

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



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) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). 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. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya 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, energy 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 (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makasar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

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. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), 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. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (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. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastira, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Mempelajari Tingkat Kematangan Buah Melon Golden Apollo Menggunakan Parameter Sinyal Suara

Study on Golden Apollo Melon Ripeness Level Using Acoustic Impulse Parameters

Waqif Agusta, Program Studi Teknologi Pascapanen, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: waqif.agusta@gmail.com

Usman Ahmad, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680. Email: uahmad2010@gmail.com

Abstract

Melon is a fruit with healthful and economic value. Determination of melon ripeness is still done manually by tapping, so that the measurement results are inconsistent, subjective, and slow. This research aims to study the melon ripeness level using the acoustic impulse response to fruit ripeness parameters at different ages and determine the acoustic parameters that play a role in distinguishing ripeness level of melon. The result showed, the character of the acoustic impulse is correlated to the time of harvest with $-0.5000 < r < 0.5000$. Magnitudes of the acoustic signal were positively correlated ($r = 0.5115$) to the flesh firmness. Based on the discriminant analysis, acoustic parameters that can predict melon ripeness are the frequency, short-term energy, and Mo. Regrouping result into four harvest times by quadratic discriminant function showed 67.27% sample of fruit could be grouped appropriately, while regrouping the samples into two groups, ripe and unripe fruits, showed 75.91% sample of fruits could be grouped correctly.

Keywords: *melon, ripeness, acoustic impulse*

Abstrak

Melon merupakan buah dengan kandungan gizi dan nilai ekonomi tinggi. Penentuan kematangan buah ini masih dilakukan secara manual dengan mengetuk, sehingga hasil pengukuran tidak konsisten, subjektif, dan lambat. Penelitian ini bertujuan mempelajari tingkat kematangan buah melon menggunakan respon impuls akustik buah melon terhadap parameter kematangan buah pada empat umur panen yang berbeda serta menentukan parameter akustik yang berperan dalam membedakan tingkat kematangan buah melon. Hasil penelitian menunjukkan, karakter sinyal gelombang suara berkorelasi terhadap umur panen buah melon dengan $-0.5000 < r < 0.5000$. Magnitud gelombang suara berkorelasi positif ($r = 0.5115$) terhadap kekerasan daging buah. Berdasarkan hasil analisis diskriminan, parameter gelombang suara yang mampu membedakan kematangan buah melon dengan baik adalah frekuensi, *short term energy*, dan Mo. Hasil klasifikasi ulang ke dalam empat kelompok umur panen buah melon menggunakan fungsi diskriminan kuadratik menunjukkan sejumlah 67.27% sampel buah dapat dikelompokkan dengan tepat berdasarkan umur panennya, sedangkan tingkat keberhasilan pengelompokan ke dalam dua kelompok buah melon matang dan buah melon belum matang adalah sebesar 75.91%.

Kata kunci: melon, kematangan, impuls akustik

Diterima: 4 Nopember 2015; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Peningkatan produksi dan permintaan terhadap buah melon, khususnya jenis *golden*, belum diimbangi dengan penanganan panen dan pascapanen yang optimal. Penentuan waktu panen berdasarkan umur tanaman yang dilakukan secara serentak menyebabkan keseragaman tingkat kematangan buah saat panen masih sangat dipertanyakan. Kematangan buah dapat

diidentifikasi berdasarkan perubahan sifat fisikokimianya. Salah satu parameter penting dalam penentuan kematangan adalah tingkat kekerasan daging buah. Seperti diketahui, tekstur daging buah akan semakin lunak seiring dengan bertambahnya umur buah tersebut, apalagi setelah buah dipanen.

Metode sederhana seperti pengetukan menggunakan telapak tangan atau benda lain, sering dilakukan oleh para petani. Namun, hal ini bersifat subjektif. Metode ini disebut metode

respon impuls akustik. Pengembangan metode ini telah banyak dilakukan untuk meningkatkan akurasi pengamatan tingkat kematangan buah. Sri et al. (2007) mendeteksi tingkat kematangan buah semangka merah dengan menganalisa spektrum bunyi ketukan terhadap buah tersebut. Hasilnya menunjukkan semakin matang daging buah, maka semakin rendah frekuensi dominannya. Gomez et al. (2006) mengamati perubahan tingkat kematangan buah jeruk mandarin berdasarkan perubahan kekerasan selama penyimpanan menggunakan metode respon impuls akustik. Hasil penelitiannya mengindikasikan bahwa metode ini mampu mengidentifikasi dengan baik tingkat kematangan buah jeruk mandarin dan dapat dijadikan pengganti metode pengukuran secara destruktif.

Metode evaluasi perubahan kekerasan buah secara non-destruktif berdasarkan sinyal gelombang bunyi ketukan yang diterima oleh sensor piezoelektrik, mikrofon, maupun perangkat akselerometer telah banyak dilakukan terhadap berbagai jenis buah selepas panen, seperti: apel (Yamamoto et al. 1980; Chen dan De Baerdemaeker 1993; Chen et al. 1992), tomat (Duprat et al. 1997), alpukat (Peleg et al. 1990; Galili et al. 1998), dan pir (Wang 2004; Wang et al. 2004). Evaluasi non-destruktif menggunakan metode ini juga telah banyak diterapkan pada buah melon. Mizrach et al. (1994) mengevaluasi parameter fisikokimia buah melon, seperti: kekerasan, berat kering, dan total padatan terlarut (TPT) berdasarkan karakter akustik buah melon tersebut. Hayashi et al. (1992) menemukan bahwa bentuk sinyal gelombang akustik dapat digunakan untuk menduga tingkat kematangan buah melon dengan nilai korelasi (r) antara kecepatan transmisi gelombang terhadap kekerasan buah sebesar 0.83. Sugiyama et al. (1994) mempelajari hubungan antara kecepatan transmisi gelombang terhadap kekerasan buah melon. Mereka melaporkan, kecepatan transmisi gelombang mengalami penurunan ketika buah melon semakin matang. Sementara itu, Kuroki et al. (2006) mengembangkan instrumen berbasis teknik getaran akustik untuk mengevaluasi kematangan buah melon di dalam rumah kaca.

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari tingkat kematangan buah melon menggunakan respon impuls akustik buah melon terhadap parameter kematangan buah pada umur panen yang berbeda serta menentukan parameter akustik yang berperan dalam membedakan tingkat kematangan buah melon.

Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan adalah buah melon varietas Golden Apollo yang diperoleh dari petani di daerah Sragen, Jawa Tengah. Buah melon dipanen secara bertahap dan disortasi langsung di

lahan, kemudian diangkut ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Buah melon yang digunakan terdiri dari empat umur panen, yaitu: 46 HST (hari setelah tanam), 53 HST, 60 HST, dan 67 HST dengan jumlah masing-masing 55 buah.

Pengukuran Respon Impuls Akustik

Untuk memperoleh karakter impuls gelombang akustik pada masing-masing waktu panen, buah melon diketuk menggunakan bandul berbahan akrilik ($\emptyset = 4$ cm, $m = 18$ g) dengan sudut pengetukan sebesar 90° . Buah melon dan bandul diposisikan menggantung pada rangkaian besi dengan jarak 25 cm. Pengetukan dilakukan pada jarak 40 cm dengan pengulangan masing-masing tiga kali, sedangkan ujung mikrofon diletakkan 2 cm dari permukaan buah. Rekaman suara ketukan dianalisis menggunakan *software* Matlab.

Fitur audio dikelompokkan menjadi dua, yaitu: fitur audio berdomain waktu dan fitur audio berdomain frekuensi (Giannakopoulos dan Pikrakis 2014). Fitur audio berdomain waktu yang dianalisis dalam penelitian ini adalah besarnya energi jangka pendek (*short term energy*). Sedangkan fitur berdomain frekuensi yang dianalisis, antara lain: frekuensi, *magnitud*, dan *power spectral density*. Energi jangka pendek dihitung menggunakan Persamaan (1) terhadap sinyal analog berdomain waktu.

$$E(i) = \frac{1}{W_L} \sum_{n=1}^{W_L} [x(n)]^2 \quad (1)$$

keterangan: $E(i)$ = Energi sinyal jangka pendek
 $x(n)$ = Urutan sampel frame sinyal ke- i , $n = 1, \dots, W_L$
 W_L = Panjang frame sinyal

Frekuensi (f), *magnitud* (M), dan *power spectral density* dihitung setelah dilakukan transformasi *fourier* terhadap spektrum sinyal berdomain waktu, sehingga didapatkan spektrum sinyal berdomain frekuensi. Gambar 1(a) menunjukkan bentuk spektrum gelombang suara hasil pengetukan buah melon. Frekuensi sinyal gelombang didapatkan dari nilai frekuensi saat *magnitud* gelombang mencapai nilai tertinggi. *Magnitud* gelombang yang diambil adalah *magnitud* gelombang maksimum. Nilai M_0 ditentukan dari jumlah luasan di bawah kurva PSD (Gambar 1(c)) yang dapat dihitung menggunakan integrasi numerik. PSD adalah hasil transformasi hubungan antara *amplitude* dengan waktu perambatan gelombang suara.

Pengukuran Kekerasan Daging Buah Melon

Kekerasan daging buah melon diukur menggunakan Rheometer. Sebelum digunakan, alat diatur pada kondisi mode: 20; R/H (hold): 10.00 mm; P/T (Press): 60 mm/m; Rep.1: 1 x 60h; Max 10 kg. Dengan menggunakan probe nomor 38 ($\emptyset = 5$ mm).

Pengukuran Total Padatan Terlarut (Tpt)

Total padatan terlarut dalam daging buah diukur menggunakan *refractometer digital*, dimana daging buah melon dihaluskan terlebih dahulu dengan cara ditumbuk, kemudian diambil sarinya sebagai sampel pengujian.

Pengukuran Kadar Air (Aoac 2000)

Cawan yang akan digunakan dikeringkan terlebih dahulu dalam oven, didinginkan kemudian ditimbang. Sampel sebanyak 5 gram ditimbang dalam cawan, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105-110°C hingga berat bahan kering mencapai kondisi konstan. Kadar air bahan dihitung menggunakan persamaan berikut

$$Kadar\ air = \frac{A-B}{C} \times 100\% \tag{2}$$

- keterangan: A = bobot wadah dan sampel sebelum dikeringkan (g)
- B = bobot wadah dan sampel setelah dikeringkan (g)
- C = bobot contoh (g)

Analisis Data

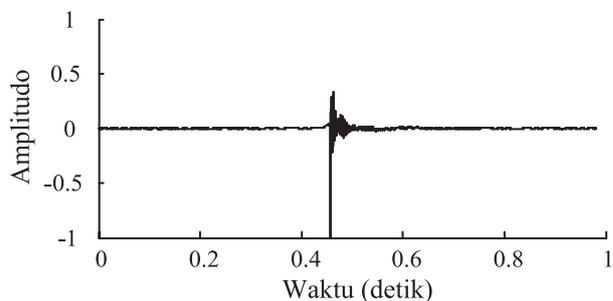
Hasil pengukuran respon impuls akustik dan pengukuran parameter kematangan buah melon dianalisa menggunakan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan di antara kedua kelompok hasil pengukuran tersebut. Korelasi antar parameter dalam kedua kelompok pengukuran tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien *Pearson correlation* yang diperoleh. Selanjutnya dilakukan analisis diskriminan untuk mengelompokkan data hasil pengukuran pada masing-masing kelompok umur panen.

Hasil dan Pembahasan

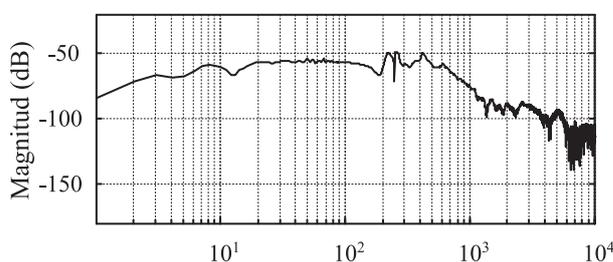
Sifat Fisikokimia Buah Melon Golden Apollo

Kekerasan daging buah melon mengalami penurunan seiring dengan semakin tuanya umur

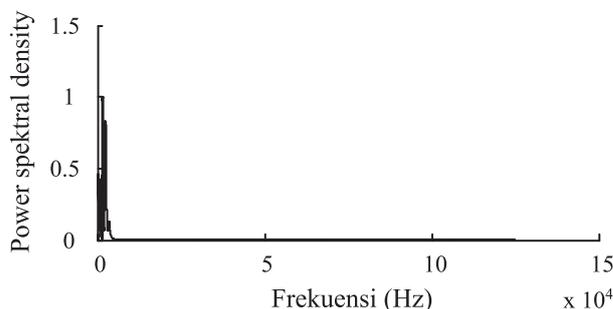
panen. Kekerasan daging buah melon pada umur 46 HST adalah 793.45 ± 86.52 kN/m², angka ini terus mengalami penurunan hingga 463.83 ± 63.94 kN/m² pada buah melon berumur 67 HST. Hal ini terkait erat dengan proses fisiologis dalam buah yang



(a)

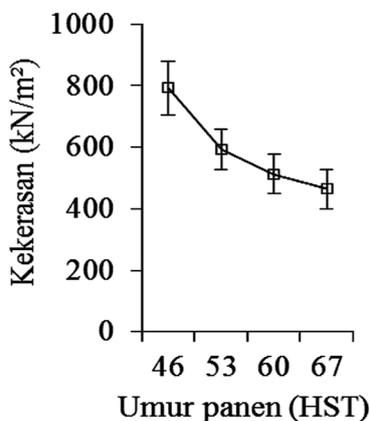


(b)

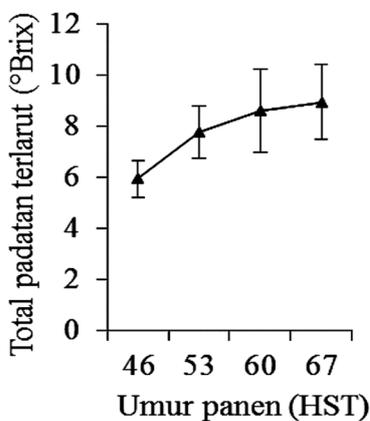


(c)

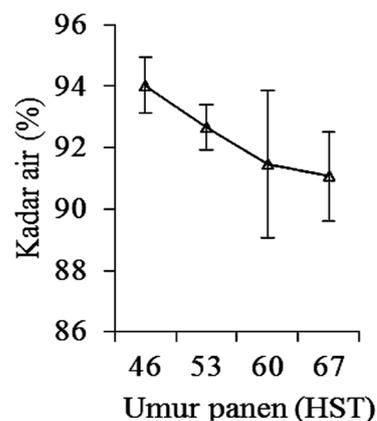
Gambar 1. Spektrum sinyal suara berdomain waktu (a), spektrum *magnitud* (b) dan *power spectral density* (c) berdomain frekuensi



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Perubahan kekerasan (a), TPT (b), dan kadar air (c) buah melon terhadap umur panen.

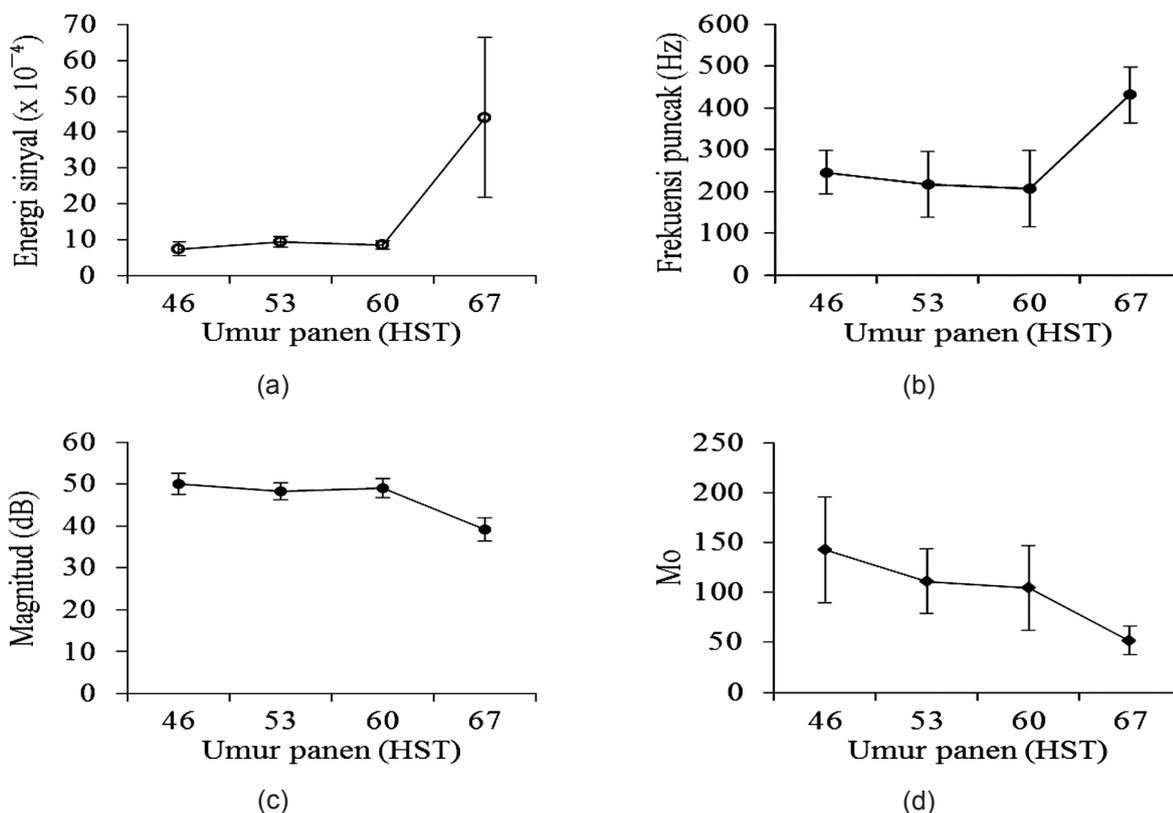
sangat berpengaruh terhadap perubahan fase buah dari belum matang menjadi matang. Perubahan juga terjadi pada nilai total padatan terlarut (TPT) dalam daging buah. TPT menunjukkan komponen padat yang terkandung dalam daging buah, yang secara tidak langsung mampu merepresentasikan tingkat kemanisan daging buah. Rata-rata nilai TPT buah melon mengalami peningkatan sesuai dengan umur panennya, yaitu dari $5.94 \pm 0.73^{\circ}$ briks pada umur 46 HST hingga $8.94 \pm 1.48^{\circ}$ briks pada umur 67 HST. Hasil pengukuran parameter sifat fisikokimia buah melon ditunjukkan oleh Gambar 2. Selain kekerasan dan TPT, Rata-rata kadar air daging buah melon juga mengalami perubahan. Perubahan kadar air daging buah melon berbanding terbalik terhadap umur panen. Semakin tua umur panen, rata-rata kadar air buah mengalami penurunan. Secara umum penurunan kadar air dalam buah dipengaruhi oleh aktivitas fisiologis (respirasi) dan kondisi lingkungan (transpirasi).

Ketiga parameter tersebut digunakan dalam menentukan tingkat kematangan buah. Parameter yang paling jelas dan sering dijadikan sebagai acuan oleh para petani adalah kekerasan dan nilai TPT. Berdasarkan kondisi nyata di lapangan, buah melon dianggap matang dan siap dipanen pada umur 60 HST dengan nilai TPT harapan diatas $^{\circ}$ briks. Hasil pengukuran dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang sesuai dengan perkiraan waktu panen oleh petani, 60 HST, dimana rata-rata nilai TPT daging buah melon sebesar $8.59 \pm 1.62^{\circ}$ briks.

Pengujian Respon Impuls Akustik Buah Melon

Sinyal analog berdomain waktu pada Gambar 1(a) dapat langsung digunakan untuk menghitung nilai energi dari sinyal. Untuk analisis lebih lanjut, dilakukan transformasi *fourier* untuk mengubah domain sinyal. Hasil tranformasi ini dapat digunakan untuk menentukan nilai frekuensi puncak, *power spectral density*, dan fitur suara lain yang berdomain frekuensi.

Short term energy dihitung menggunakan Persamaan (1). Hasil analisis *short term energy* pada setiap kelompok umur panen buah melon menunjukkan hasil yang variatif. Rata-rata energi sinyal hasil pengetukan buah melon berkisar $(7.47 \pm 1.87) \times 10^{-4}$ J hingga $(44.05 \pm 22.33) \times 10^{-4}$ J. Gambar 3(a) menunjukkan besarnya rata-rata *short term energy* dari sinyal suara pengetukan buah melon pada umur panen yang berbeda. *Short term energy* menunjukkan besarnya energi sinyal pada jangka waktu tertentu. Penentuan *short term energy* sangat berguna dalam membedakan karakter suatu sinyal suara. Energi sinyal berbanding lurus terhadap besarnya frekuensi dan panjang gelombang. Semakin tinggi frekuensi semakin besar energi dari sinyal tersebut. Jika dibandingkan dengan hasil pengukuran frekuensi (Gambar 3(b)), *short term energy* menunjukkan perbandingan lurus. Namun kenaikan nilai hasil pengukuran pada kelompok umur panen 67 HST seharusnya tidak terjadi. Secara teori frekuensi akan turun mengikuti semakin tuanya buah (Sri et al. 2007). Diperkirakan



Gambar 3. Perubahan nilai *short term energy* (a), frekuensi puncak (b), magnitud (c), dan Mo (d) terhadap waktu panen buah melon

Tabel 1. Koefisien korelasi Pearson antarparameter pengujian

Variabel	Umur panen	Kekerasan daging buah	TPT	Kadar air	Frekuensi	Magnitud	Short term energy	Mo
Umur panen	1							
Kekerasan daging buah	-0.8301	1						
TPT	0.6445	-0.6125	1					
Kadar air	-0.5930	0.5491	-0.7494	1				
Frekuensi	0.5249	-0.2709	0.2297	-0.2449	1			
Magnitud	-0.7137	0.5115	-0.3650	0.3250	-0.6018	1		
Short term energy	0.6393	-0.4350	0.3767	-0.3858	0.6101	-0.8389	1	
Mo	-0.6245	0.4956	-0.3583	0.2845	-0.2759	0.8214	-0.5608	1

terdapat faktor lain yang berpengaruh selain kondisi buah, seperti: kondisi lingkungan (kepadatan udara yang berbeda), atau kondisi sensor penangkap sinyal yang tidak sama dengan kondisi pengukuran sebelumnya.

Frekuensi puncak pada sinyal-sinyal hasil pengetukan buah melon cenderung mengalami penurunan dari 245.93 ± 51.89 Hz pada umur panen 46 HST hingga 207.48 ± 91.26 Hz pada umur panen 60 HST. Hal ini sesuai dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya (Sri *et al.* 2007; Taniwaki *et al.* 2009; Taniwaki *et al.* 2010) yang menyatakan adanya penurunan frekuensi seiring dengan bertambahnya umur buah. Namun, hasil pengamatan pada 67 HST terjadi kenaikan rata-rata nilai frekuensi puncak (431.87 ± 66.94 Hz).

Frekuensi puncak adalah frekuensi sinyal saat *magnitud* gelombang mencapai nilai tertinggi. Nilai *magnitud* menyatakan kuat lemahnya bunyi ketukan. Rata-rata nilai *magnitud* sinyal-sinyal suara pada umur panen buah melon yang berbeda menunjukkan kecenderungan melemah seiring dengan semakin tua umur panen buah (Gambar 3(c)), yaitu dari 50.10 ± 2.59 dB pada umur panen 46 HST hingga 39.20 ± 2.82 dB pada umur panen 67 HST. Semakin rendah nilai *magnitud* maka intensitas bunyi ketukan semakin lemah. Hal ini terkait dengan perubahan tekstur daging buah melon. Semakin tua, tekstur daging buah melon semakin lunak, sehingga kemampuan untuk meredam suara semakin baik.

Parameter lain yang bisa didapatkan dari analisis sinyal suara adalah *power spectral density* (PSD) yang menunjukkan sebaran daya pada suatu spektrum gelombang. Luasan di bawah kurva PSD dikuantifikasi numerik dan dinyatakan sebagai nilai Mo. Mo menunjukkan besarnya energi sinyal yang ditransmisikan atau diteruskan pada suatu medium. Rata-rata nilai Mo pada penelitian ini menunjukkan penurunan seiring dengan semakin tua umur panen buah, yaitu dari 142.67 ± 53.13 pada umur panen 46 HST hingga 51.52 ± 14.35 pada umur panen 67 HST. Perubahan nilai tersebut berbanding lurus dengan penurunan rata-rata *magnitud* gelombang suara. Semakin kecil pantulan energi yang diterima

oleh mikrofon menunjukkan semakin besar energi yang diserap dan ditransmisikan oleh buah melon. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi fisik buah dan kondisi lingkungan saat pengujian. Gambar 3(d) menunjukkan rata-rata nilai Mo sinyal suara hasil pengetukan buah melon dengan umur panen yang berbeda.

Korelasi Parameter Impuls Akustik Terhadap Parameter Kematangan Buah Melon

Hasil uji korelasi menunjukkan hubungan yang variatif antar parameter (Tabel 1). Rata-rata kekerasan daging buah berkorelasi negatif terhadap umur panen buah dengan nilai $r = -0.8301$. Hal ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik yang kuat antara kekerasan daging buah terhadap umur panen. Jika dibandingkan dengan dua parameter pengukuran destruktif lainnya, yaitu TPT ($r = 0.6445$) dan kadar air (-0.5930), seharusnya perubahan nilai kekerasan daging buah dapat dijadikan acuan yang lebih baik dalam menentukan umur panen optimum buah melon, meskipun secara tidak langsung, perubahan kekerasan daging buah berkorelasi pula dengan perubahan nilai TPT dan kadar air buah melon.

Hasil uji respon impuls akustik maupun uji parameter kematangan dapat digunakan untuk menduga umur panen buah melon. Korelasi positif nilai *magnitud* terhadap kekerasan daging buah melon menunjukkan adanya hubungan berbanding lurus di antara keduanya. Artinya, semakin rendah *magnitud* sinyal suara hasil pengetukan pada buah menunjukkan tekstur daging buah yang semakin lunak. Sama halnya dengan hubungan yang ditunjukkan nilai Mo terhadap kekerasan daging buah. Hasil penelitian ini menunjukkan rata-rata kekerasan daging buah semakin rendah seiring bertambahnya umur panen. Hal ini terkait erat dengan fase perkembangan buah akibat aktivitas fisiologis yang terus berlangsung mulai dari munculnya buah hingga mencapai fase masak optimum. Saat mencapai masak optimum inilah buah melon dapat dikonsumsi.

Nilai *magnitud* gelombang menunjukkan kuat lemahnya bunyi yang dihasilkan saat pengetukan

Tabel 2. Pengelompokan (empat umur panen) sampel buah menggunakan fungsi diskriminan kuadratik

Umur panen	46	53	60	67	Total	% tepat
46	33	13	9	0	55	60.00%
53	9	36	10	0	55	65.45%
60	9	22	24	0	55	43.64%
67	0	0	0	55	55	100.00%
Total	51	71	43	55	220	67.27%

Tabel 3. Pengelompokan sampel buah matang dan belum matang menggunakan fungsi diskriminan kuadratik

Kelompok	Matang	Belum matang	Total	% tepat
Matang	60	50	110	54.55%
Belum matang	3	107	110	97.27%
Total	63	157	220	75.91%

buah. Semakin tua umur buah, semakin lunak tekstur daging buahnya. Jika dihubungkan dengan kuat lemahnya bunyi ketukan, kondisi tekstur objek yang semakin lunak memungkinkan intensitas bunyi semakin bisa diredam. Sehingga, intensitas bunyi yang dipantulkan dan ditangkap oleh mikrofon akan semakin rendah.

Sedikit berbeda dengan nilai *magnitud*, *Mo* menunjukkan besarnya energi sinyal gelombang yang ditransmisikan melalui suatu medium tertentu. Dalam hal ini, yang menjadi medium adalah udara pada celah antara buah melon dan mikrofon sebagai penangkap sinyal suara ketukan. Rata-rata nilai *Mo* menurun sesuai dengan bertambahnya umur panen buah melon. Artinya, besarnya energi sinyal yang diterima oleh mikrofon semakin kecil. Dalam kasus ini, definisi energi yang ditransmisikan merupakan energi sinyal yang dipantulkan oleh buah melon dan diterima oleh mikrofon. Sisanya, energi sinyal ketukan lebih banyak diserap atau ditransmisikan oleh buah melon.

Pengelompokan Tingkat Kematangan Buah Melon

Hasil uji korelasi menjelaskan adanya hubungan antara parameter sinyal suara terhadap waktu. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan karakter sinyal suara (*short term energy*, frekuensi, *magnitud*, dan *Mo*) bisa dijadikan acuan untuk menduga tingkat kematangan buah melon Golden Apollo. Uji multikolinieritas, pada keempat variabel penduga, menunjukkan terdapat tiga variabel yang dapat dijadikan sebagai variabel penduga dalam fungsi diskriminan yang akan dibentuk, yaitu: frekuensi (*f*), *short term energy* (*E*), dan *Mo*. Ketiga variabel ini terpilih karena tidak terjadi multikolinier antar variabel. Hasil uji kenormalan multivariat menggunakan metode Q-Q plot (Johnson dan

Wichern 2007) menunjukkan data dalam ketiga variabel tersebut terdistribusi normal dengan nilai $t = 0.62727$. Nilai tersebut menyatakan terdapat 62.727% (> 50%) data tersebar dalam garis lurus yang berarti data dalam ketiga variabel tersebut terdistribusi multinormal.

Hasil uji kesamaan matriks kovarian menggunakan statistik uji Box's menunjukkan data pada ketiga variabel tidak homogen, sehingga didapatkan kondisi dimana populasi data terdistribusi normal, namun matriks kovarian tidak homogen. Dengan kondisi tersebut, maka fungsi diskriminan yang dibangun adalah fungsi diskriminan kuadratik (Johnson dan Wichern 2007). Fungsi kuadratik hasil analisis diskriminan, pengelompokan berdasarkan umur panen buah melon, ditunjukkan oleh Persamaan (3) – (6). Dihasilkan empat fungsi yang mengelompokkan data menjadi empat kelompok umur panen, yaitu: 46, 53, 60, dan 67. Hasil pengelompokan menggunakan fungsi diskriminan kuadratik (Tabel 2) menunjukkan, pada umur panen 46 HST dari sebanyak 55 buah sampel sebanyak 60.00% sampel tepat dikelompokkan pada umur panen 46 HST. Pada umur panen 53 HST, sebanyak 65.45% sampel tepat dikelompokkan pada umur panen 53 HST. Sampel buah melon pada umur panen 60 HST, 43.64% tepat dikelompokkan pada umur panen 60 HST. Sedangkan, sampel buah pada umur panen 67 HST 100% dapat dikelompokkan dengan tepat pada umur panen 67 HST. Sehingga, rata-rata pengelompokan buah melon berdasarkan umur panen yang tepat adalah sebanyak 67.27 %.

$$D_{46} = 0.0512X_1 + 57640.4163X_2 + 0.1761X_3 - 0.0002X_1^2 + 32.5162X_1X_2 + 0.0002X_1X_3 - 29167363.1384X_2^2 - 154.7300X_2X_3 - 0.0004X_3^2 - 40.6895 \tag{3}$$

$$D_{53} = 0.0496X_1 + 102950.7632X_2 + 0.1472X_3 - 0.0001X_1^2 - 7.6652X_1X_2 - 0.0001X_1X_3 - 39730019.9852X_2^2 - 235.0013X_2X_3 - 0.0008X_3^2 - 77.3856 \quad (4)$$

$$D_{60} = -0.0182X_1 + 73358.9395X_2 + 0.1633X_3 - 0.0001X_1^2 + 32.6235X_1X_2 + 0.0004X_1X_3 - 39101609.5575X_2^2 - 129.9846X_2X_3 - 0.0006X_3^2 - 38.1240 \quad (5)$$

$$D_{67} = 0.0881X_1 + 2513.2044X_2 + 0.4058X_3 - 0.0001X_1^2 + 0.2457X_1X_2 + 0.0002X_1X_3 - 146564.2441X_2^2 - 25.7820X_2X_3 - 0.0036X_3^2 - 36.9654 \quad (6)$$

keterangan:

D_{46} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 46 HST

D_{53} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 53 HST

D_{60} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 60 HST

D_{67} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo dengan umur panen 67 HST

X_1 = frekuensi

X_2 = *short term energy*

X_3 = M_o

Berdasarkan kondisi di lapangan yang menyatakan buah melon dianggap matang dan siap dipanen pada umur 60 HST dengan nilai TPT harapan di atas 8°briks, maka dilakukan pengelompokan kembali. Dari empat kelompok umur panen dijadikan dua kelompok kematangan buah, yaitu kelompok buah belum matang (terdiri dari buah melon umur 46 HST dan 53 HST) dan kelompok buah matang (terdiri dari buah melon umur 60 HST dan 67 HST). Dengan pengelompokan ini dihasilkan dua fungsi diskriminan sebagai berikut:

$$D_{\text{matang}} = 0.0164X_1 + 807.4658X_2 + 0.0899X_3 - 0.00004 X_1^2 + 3.0795X_1X_2 + 0.00002X_1X_3 - 192341.0058X_2^2 - 10.0069X_2X_3 - 0.0005X_3^2 - 10.0484 \quad (7)$$

$$D_{\text{belum matang}} = 0.0471X_1 + 67656.6913X_2 + 0.2505X_3 - 0.0001X_1^2 - 1.5354X_1X_2 + 0.0001X_1X_3 - 27362631.4147X_2^2 - 165.3539X_2X_3 - 0.0005X_3^2 - 49.7970 \quad (8)$$

keterangan:

D_{matang} = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo matang

$D_{\text{belum matang}}$ = fungsi diskriminan untuk kelompok buah melon Golden Apollo belum matang

X_1 = frekuensi

X_2 = *short term energy*

X_3 = M_o

Hasil pengelompokan ulang ke dalam dua kelompok buah melon matang dan buah melon belum matang menggunakan fungsi diskriminan (Persamaan (6) dan (7)) ditunjukkan pada Tabel 3. Sebanyak 54.55% sampel buah matang dan 97.27% sampel buah belum matang dapat dikelompokkan dengan tepat. Sehingga, rata-rata ketepatan pengelompokan buah melon Golden Apollo berdasarkan kelompok buah matang dan buah belum matang adalah sebesar 75.91%. Ketepatan pengelompokan yang dihasilkan lebih baik dibandingkan ketepatan pengelompokan sebelumnya (berdasarkan umur panen buah).

Simpulan

Deteksi kematangan buah melon dapat dilakukan dengan variabel penduga berupa parameter sinyal suara pengetukan buah. Parameter sinyal suara ketukan buah memiliki korelasi cukup baik terhadap umur panen. Namun, berdasarkan hasil analisis diskriminan, parameter sinyal suara yang mampu menduga parameter kematangan dengan baik, antara lain: frekuensi (f), energi jangka pendek (E), dan M_o dengan ketepatan pengelompokan berdasarkan umur panen sebesar 67.27%. Sedangkan ketepatan pengelompokan berdasarkan kelompok buah matang dan buah belum matang adalah sebesar 75.91%.

Daftar Pustaka

- Chen H., J. De Baerdemaeker. 1993. Effect of apple shape on acoustic measurements of firmness. *J. Agr. Eng. Res.* 56: 253–266.
- Chen P., Z. Sun, L. Huarng. 1992. Factors affecting acoustic responses of apples. *Trans. ASAE.* 35: 1915–1992.
- Duprat F., M. Grotte, E. Pietri, D. Loonis. 1997. The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit. *J. Agric. Engng. Res.* 66: 251–259.
- Gallili N., I. Shmulevich, N. Benichou. 1998. Acoustic testing for fruit ripeness evaluation. *Trans. ASAE.* 41: 399–407.
- Giannakopoulos T., A. Pikrakis. 2014. Introduction to Suara Analysis. Academic Pressis an imprint of Elsevier.
- Gomez A.H., A.G. Pereira, J. Wang. 2006. Accoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.* 15: 24–30.
- Hayashi S., J. Sugiyama, K. Otobe, Y. Kikuchi, S. Usui. 1992. Nondestructive measurement for maturity of muskmelons by analysis of acoustic-signals. *Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology – Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi.* 39 (6): 465–470.

- Johnson R.A., Wichern D.W. 2007. Applied Multivariate Statistical Analysis 6th Ed. Pearson Education Inc.
- Kuroki S., M. Tohro, N. Sakurai. 2006. Monitoring of the elasticity index of melon fruit in a greenhouse. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* 75: 415–420.
- Mizrach A., N. Galili, D.C. Teitel, G. Rosenhouse. 1994. Ultrasonic evaluation of some ripening parameters of autumn and winter-grown 'Galia' melons. *Scientia Horticulturae* 56 (4): 291–297.
- Peleg K., U. Ben-Hanan, S. Hinga. 1990. Classification of avocado by firmness and maturity. *J. Text. Stud.* 21: 123–129.
- Sri W.S., Surtono, Arif, Hafidz, Fahmi M. 2007. Analisis spektrum frekuensi bunyi dari beragam daging buah dengan berbagai tingkat kematangan berbasis komputer. *J FMIPA Unila.* 13: 261-266.
- Sugiyama J., K. Otobe, S. Hayashi, S. Usui. 1994. Firmness measurement of muskmelons by acoustic impulse transmission. *Trans. ASAE.* 37 (4): 1235–1241.
- Taniwaki M., M. Takahashi, N. Sakurai. 2009. Determination of optimum ripeness foredibility of postharvest melons using nondestructive vibration. *Food Res. Int.* 42: 137–141.
- Taniwaki M., M. Tohro, N. Sakurai. 2010. Measurement of ripening speed and determination of optimum ripeness of melons by a nondestructive acoustic vibration method. *Postharvert Biology and Tech.* 56: 101-103.
- Wang, J. 2004. Mechanical properties of pear as a function of location and orientation. *Inter. J. Food Prop.* 7: 155–164.
- Wang J., B. Teng, Y. Yu. 2004. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *Eur. Food Res. Technol.* 218: 289–294.
- Yamamoto H., M. Iwamoto, S. Haginuma. 1980. Acoustic impulse response method for measuring natural frequency of intact fruits and preliminary applications to internal quality evaluations of apples and watermelons. *J. Text. Stud.* 11: 117–136.