

# jTEP

## JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 5, No. 3, Desember 2017



Publikasi Resmi  
**Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia**  
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)  
bekerjasama dengan  
**Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA**  
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan 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. Mulai edisi ini redaksi memandang perlu untuk meningkatkan nomor penerbitan dari dua menjadi tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap nomornya. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. 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 - Makassar)  
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, Bogor 16680.  
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,  
E-mail: [jtep@ipb.ac.id](mailto:jtep@ipb.ac.id) atau [jurnaltep@yahoo.com](mailto:jurnaltep@yahoo.com)  
Website: [web.ipb.ac.id/~jtep](http://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 menelaan (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 3 Desember 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. I Made Supartha, MS.,PhD (Fakultas Teknologi Pertanian, Udayana), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Hj, Nurpilihan Bafdal, MSc (Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Ida Ayu Dwi Giriantari, PhD (Fakultas Teknik, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Kamaruddin Abdullah, MSA (Universitas Darma Persada), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Andri Prima Nugroho, STP.,M.Sc (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Akhiruddin Maddu, MSi (Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP.,M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Universitas Sriwijaya), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Muhammad Faiz Syaib, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso, BW.,MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, MSi (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Rudiati Evi Masitoh, STP.,M.Dev.Tech, (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Sri Rahayoe, STP.,MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada).

---

---

*Technical Paper*

## **Karakteristik Emisi Akustik untuk Mendeteksi Rayap Tanah pada Kayu**

### *Characteristics of Acoustic Emission for Subterranean Termite Detection in Wood*

Muhammad Achirul Nanda, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Email: [m.achirulnanda@gmail.com](mailto:m.achirulnanda@gmail.com)  
Kudang Boro Seminar, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.  
Email: [seminarkudangboro@gmail.com](mailto:seminarkudangboro@gmail.com)  
Dodi Nandika, Departemen Teknologi Hasil Hutan, Institut Pertanian Bogor,  
Email: [nandikadodi@gmail.com](mailto:nandikadodi@gmail.com)

#### **Abstract**

*Various methods for detecting termites in the wood have been developed, one of those was based on acoustic emission. Eventhough, that method was difficult to distinguish the signal generated by termites or interference noise from the environment. It could be solved through a combination of acoustic emission and behavior of termites. Therefore, the purposes of this study were to analyze the acoustic signal and the moisture content to classify infested and uninfested wood by termites. The wood used in this study were made from Pinus logs, in air dried condition, which measure of 20(l) x 9.5(w) x 2.5(h) cm. Five wood were infested by 220 of *C. curvignathus* ('infested wood'), the others were in sound condition ('uninfested wood'). The acoustic signal was analyzed by FFT (Fast Fourier Transform) to transform from the time domain into the frequency domain. The results showed that moisture content of infested wood ( $11.94\pm 0.792\%$ ) was higher than uninfested board ( $10.82\pm 0.525\%$ ). Whereas the results of the acoustic signal indicated that the value of zero moment power of infested wood as well as uninfested wood, i.e.,  $13.405\pm 3.019$  and  $9.573\pm 2.188$  respectively. Finally, the parameters which able to classify infested and uninfested wood by termites significantly were moisture content and the zero moment power.*

**Keywords:** *Acoustic signal, moisture content, termites*

#### **Abstrak**

Berbagai metode untuk mendeteksi rayap di dalam kayu telah dikembangkan, salah satunya adalah berbasis emisi akustik. Namun, metode tersebut kesulitan untuk membedakan sinyal yang diakibatkan oleh rayap atau pengaruh gangguan dari lingkungan. Hal tersebut dapat diatasi dengan mengkombinasikan emisi akustik dengan perilaku rayap. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis sinyal emisi akustik dan kadar air untuk mengklasifikasikan kayu yang terserang oleh rayap dan tidak terserang oleh rayap. Kayu yang digunakan pada penelitian ini dibuat dari kayu pinus, pada kondisi kering dengan ukuran 20 (p) x 9.5 (l) x 2.5 (t) cm. Lima kayu terserang sebanyak 220 rayap *C. Curvignathus* ('kayu terserang'), kayu lain dalam keadaan baik ('kayu normal'). Hasil menunjukkan bahwa kadar air dari kayu terserang oleh rayap ( $11.94\pm 0.792\%$ ) lebih tinggi dibandingkan kayu normal ( $10.82\pm 0.525\%$ ). Sedangkan hasil dari sinyal akustik menunjukkan bahwa nilai *zero moment power* pada kayu terserang oleh rayap dan kayu normal secara berurutan adalah  $13.405\pm 3.019$  dan  $9.573\pm 2.188$ . Selanjutnya, parameter yang mampu untuk mengklasifikasikan kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal secara signifikan adalah parameter kadar air dan zero moment power.

**Kata kunci:** Kadar air, rayap, sinyal akustik

*Diterima: 12 Desember 2016; Disetujui: 15 Agustus 2017*

## Pendahuluan

Rayap merupakan serangga sosial yang hidup berkoloni sebagai hama perusak kayu yang paling mengganggu. Penyebaran rayap di Indonesia mencapai 49.9% dari luas daratan Indonesia, yakni 93.92 juta ha kawasan hutan yang merupakan habitat alami rayap. Tidak mengherankan jika di Indonesia terdapat 300 spesies rayap, sekitar 13% dari kekayaan spesies rayap di dunia (Nandika et al. 2015). Rayap mampu merusak bangunan gedung, mebel, buku-buku dan barang-barang yang disimpan. Nandika et al. (2015) memperkirakan bahwa kerugian ekonomis akibat serangan rayap pada bangunan rumah di Indonesia pada tahun 2015 telah mencapai Rp 8.7 triliun. Kerugian tersebut diduga akan terus mengalami peningkatan seiring dengan berkembangnya infrastruktur di perkotaan. Nandika dan Tambunan (1990) menyatakan bahwa rayap tanah *Coptotermes curvignathus* merupakan jenis rayap yang paling luas serangannya di Indonesia. Langkah yang dilakukan untuk mengatasi serangan rayap adalah dengan mendeteksi terlebih dahulu sebelum dilakukan pengendalian. Karena perilaku samar mereka, serangan rayap pada kayu atau produk kayu sulit dideteksi secara visual.

Sistem deteksi rayap secara nondestruktif pada dasarnya dirancang berdasarkan perilaku rayap seperti suhu, kelembaban, kadar air, gelombang suara, dan gas. Sehingga, teknologi yang sudah dikembangkan hingga saat ini untuk mendeteksi rayap meliputi teknologi berbasis emisi akustik, radar, sensor suhu, pengukuran kadar air kayu (*moisture meter*), *geophone*, kamera *borescope*, dan karbon dioksida (*CO<sub>2</sub> meter*). Emisi akustik merupakan salah satu metode nondestruktif yang diterapkan untuk mendeteksi adanya serangga di dalam kayu (Niemz dan Mannes 2012). Emisi akustik yang digunakan untuk mendeteksi rayap pada umumnya menggunakan sensor ultrasonik 20-200 kHz dengan bahan *lead zirconate titanate* (Matsuoka et al. 1996; Indrayani et al. 2006; Vernard et al. 2007; Lewis et al. 2011; Le et al. 2014; Rosadela et al. 2015). Namun, metode emisi akustik yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya hanya untuk spesies rayap yang ada pada wilayah tersebut. Oleh karena itu, identifikasi karakteristik emisi akustik dengan rayap endemik Indonesia masih sangat diperlukan. Selanjutnya, Rach et al. (2013) dan Gutierrez et al. (2010) menggunakan sensor *microphone electret* untuk mendeteksi serangga di dalam kayu berdasarkan sinyal akustik. Pada penelitian ini sinyal akustik dari rayap di dalam kayu diukur menggunakan sensor *microphone electret*. Sinyal akustik yang dihasilkan oleh rayap pada saat aktifitas makan dan bergerak dapat digunakan sebagai parameter untuk mendeteksi rayap. Selain itu, sinyal akustik yang dihasilkan oleh rayap adalah sinyal alarm dengan membenturkan kepala di dalam kayu sebagai peringatan adanya

musuh (Hager dan Kirchner 2013). Aktifitas rayap dapat dideteksi dengan menggunakan akustik pada jarak maksimal 1.5 m dengan luas balok kayu 60x1200 mm dari pusat serangan rayap, jarak deteksi tergantung dari sensor akustik dan massa dari kayu (Grosse dan Ohtsu 2008). Metode emisi akustik menunjukkan efektivitas pendeteksian rayap sebesar 78,9% pada kondisi laboratorium (Vernard et al. 2007). Namun sistem deteksi rayap secara nondestruktif dengan menggunakan akustik masih memiliki kelemahan, yakni kesulitan untuk membedakan sinyal yang dihasilkan oleh rayap dan gangguan dari lingkungan (Iii et al. 2015). Untuk mengatasi hal tersebut akustik dikombinasikan dengan perilaku dari rayap seperti kadar air, suhu, dan gas (Farkhanda 2013). Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis sinyal emisi akustik dan kadar air untuk mengklasifikasikan kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal.

## Bahan dan Metode

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah rayap *C. Curvignathus* yang diperoleh dari ruang budidaya rayap di Laboratorium Rayap, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor. Selanjutnya, kayu sebagai uji aktifitas makan dibuat dari kayu pinus *merkusii Jungh et de Vries*, dalam kondisi kering dengan ukuran 20 (p) x 9.5 (l) x 2.5 (t) cm. Pada bagian dalam terdapat petakan lubang dengan ukuran 12 (p) x 6 (l) x 0.5 (t) cm. Sedangkan, peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah dua buah sensor mikrofon elektret merek itead studio dengan rentang frekuensi 0.1-10 kHz, sensitifitas -56 dB sebagai pengukur sinyal akustik. Selanjutnya, sensor tersebut tersambung pada mikrokontroler Arduino uno (ATmega328P) yang berfungsi untuk mengkonversi sinyal analog ke digital. Hasil pembacaan data dari sensor secara otomatis akan ditampilkan pada oleh software Arduino IDE pada laptop (Lenovo Thinkpad X-240). Selain itu, kadar air diukur menggunakan *wood moisture meter* model GMK 1010 (G-Won Hitech CO., Ltd. Korea).

### Pengujian Kayu

Kayu dikelompokkan menjadi dua grup, yakni kayu terserang oleh rayap *Coptotermes Curvignathus* ('kayu terserang') dan kayu dalam kondisi baik sebagai kontrol ('kayu normal'). Kondisi suhu dan kelembaban ruangan laboratorium adalah 28°C dan RH 70%. Total rayap adalah 220 rayap yang terdiri dari 200 rayap pekerja dan 20 rayap prajurit. Setiap grup terdiri dari lima sampel kayu dengan kadar air awal sebesar 8.75±0.05%. Proses serangan rayap dilakukan secara alami selama satu minggu. Proses pengambilan data akustik dilakukan selama 1 menit (diulang sebanyak 15 kali). Proses pengukuran kadar air dilakukan pada

bagian permukaan kayu sebanyak tiga titik. Proses tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

**Pengukuran Emisi Akustik**

Pengambilan sampel emisi akustik dilakukan pada *sampling rate* 100 Hz. Artinya, dalam setiap detik diperoleh 100 sampel sinyal akustik. Sedangkan, jumlah data yang di analisis adalah  $3 \times 10^3$  sampel (sekitar 30 detik). Sinyal akustik merupakan sinyal yang tidak terbatas dalam domain waktu (*infinite time interval*). Pengukuran emisi akustik dikelompokkan menjadi dua, yaitu: fitur akustik berdomain waktu dan fitur akustik berdomain frekuensi. Salah satu fitur akustik pada domain waktu adalah energi. Fitur tersebut merupakan fitur yang didapatkan tanpa harus melakukan transformasi pada sinyal akustik. Sedangkan untuk fitur akustik pada domain frekuensi, untuk memperoleh nilainya harus dilakukan transformasi sinyal. Pada penelitian ini data sinyal akustik merupakan sinyal dalam domain waktu. Pada domain waktu diperoleh parameter energi (Giannakopoulos dan Pikrakis 2014), untuk menghitung nilai energi akustik digunakan persamaan 1.

$$E(i) = \frac{1}{W_L} \sum_{n=1}^{W_L} |X_i(n)|^2 \tag{1}$$

Dimana :

$E(i)$  : energi sinyal

$X_i(n)$  : urutan sampel frame sinyal ke- $i$ ,  $n=1, \dots, W_L$

$W_L$  : panjang frame sinyal

Selanjutnya, sinyal akustik diolah menggunakan FFT (*Fast Fourier Transform*) untuk mentransformasi dari domain waktu menjadi domain frekuensi (Persamaan 2). Pada domain frekuensi diperoleh nilai *Zero Moment Power* ( $M_0$ ) dan frekuensi puncak. Penentuan frekuensi puncak merupakan metode paling sederhana untuk menganalisis suatu sinyal akustik, frekuensi puncak ditentukan saat spektrum sinyal mencapai nilai maksimum. Sedangkan *zero moment power* ( $M_0$ ) didefinisikan sebagai luasan

dibawah *power spectrum* yang menggambarkan mengenai besarnya energi sinyal akustik yang diteruskan melalui suatu medium pada domain frekuensi (Solos dan Haugh 1998).  $M_0$  dihitung dengan menggunakan metode integrasi numerik pada persamaan 3.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f) e^{-i2\pi ft} df; x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S_x(f) e^{-i2\pi ft} df \tag{2}$$

$$M_0 = \sum_{i=1}^{W_L} \frac{P_i}{(P_i)_{max}} = \frac{f_i \cdot \text{conj} \left( \frac{f_i}{W_L} \right)}{\left( f_i \cdot \text{conj} \left( \frac{f_i}{W_L} \right) \right)_{max}} \tag{3}$$

Dimana

$x(t)$  : domain waktu

$S_x(f)$  : transformasi *fourier* dari  $x(t)$

$M_0$  : *zero momen power*

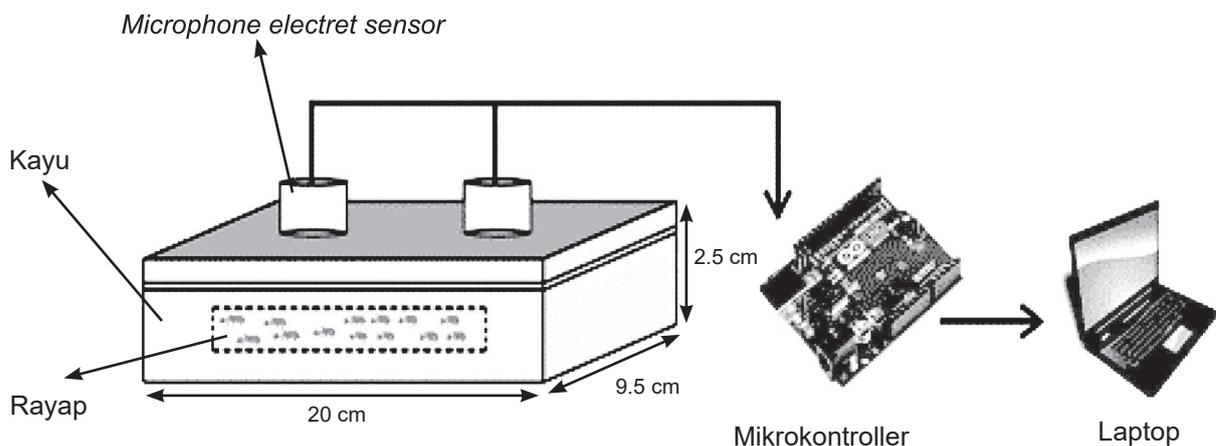
$W_L$  : panjang frame sinyal

$f_i$  : transformasi *fourier* pada frame sinyal ke- $i$ ,  $n=1, \dots, W_L$

$(P_i)_{max}$  : nilai maksimum dari  $P_i$  pada frame sinyal ke- $i$ ,  $n=1, \dots, W_L$

Sinyal akustik diperoleh dalam pengujian respon impuls akustik pada dua kondisi kayu yang berbeda, yakni kayu normal dan kayu terserang oleh rayap. Spektrum sinyal akustik yang diperoleh merupakan hubungan antara amplitudo ternormalkan yang tidak berdimensi terhadap waktu perambatan gelombang dalam satuan milidetik. Spektrum sinyal akustik tersebut selanjutnya dianalisis secara matematis untuk mendapatkan komponen atau fitur yang menunjukkan karakter dari sinyal akustik. Hasil analisis ini sangat berguna untuk mengklasifikasikan pada dua kondisi kayu yang berbeda. Untuk pemrosesan dalam transformasi *fourier* maka sinyal akustik harus dibentuk dalam potongan-potongan waktu yang terbatas (*finite time interval*).

Spektrum sinyal akustik pada Gambar 2 dapat langsung digunakan untuk menganalisis nilai



Gambar 1. Diagram penelitian.

Tabel 1. Karakteristik kadar air dan emisi akustik pada kondisi kayu yang berbeda.

No.	Parameter	Kayu tererang rayap	Kayu normal
1	Kadar air (%)	11.94±0.792a	10.82±0.525b
2	Energi	0.9979±0.0021ts	0.9975±0.00089ts
3	Frekuensi puncak (Hz)	556.297±513.138ts	383.845±441.337ts
4	Zero moment power	13.405±3.019a	9.573±2.188b

Note: notasi yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan nilai yang berbeda nyata, DMRT 95% (P<0.05), ts = tidak signifikan

energi. Untuk analisis lebih lanjut, perlu dilakukan transformasi *fourier* untuk mengubah dari domain waktu ke dalam domain frekuensi. Selanjutnya, hasil transformasi dapat digunakan untuk menghitung nilai *zero moment power* dan frekuensi puncak.

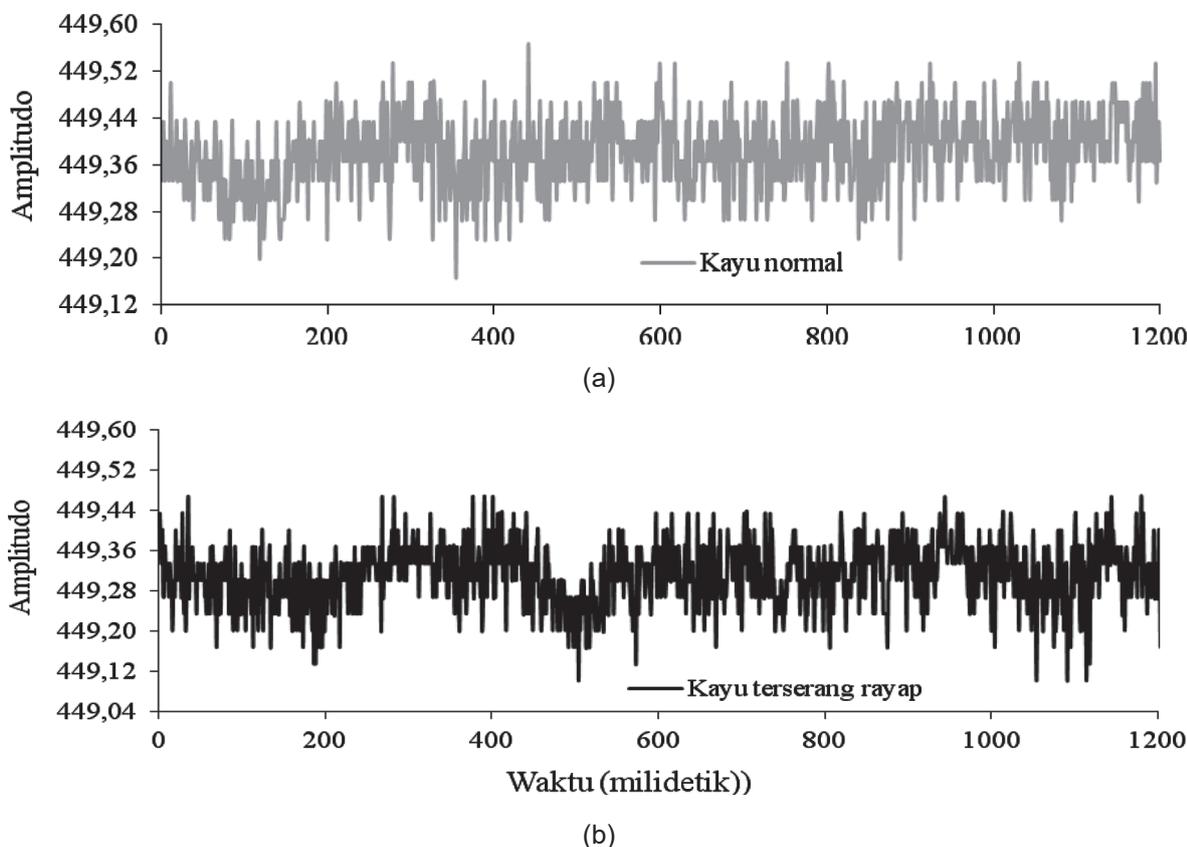
**Analisis Data**

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 15 kali ulangan. Perlakuan yang digunakan adalah kondisi kayu dengan 2 taraf, yaitu: kayu normal dan kayu terserang 220 rayap. Persamaan linier dari rancangan acak lengkap dapat dilihat pada Persamaan 4. Data yang diperoleh dianalisis dengan analisis sidik ragam pada taraf kepercayaan 95% (α=0.05). Jika terdapat pengaruh perlakuan, maka akan dilakukan pengujian lanjut dengan menggunakan *Duncan's multiple range test* (DMRT).

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}; i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3, \dots, 15 \quad (4)$$

- $Y_{ij}$  : pengamatan pada kondisi kayu taraf ke-i ulangan ke-i
- $\mu$  : rata-rata umum
- $\tau_i$  : pengaruh kondisi kayu taraf ke-i
- $\varepsilon_{ij}$  : pengaruh acak (galat) pada kondisi kayu taraf ke-i ulangan ke-j

Selanjutnya, untuk menguji rata-rata dari setiap variabel digunakan nilai wilks' lambda. Nilai wilks' lambda mendekati 0 menunjukkan data cenderung berbeda pada setiap kelompok. Sebaliknya, jika nilai wilks' lambda mendekati 1 menunjukkan data cenderung sama. Nilai wilks lambda yang baik untuk klasifikasi antara kayu normal dan terserang oleh rayap adalah mendekati 0. Wilks' lambda merupakan perbandingan antara jumlah



Gambar 2. Spektrum sinyal emisi akustik berdomain waktu pada kayu normal (a) dan kayu terserang rayap (b).

kuadrat galat ( $W$ ) dengan kuadrat antar kelompok ( $B$ ) dan kuadrat galat ( $W$ ). Secara matematis wilks' lambda dapat dihitung menggunakan persamaan 5. Selanjutnya, asumsi normal multivariat diperlukan untuk pengujian signifikansi dari variabel pada proses klasifikasi. Jika data tidak terdistribusi normal multivariat, maka hasil klasifikasi akan terjadi kesalahan. Johnson dan Wichern (2007) menyatakan bahwa vektor peubah acak  $X'=[X_1, X_2, X_3, \dots, X_p]$  mengikuti fungsi densitas probabilitas pada proses klasifikasi dua kelompok atau lebih. Selanjutnya, distribusi normal multivariat ( $f(x)$ ) pada sebuah data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 6.

$$U = \prod_{i=1}^p (1 + \lambda_i)^{-1} = \frac{|W|}{|B + W|} \quad (5)$$

$$f(x) = \frac{1}{2\pi^{\frac{p}{2}} |\Sigma|^{\frac{1}{2}}} e^{-\frac{(x-\mu)' \Sigma^{-1} (x-\mu)}{2}} \quad (6)$$

dimana  $-\infty < x_k < \infty, k = 1, 2, \dots, p$  yang diberi notasi  $N_p(\mu, \Sigma)$ .

Metode untuk menilai normalitas dari sekumpulan data didasarkan pada kuadrat jarak tergeneralisasi ( $d_{ij}^2$ ) dimana  $n_i$  merupakan jumlah objek kelompok ke- $i$ . Sebuah data terdistribusi normal multivariat adalah apabila nilai  $d_{ij}^2$  lebih dari 0.5 ( $d_{ij}^2 \leq X_{p, 0.53}^2$ ). Untuk mengukur nilai kuadrat jarak dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$d_{ij}^2 = (x_{ij} - x) S_i^{-1} (x_{ij} - x), i = 1, 2, \dots, l; j = 1, 2, \dots, n_i \quad (7)$$

### Hasil dan Pembahasan

Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah kadar air permukaan kayu dan respon sinyal akustik yang meliputi energi, frekuensi puncak dan *zero moment power*. Pada Tabel 1 menunjukkan hasil karakteristik kadar air dan sinyal emisi akustik pada kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal.

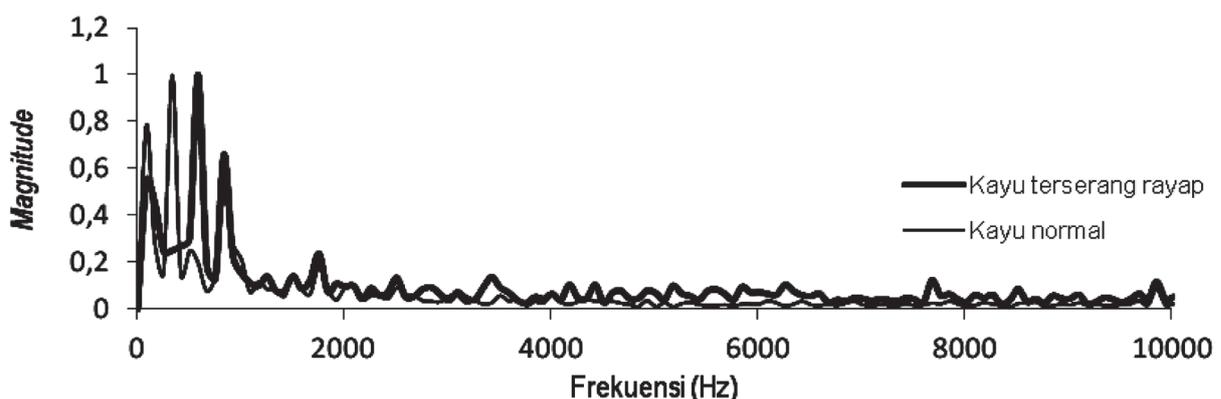
Pada Tabel 1 dapat dijelaskan bahwa berdasarkan uji lanjut DMRT 95% dengan *p-value*

(0.000) <  $\alpha$  (0.05) terdapat pengaruh yang signifikan antara kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal terhadap kadar air dan *zero moment power*. Sedangkan energi dan frekuensi puncak tidak berpengaruh secara signifikan pada kedua kondisi kayu yang berbeda tersebut. Pada kayu terserang oleh rayap memiliki kadar air (11.94±0.792%) lebih tinggi dibandingkan dengan kayu normal (10.82±0.525%). Hal ini sesuai dengan pernyataan Gouge *et al.* (2001) bahwa kadar air kayu yang terinfestasi oleh rayap kurang lebih adalah sebesar 12%. Perbedaan kadar air tersebut disebabkan oleh hasil metabolisme dari rayap. Menurut Unterwieser dan Schickhofer (2011) semakin meningkat kadar air maka densitas akan semakin tinggi sehingga kecepatan akustik akan semakin menurun. Hal ini dikarenakan terjadinya atenuasi pada sinyal akustik. Selanjutnya, perubahan atenuasi yang tinggi akan menyebabkan energi akustik yang ditransmisikan akan semakin rendah.

### Karakteristik Sinyal Emisi Akustik

Penentuan energi sangat berguna dalam membedakan karakter suatu sinyal akustik (Persamaan 1). Hasil analisis energi pada kayu yang terserang oleh rayap lebih tinggi dibandingkan kayu normal. Rata – rata energi pada kayu terserang dan kayu normal secara berurutan adalah 0.9979±0.0021 dan 0.9975±0.00089. Nilai energi dihitung pada periode waktu tertentu pada sinyal suara. Semakin rendah energi yang diterima oleh sensor mikrofon menunjukkan semakin besar energi yang diserap oleh kayu.

Frekuensi sinyal diperoleh setelah dilakukan transformasi sinyal berdomain waktu menjadi domain frekuensi. Frekuensi puncak ditentukan saat *magnitude* mencapai nilai maksimum. Hasil uji lanjut DMRT 95% dengan *p-value* (0.000) <  $\alpha$  (0.05) menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh antara kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal terhadap nilai frekuensi puncak. Kayu terserang oleh rayap (556.297±513.138 Hz) memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu normal (383.845±441.337 Hz). Hal ini dikarenakan tinggi rendahnya frekuensi suatu gelombang



Gambar 3. Frekuensi sinyal pada kondisi kayu yang berbeda.

berhubungan dengan tinggi rendahnya energi dari gelombang tersebut. Sehingga perubahan frekuensi berbanding lurus dengan perubahan nilai energi.

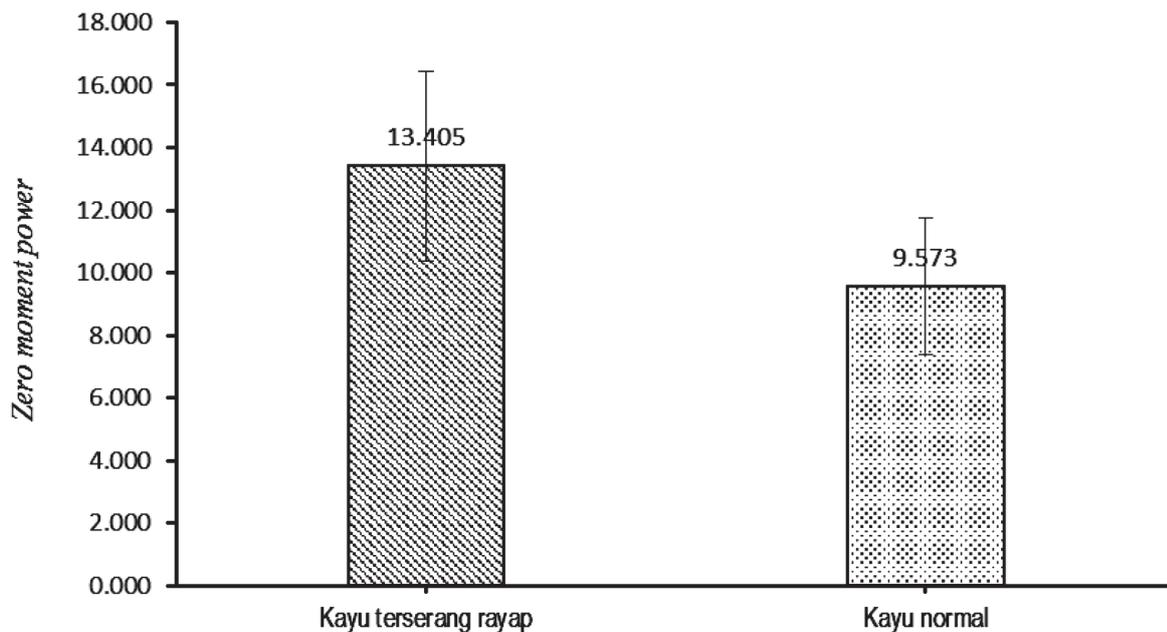
Pada Gambar 4 menunjukkan nilai  $M_0$  pada kayu yang terserang oleh rayap ( $13.405 \pm 3.019$ ) lebih tinggi dibandingkan kayu normal ( $9.573 \pm 2.188$ ). Hal tersebut dikarenakan adanya aktivitas rayap seperti memakan kayu, bergerak, dan membenturkan kepala yang dapat memberikan impuls akustik. Hasil uji lanjut DMRT 95% dengan  $p$ -value ( $0.000$ )  $< \alpha$  ( $0.05$ ) menunjukkan bahwa terdapat pengaruh antara dua kondisi kayu yang berbeda terhadap nilai  $M_0$ .

**Analisis Statistik Kadar Air dan Zero Moment Power**

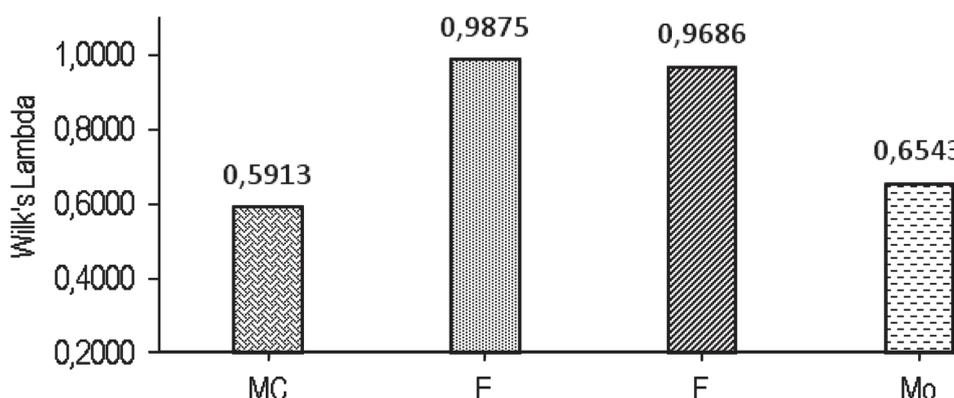
Bedasarkan hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa parameter energi dan frekuensi puncak memiliki  $p$ -value lebih dari  $\alpha$  ( $0.05$ ), artinya bahwa parameter energi ( $E$ ) dan frekuensi puncak ( $F$ ) tidak mampu mengklasifikasikan kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal. Hal tersebut dikarenakan data setiap kelompok cenderung sama yang ditunjukkan dengan nilai

wilks' lambda mendekati 1 (Gambar 5). Sedangkan nilai wilks' lambda mendekati 0 ( $M_C$  dan  $M_0$ ) menunjukkan data cenderung berbeda pada setiap kelompok. Sehingga, parameter yang mampu mengklasifikasikan antara kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal secara signifikan adalah parameter kadar air dan zero moment power ( $p$ -Value  $< 0.05$ ).

Selanjutnya, hasil uji kenormalan multivariat menggunakan plot kuantil khi-kuadrat menunjukkan bahwa parameter kadar air dan  $M_0$  menyebar normal multivariat. Artinya, kedua parameter tersebut dapat digunakan untuk membangun persamaan klasifikasi. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 6, bahwa nilai plot khi-kuadrat cenderung membentuk garis lurus dimana nilai kuadrat jarak lebih dari 50% ( $63.3\%$ )  $d_i^2 \leq \chi_{p, 0.53}^2$ . Uji normalitas multivariat pada suatu data sangat penting dilakukan untuk memenuhi asumsi dasar sebelum mengembangkan persamaan klasifikasi. Karena apabila asumsi tersebut tidak terpenuhi, maka akan terjadi kesalahan pada proses klasifikasi dalam mendeteksi rayap pada kayu.



Gambar 4. Zero moment power pada kondisi kayu yang berbeda.



Gambar 5. Nilai wilks' lambda pada setiap parameter.

### Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian parameter terhadap dua kondisi kayu yang berbeda menunjukkan bahwa pada kayu yang terserang oleh rayap memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan kayu normal. Perbedaan kadar air tersebut disebabkan hasil metabolisme dari rayap. Sedangkan, analisis sinyal emisi akustik menunjukkan bahwa pada kayu terserang oleh rayap memiliki nilai *zero moment power* lebih tinggi dibandingkan kayu normal. Hal tersebut dikarenakan adanya aktivitas rayap seperti memakan kayu, bergerak, dan membenturkan kepala yang dapat memberikan impuls akustik. Selanjutnya, parameter yang mampu untuk mengklasifikasikan kayu yang terserang oleh rayap dan kayu normal secara signifikan adalah parameter kadar air dan *zero moment power*. Penelitian kedepan adalah mengembangkan algoritma pengenalan pola dari parameter kadar air dan *zero moment power* untuk mendeteksi rayap pada kayu.

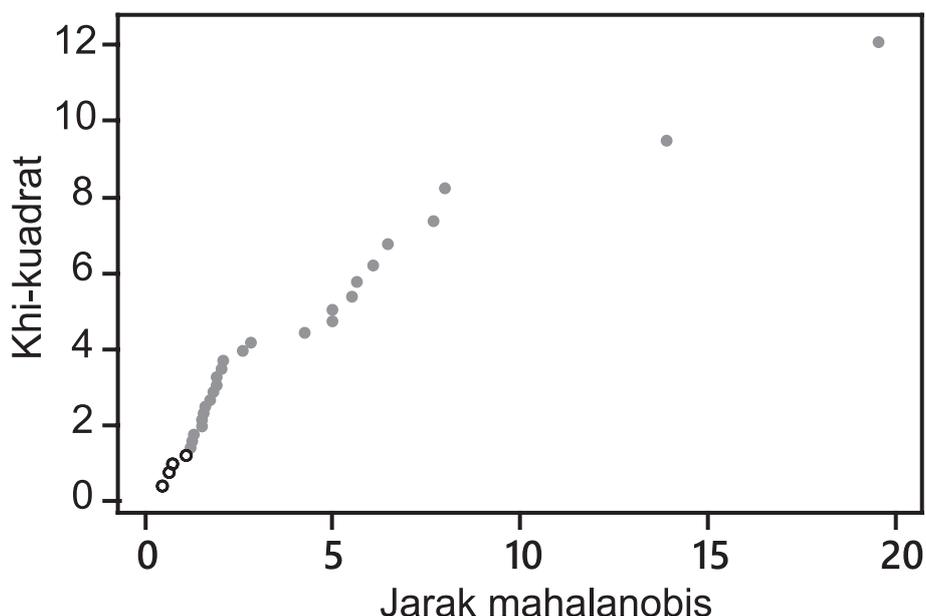
### Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui hibah penelitian program beasiswa Program Magister Menuju Doktor Untuk Sarjana Unggul (PMDSU) tahun 2016.

### Daftar Pustaka

Farkhanda, M. 2013. Biosensors for termite control. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Oktober 2014. p. 1-3. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/51/1/012014>.

- Giannakopoulos, T., A. Pikrakis. 2014. Introduction to Sound Analysis. Elsevier. USA
- Gouge, D.H., C. Olson, P. Baker. 2001. Drywood termites. Arizona Cooperative Extension. Arizona. <http://ag.arizona.edu/pubs/insects/az1232/>.
- Grosse, C.U., M. Ohtsu. 2008. Acoustic emission testing. Springer Verlag. Germany
- Gutierrez, A., V. Ruiz, E. Molto, G. Tapia, M.D.M.Tellez. 2010. Development of a bioacoustic sensor for the early detection of red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*). Journal Crop Protection. Vol. 29 (7): 671-676. <http://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.02.001>.
- Hager, F. A., W. H. Kirchner. 2013. Vibrational long-distance communication in the termites *Macrotermes natalensis*. Journal of Experimental Biology Vol.216 (17). 3249–3256. <http://doi.org/10.1242/jeb.086991>.
- lii, F. G., R. A. Arango, C. R. Boardman, K. J. Bourne, J. C. Hermanson, R. A. Munson. 2015. Remote sensing for detection of termite infestations. Proceedings IRG Annual Meeting : The International Research Group on Wood Protection. Chile, May, 10-14 2015. p. 1-10.
- Indrayani, Y., T. Yoshimura, Y. Yanase, Y. Fujii, Y. Imamura, 2006. Evaluation of the temperature and relative humidity preferences of the western dry-wood termite *incisitermes minor* (hagen) using acoustic emission (AE) monitoring. Journal of Wood Science Vol.53(1) : 76–79. <http://doi.org/10.107/s10086-006-0817-0>.
- Johnson, R.A., D.W. Wichern, 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis 6<sup>th</sup> Ed. Pearson Education. New Jersey (US)
- Le, S., S. Vaiedelich, J. Thomas, 2014. Acoustic emission to detect xylophagous insects in wooden musical instrument. Journal of Cultural Heritage 1–6. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2014.07.001>.



Gambar 6. Plot kuantil khi-kuadrat.

- Lewis, V., S. Leighton, R. Tabuchi, M. Haverty, 2011. Seasonal and daily patterns in activity of the western drywood termite, *incisitermes minor* (hagen). *Journal of Insects* Vol. 2(4): 555–563. <http://doi.org/10.3390/insects2040555>.
- Matsuoka, H., Fuji Y., S. Okumura, Y. Imamura, T. Yoshimura. 1996. Relationship between the type of feeding behavior of termite and the acoustic emission (AE) generation. *Wood Research* Vol.83 : 1-7.
- Nandika, D., B. Tambunan, 1990. Biodeteriorasi kayu oleh faktor biologis. Pusat Antar Universitas Bioteknologi Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Nandika, D., Y. Rismayadi, F. Diba, 2015. *Rayap : biologi dan pengendaliannya edisi ke-2*. Muhammadiyah University Press. Surakarta.
- Niemz, P., D. Mannes, 2012. Non-destructive testing of wood and wood-based materials. *Journal of Cultural Heritage* Vol. 13(3): 26–34. <http://doi.org/10.1016/j.culher.2012.04.001>.
- Rach, M.M., H.M. Gomis, O.L. Granado, M.P. Malumbres, A.M. Campoy, J.J.S. Martin. 2013. On the Design of a Bioacoustic Sensor for the Early Detection of the Red Palm Weevil. *Sensor journal* Vol.13 : 1706–1729. <http://doi.org/10.3390/s130201706>.
- Rosadela, J. J. G., G.G. Puntonet, I. Lloret, 2005. An application of the independent component analysis to monitor acoustic emission signals generated by termite activity in wood. *Journal of the International Measurement Confederation* Vol.37(1): 63–76. <http://doi.org/10.1016/j.measurement.2004.08.002>.
- Solos, J., G.C. Haugh, 1998. Nondestructive detection of hollow heart in potatoes using ultrasonics. (Tesis). Department Of Biological Systems Engineering. Virginia Polytechnic Institute And State University. Virginia.
- Unterwieser, H., G. Schickhofer, 2011. Influence of moisture content of wood on sound velocity and dynamic moe of natural frequency and ultrasonic runtime measurement. *European Journal of Wood and Wood Products* Vol 69(2):171–181.
- Vernard, R.L., Power, A.B., Michael. 2007. Surface and subsurface performance in acoustically detecting the western dry wood termite in naturally infested board. *Forest Product Journal* Vol.54 (6): 57-61.