buah mangga (Moalemiyan *et al.* 2011). Perubahan tekstur buah selama pematangan buah disebabkan oleh perubahan struktur dinding sel dan degradasi komponen pati oleh enzim membentuk gula sederhana (Kittur *et al.* 2001). Pelapisan diketahui mampu mempertahankan kekerasan dan menunda pelunakan daging buah mangga melalui dua cara yaitu penurunan laju transmisi uap air sehingga mampu menekan kehilangan air serta

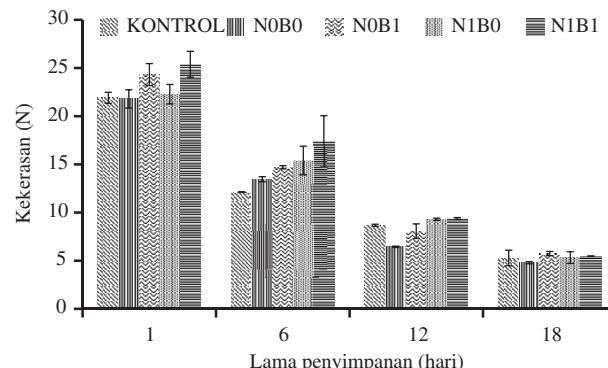
menunda degradasi komponen yang bertanggung jawab pada kekerasan buah, utamanya pektin tak larut dan protopektin (Moalemiyan *et al.* 2011). Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa pelapis dan pengemas berbasis NP-ZnO mampu menunda penurunan kekerasan buah seperti jujube (Li *et al.* 2009), kiwi (Meng *et al.* 2014) dan salak (Marpaung *et al.* 2015). Akan tetapi pada penelitian ini, uji sidik ragam ($\alpha = 5\%$) menunjukkan bahwa keberadaan NP-ZnO dalam material pelapis (perlakuan N1B0) tidak memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan kekerasan buah mangga. Pembentukan agregasi saat pembuatan bionanokomposit diduga sangat berpengaruh pada kemampuan NP-ZnO dalam meperbaiki performa dan sifat barier dari material pelapis.

Produksi CO₂

Pelapisan mampu menurunkan respirasi buah mangga ditunjukkan melalui produksi CO₂ selama penyimpanan (Gambar 3). Pada penelitian ini puncak produksi CO₂ mangga terjadi pada hari ke-7 penyimpanan dimana mangga kontrol menghasilkan CO₂ tertinggi yaitu 2,415 ppm

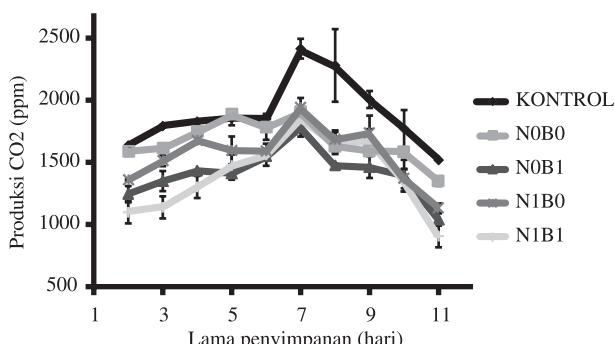


Gambar 1. Susut bobot mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

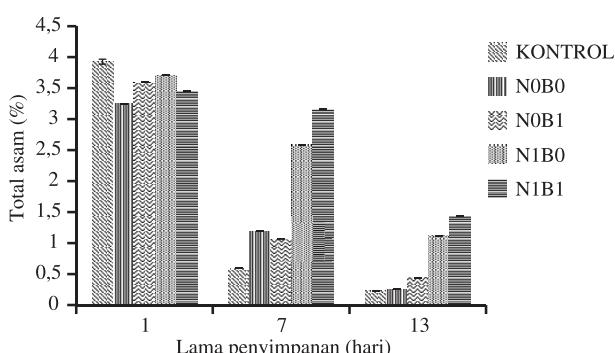


Gambar 2. Kekerasan mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

sedangkan perlakuan pelapisan berkisar antara 1,794 – 1,946 ppm. Pelapisan dengan material semi permeabel dilaporkan dapat menunda pematangan buah dengan memodifikasi level CO_2 , O_2 serta etilen dalam buah. Pelapisan mampu menurunkan jumlah O_2 untuk aktivitas respirasi serta membatasi difusi CO_2 keluar jaringan. Konsentrasi CO_2 internal dalam buah yang tinggi dapat menghambat respon terbentuknya etilen sehingga pematangan buah dapat tertunda (Moalemiyan *et al.* 2011). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua formulasi pelapis berbeda nyata dengan kontrol. Pada formulasi N0B1 dan N1B1, komponen lemak seperti beeswax diketahui mampu meningkatkan barier gas dari pelapis polisakarida sehingga menurunkan laju respirasi buah secara signifikan (Velickova *et al.* 2013). Pelapis dengan NP-ZnO diketahui memiliki permeabilitas gas yang selektif yang menurunkan pertukaran O_2 dan CO_2 dalam buah (Mastromatteo *et al.* 2011). Hal ini sejalan dengan penelitian Meng *et al* (2011) yang melaporkan bahwa buah kiwi yang diberi perlakuan pelapis berbasis NP-ZnO memiliki puncak produksi CO_2 lebih rendah dibanding tanpa pelapisan (kontrol).



Gambar 3. Produksi CO_2 mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.



Gambar 4. Total asam tertitrasi mangga selama penyimpanan. Keterangan: (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax.

Total asam

Tingkat keasaman merupakan faktor penting untuk menentukan kualitas buah dan penerimaan konsumen. Gambar 4 memperlihatkan total asam mangga menurun secara signifikan seiring bertambahnya lama penyimpanan ($\alpha = 5\%$). Penurunan total asam diakibatkan oleh degradasi asam sitrat karena aktivitas asam sitrat glioksilase selama pematangan atau proses metabolisme buah yang mengubahnya menjadi gula (Li *et al.* 2011). Mangga kontrol mengalami penurunan kandungan total asam sebesar 94.11 % pada hari ke-13 penyimpanan sedangkan pada perlakuan pelapisan berkisar 58.61 – 92.17 %. Penelitian telah membuktikan bahwa pelapisan mangga menggunakan material seperti kitosan (Zhu *et al.* 2008), pektin (Moalemiyan *et al.* 2011) serta lilin karnauba (Baldwin *et al.* 1999) mampu menunda penurunan keasaman buah mangga. Pelapisan berperan dalam menurunkan laju respirasi serta mengurangi penggunaan asam organik pada vakuola sebagai substrat respirasi sehingga mampu menunda pematangan buah (Medlicott *et al.* 1987). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan hanya perlakuan N1B0 dan N1B1 yang berbeda nyata terhadap kontrol. Fenomena ini dijelaskan oleh Velickova *et al* (2013) yang mengemukakan bahwa kombinasi polisakarida (kitosan) dan lemak (beeswax) sebagai pelapis mampu menunda penurunan total keasaman lebih baik dibanding pelapis dengan polisakarida tunggal. Sementara itu, NP-ZnO diduga berperan dalam perbaikan performa film pelapis dalam menurunkan laju respirasi buah. Hal ini dibuktikan oleh Li *et al* (2009) yang melaporkan bahwa laju transmisi oksigen dari pengemas berbasis NP-ZnO dilaporkan lebih rendah dibanding pengemas normal (polietilen). Terkait aplikasi, (Li *et al.* 2011) menyatakan penggunaan pengemas berbasis NP-ZnO mampu mempertahankan total asam buah apel lebih tinggi (0.71 %) dari pengemas normal (0.42 %) selama 12 hari penyimpanan.

Karakteristik warna

Karakteristik warna mangga (parameter L, a dan b) mangga selama penyimpanan tersaji pada Tabel 2. Nilai L (tingkat kecerahan) menurun secara signifikan seiring bertambahnya lama penyimpanan. Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua perlakuan pelapisan berbeda nyata dengan kontrol kecuali formulasi N0B0. Nilai a dan b juga cenderung mengalami kenaikan seiring bertambahnya lama penyimpanan ($\alpha = 5\%$). Akan tetapi perbedaan nyata terlihat setelah 10 hari penyimpanan untuk nilai a dan 7 hari untuk nilai b. Peningkatan nilai a mengindikasikan bertambahnya tingkat kemerahan warna mangga sedangkan nilai b berkaitan erat dengan tingkat kekuningan. Hasil pengukuran menunjukkan nilai a mangga yang diberi perlakuan pelapisan lebih

Tabel 2. Karakteristik warna mangga (parameter L, a dan b) mangga selama penyimpanan.

Perlakuan	L				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	50.01 ± 0.30 ^{Dbc}	49.47 ± 1.65 ^{Cbc}	49.84 ± 1.35 ^{Cbc}	44.68 ± 0.45 ^{Bbc}	40.10 ± 0.62 ^{Abc}
N0B0	52.19 ± 1.08 ^{Dc}	46.57 ± 0.68 ^{Cc}	49.27 ± 0.81 ^{Cc}	45.13 ± 0.98 ^{Bc}	43.68 ± 1.24 ^{Ac}
N0B1	43.69 ± 1.04 ^{Da}	45.22 ± 2.52 ^{Ca}	40.08 ± 2.71 ^{Ca}	36.92 ± 1.23 ^{Ba}	33.88 ± 1.76 ^{Aa}
N1B0	50.27 ± 0.84 ^{Db}	45.70 ± 0.35 ^{Cb}	47.81 ± 0.52 ^{Cb}	43.38 ± 1.32 ^{Bb}	42.97 ± 1.18 ^{Ab}
N1B1	52.07 ± 1.22 ^{Dd}	49.58 ± 0.90 ^{Cd}	48.82 ± 1.43 ^{Cd}	50.56 ± 1.10 ^{Bd}	45.83 ± 0.89 ^{Ad}

Perlakuan	a				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	-19.24 ± 1.56 ^{Abc}	-20.42 ± 1.26 ^{Abc}	-18.43 ± 1.55 ^{Abc}	-6.27 ± 1.22 ^{Bbc}	0.39 ± 2.41 ^{Cbc}
N0B0	-18.89 ± 1.02 ^{Ab}	-16.84 ± 1.70 ^{Ab}	-16.83 ± 1.38 ^{Ab}	-10.66 ± 3.87 ^{Bb}	-2.42 ± 2.69 ^{Cb}
N0B1	-17.00 ± 1.40 ^{Aa}	-18.45 ± 2.05 ^{Aa}	-16.48 ± 0.94 ^{Aa}	-13.10 ± 1.16 ^{Ba}	-13.32 ± 1.22 ^{Ca}
N1B0	-17.63 ± 1.17 ^{Ac}	-14.80 ± 0.97 ^{Ac}	-13.93 ± 2.08 ^{Ac}	-8.10 ± 2.63 ^{Bc}	0.36 ± 3.71 ^{Cc}
N1B1	-17.46 ± 1.30 ^{Aab}	-17.77 ± 0.95 ^{Aab}	-15.28 ± 0.68 ^{Aab}	-13.79 ± 2.55 ^{Bab}	-7.18 ± 3.60 ^{Cab}

Perlakuan	b				
	Hari-1	Hari-4	Hari-7	Hari-10	Hari-13
Kontrol	27.24 ± 1.44 ^{ABc}	26.13 ± 0.69 ^{Ac}	33.49 ± 2.83 ^{BCc}	31.33 ± 1.36 ^{ABc}	32.30 ± 2.84 ^{Cc}
N0B0	24.73 ± 2.91 ^{ABb}	22.06 ± 3.08 ^{Ab}	24.84 ± 0.76 ^{BCb}	23.11 ± 0.76 ^{ABb}	27.77 ± 0.26 ^{Cb}
N0B1	22.72 ± 1.99 ^{ABA}	22.30 ± 1.49 ^{Aa}	22.99 ± 1.47 ^{BCa}	21.19 ± 2.29 ^{ABA}	20.30 ± 1.77 ^{Ca}
N1B0	22.97 ± 2.28 ^{ABab}	20.05 ± 2.09 ^{Ab}	24.65 ± 2.51 ^{BCab}	23.26 ± 0.75 ^{ABab}	26.27 ± 0.60 ^{Cab}
N1B1	22.51 ± 2.79 ^{ABab}	23.53 ± 1.72 ^{Ab}	20.62 ± 3.20 ^{BCab}	21.85 ± 2.69 ^{ABab}	26.91 ± 2.78 ^{Cab}

Keterangan: Perbedaan huruf menunjukkan berbeda nyata untuk hari (huruf besar) dan perlakuan (huruf kecil). (N0B0) Karagenan, (N0B1) Karagenan + Beeswax, (N1B0) Karagenan + NP-ZnO, (N1B1) Karagenan + NP-ZnO + Beeswax

rendah (lebih negatif) dibanding kontrol yang mengindikasikan warna mangga lebih hijau. Hal ini juga berlaku pada nilai b, dimana mangga yang diberi pelapisan cenderung lebih rendah dibanding kontrol (warna mangga kontrol lebih kuning). Uji sidik ragam pada $\alpha = 5\%$ menunjukkan semua perlakuan pelapisan memberikan nilai a dan b yang berbeda nyata dengan kontrol kecuali formulasi N1B0 (untuk nilai a). Pada penelitian ini, pelapis N0B1 merupakan formulasi yang paling efektif dalam menunda perubahan warna mangga (nilai L, a dan b paling rendah). Penurunan perubahan warna pada buah disebabkan oleh efek pelapisan yang mampu memodifikasi komposisi udara dalam buah (mempertahankan konsentrasi CO_2 yang tinggi dalam internal buah) sehingga menghambat degradasi klorofil dan pembentukan beta karoten (Moalemiyan *et al.* 2011).

Simpulan

Kombinasi karagenan, NP-ZnO dan beeswax menghasilkan formulasi film yang memiliki permeabilitas uap air dan sifat mekanis yang baik. Aplikasi pelapis bionanokomposit dapat menunda peningkatan susut bobot, nilai a (tingkat kemerahan) dan nilai b (tingkat kekuningan)

mangga, serta meminimalkan penurunan total asam, kekerasan serta nilai L (kecerahan) mangga selama penyimpanan. Mangga dengan pelapisan menghasilkan CO_2 lebih rendah dibanding kontrol pada puncak respirasi (hari ke-7 penyimpanan). Pelapis berbasis karagenan dengan penambahan beeswax dan NP-ZnO (N1B1) merupakan formulasi yang paling efektif dalam mempertahankan mutu buah mangga varietas Gedong gincu.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada program Konsorsium Agro-Nanoteknologi Indonesia 2014/2015 yang telah membiayai dan memfasilitasi penelitian ini.

Daftar Pustaka

[ASTM] American Society for Testing and Materials (US). 1993. Standard test method for water vapor transmission rate through plastic film and sheeting using a modulated infrared sensor. Annual book of American Standard Testing Methods D1249 - 90.

- [ASTM] American Society for Testing and Materials (US). 2002. Standard test methods for tensile properties of plastics. Standard Designation: D 882-02.
- Baldwin, E.A., J.K. Burns, W. Kazokas, Brecht, R.D. Hagenmaier, R.J. Bender dan E. Pesis. 1999. Effect of two edible coatings with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica L.*) ripening during storage. Postharvest Biology and Technology. Vol.17(3):215-226.
- Diova, D.A., Y.S. Darmanto dan L. Rianingsih. 2013. Karakteristik *edible film* komposit semirefined karaginan dari rumput laut *Eucheuma cotonii* dan beeswax. Jurnal Pengolahan dan Bioteknologi Hasil Perikanan. Vol.2(3):1-10.
- Fabra, M.J., P. Talens dan A. Chiralt. 2008. Tensile properties and water vapor permeability of sodium caseinate films containing oleic acid-beeswax mixtures. Journal Food Engineering. Vol.8(3):393-400.
- Han, J.H., G.H. Seo, I.M. Park, G.N. Kim dan D.S Lee. 2006. Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsion. Journal of Food Science. Vol.6(71):290-296.
- Kanmani, P. dan J.W. Rhim. 2014. Properties and characterization of bionanocomposite films prepared with various biopolymers and ZnO nanoparticles. Carbohydrate Polymers. Vol.106(2014):190 – 199.
- Kittur, F.S., N. Saroja, Habibunnisa dan R.N. Tharanathan. 2001. Polycsaccharide-based composite coating formulations for shelf-life extension of fresh banana and mango. Food Research Technology. Vol.213(4):306-311.
- Kristo, E., C.G. Biliaderis dan A. Zampraka. 2007. Water vapor barrier and tensile properties of composite caseinate-pullulan films: biopolymer composition effects and impact of beeswax lamination. Food Chemistry. Vol.101(2):753-764.
- Li, H., F. Li, L. Wang, J. Sheng, Z. Xin, L. Zhao, H. Xiao, Y. Zheng dan Q. Hu. 2009. Effect of nano-packing on preservation quality of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba Mill.* var. *Inermis* (Bunge) Rehd.). Food Chemistry. Vol.114(2):547-552.
- Li, X., W. Li, Y. Jiang, Y. Ding, J. Yun, Y. Tang dan P. Zhang. 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut 'Fuji' apple. International Jouirnal of Food Science and Technology. Vol.46(9):1947-1955.
- Lim, J.H., J.A. Kim, J.A. Ko dan H.J. Park. 2015. Preparation and characterization of composites based on polylactic acid and beeswax with improved water vapor barrier properties. Journal of Food Science. Vol.80(11):2471-2477.
- Liu, K., X. Wang dan M. Young. 2014. Effect of bentonite/potassium sorbate coatings on the quality of mangos in storage at ambient temperature. Journal of Food Engineering. Vol.137(2014):16–22.
- Ma, X., P.R. Chang, J. Yang dan J. Yu. 2009. Preparation and properties of glycerol plasticized-pea starch/zinc oxide-starch bionanocomposites. Carbohydrate Polymer. Vol.75(3):472-478.
- Maftoonazad, N., H.S. Ramaswamy dan M. Marcotte. 2007. Evaluation of factors affecting barrier, mechanical and optical properties of pectin-based films using response surface methodology. Journal of Food Process Engineering. Vol.30(5):539-563.
- Marpaung M., A. Usman dan N.E. Suyatma. 2015. Pelapis nanokomposit untuk pengawetan salak pondoh terolah minimal. Jurnal Keteknikan Pertanian. Vol.3(1):73-80.
- Mastromatteo, M., A. Conte, dan M.A. Del Nobile. 2011. Combined effect of active coating and MAP to prolong the shelf life of minimally processed kiwifruit (*Actinidia deliciosa* cv. Hayward). Food Research International. Vol.44(5):1224-1230.
- Medlicott, A.P., J.M. Sigrist, S.B. Reynolds dan A.K. Thompson. 1987. Effect of ethylene and acetylene on mango fruit ripening. Journal Applied Biology. Vol.111(2):439-444.
- Meng, X., M. Zhang dan B. Adhikari. 2014. The effects of ultrasound treatment and nano-zinc oxide coating on the physiological activities of fresh-cut kiwifruit. Food Bioprocess Technology. Vol.7(1):126-132.
- Moalemiyan, M., H.S. Ramaswamy dan N. Maftoonazad. 2011. Pectin-based edible coating for shelf-life extension of Ataulfo mango. Journal of Food Processing. Vol.35(4):572-600.
- Monedero, F.M., M.J. Fabra, P. Talens dan A. Chiralt. 2009. Effect of oleic acid-beeswax mixtures on mechanical, optical and water barrier properties of soy protein isolate based films. Journal Food Engineering. Vol. 91(4):509-515.
- Muscat, D., R. Adhikari, S. McKnight, Q. Guo dan B. Adhikari. 2013. The physicochemical characteristics and hydrophobicity of high amylose starch-glycerol films in the presence of three natural waxes. Journal Food Engineering. Vol:119(2):205-219.
- Nafchi A.M., A.K. Alias, S. Mahmud dan M. Robal. 2012. Antimicrobial, rheological, and physicochemical properties of sago films filled with nanorod-rich zinc oxide. Journal Food Engineering. Vol.113(4):511-519.
- Plotto, A., J.A. Narciso, N. Rattanapanone dan E.A. Baldwin. 2010. Surface treatments and coating to maintain fresh-cut mango quality in storage. Journal of Food Science and Agriculture. Vol.90(13):2333-2341.
- Qanytah dan Ambarsari. 2011. Efisiensi penggunaan kemasan kardus distribusi mangga arumanis. Jurnal Litbang Pertanian. Vol.30(1):8-15.
- Ramnanan-Singh, R. 2012. Formulation and thermophysical analysis of a beeswax microemulsion and the experimental calculation of its heat transfer coefficient. (Thesis).

- Department of Mechanical Engineering, University of New York City. USA.
- Rhim, J.W. dan L.F. Wang. 2013. Mechanical and water barrier properties of agar/k-carrageenan/konjac glucomannan tertiary blend hydrogel film. Carbohydrate Polymer. Vol.96(1):71-81.
- Ruzaina, I., A.R. Norizzah, H.M.S Zahrah, C.S. Cheow, M.S. Adi, A.W. Noorakmar dan M.A. Zahid. 2013. Utilisation of palm-based and beeswax coating on the postharvest-life of guava (*Psidium guajava* L.) during ambient and chilled storage. International Food Research Journal. Vol.20(1):265-274.
- Sabarisman, I., N.E. Suyatma, U. Ahmad, F.M. Taqi. 2015. Aplikasi nanocoating berbasis pektin dan nanopartikel ZnO untuk mempertahankan kesegaran salak pondoh. Jurnal Mutu Pangan. Vol.2(1):50-56.
- Sharon, M., A.K. Choudhary dan R. Kumar. 2010. Nanotechnology in agricultural disease and food safety. Journal of Phytology. Vol.2(24):83-92.
- Shojaee-Aliabadi, S., H. Hosseini, M.A. Mohammadifar, A. Mohammadi, M. Ghasemlou, S.M. Hosseini, dan R. Khaksar. 2014. Characterization of K-carrageenan films incorporated plant essential oils with improved antimicrobial activity. Carbohydrate Polymers. Vol.101(2014):582-591.
- Velickova, E., E. Winkelhausen, S. Kuzmanova, V.D. Alves dan M.M. Martins. 2013. Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (*Fragaria ananassa* cv Camarosa) under commercial storage conditons. Food Science and Technology. Vol.52(2):80-92.
- Yu J., J. Yang, B. Liu dan X. Ma. 2009. Preparation and characterization of glycerol pasticized-pea starch/ZnO-carboxymethyl cellulose sodium nanocomposites. Biosource Technology. Vol.100(11):2832-2841.
- Zhu, X., Q. Wang, J. Cao, dan W. Jiang. 2008. Effects of chitosan on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits. Journal of Food Processing and Preservation. Vol.32(5):770-784

Halaman ini sengaja dikosongkan