

# PENGUKURAN KECEPATAN, ATENUASI DAN SPEKTRAL DAYA AKUSTIK UNTUK Mencari Korelasi Dengan Parameter Kematangan Buah Apel

Hidayat, D.<sup>1)</sup>, Trisnobudi, A.<sup>2)</sup>, Tjokronegoro, H.A.<sup>2)</sup>, Muhaemin, M.<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Fisika, Universitas Padjadjaran Bandung, Sumedang –Jabar  
Email: darmawan\_93@yahoo.com

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, Bandung

<sup>3)</sup>Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Padjadjaran Bandung, Sumedang – Jabar

## INTISARI

*Kualitas kematangan buah apel perlu diukur untuk memenuhi standar mutu dan penentuan waktu petik optimum. Buah apel jenis Manalagi dari Batu-Malang diambil dengan umur 2, 3, 4, 4½ dan 6 bulan masing-masing berjumlah 20 buah. Kecepatan, atenuasi dan spektral daya gelombang ultrasonik yang dilewatkan pada tiap buah apel diukur untuk dicari korelasi dengan empat parameter fisiko-kimia yaitu rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula. Kecepatan terhadap kekerasan dan rapat massa menunjukkan korelasi yang kuat namun terhadap keasaman dan kadar gula tidak menunjukkan korelasi yang kuat. Sehingga hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan lebih tepat digunakan sebagai ukuran sifat fisik dari pada sifat kimia buah apel. Atenuasi terhadap kekerasan menunjukkan korelasi yang menurun. Spektral daya tiap tingkat umur berbeda namun sulit dikenali keunikannya pada sampel yang lain. Sementara itu, momen spektral menunjukkan penurunan terhadap umur. Di samping itu, ditemukan frekuensi rendah yang cenderung konsisten turun terhadap umur buah apel di atas 3 bulan. Oleh karena itu, atenuasi dan spektral daya berpotensi untuk dijadikan ukuran kualitas kematangan buah apel.*

*Kata kunci: Parameter Fisiko-Kimia, Spektral Daya, Gelombang Ultrasonik*

## ABSTRACT

*The ripeness quality of apple is necessary to be measured in order to meet the quality standard criterion and also to determine optimum harvest time. Apple type Manalagi from Batu-Malang was taken with 2, 3, 4, 4½ and 6 month of age with 20 samples of each. Acoustic wave is propagated through samples and then its velocity, attenuation and power spectral density were measured to find the correlation with its four physico-chemical parameters that are mass density, firmness, acidity and sugar content. The result shows that acoustic velocity respect to acidity and sugar content of apple show well correlation. However, acoustic velocity with respect to acidity and sugar content of apple does not show well correlation. Therefore, velocity is more appropriate to be used as the measure of physical property than chemical property of apple. Attenuation decreases with respect to increasing of the firmness. Power spectral density is different to each other but it is difficult to recognize the pattern uniqueness with respect to the age. Furthermore, acoustic spectral moment was decreasing with respect to age. In addition, it is found that low frequencies shows consistent decreasing above of 3 month of age. Hence, attenuation and power spectral density are potentially used as measure of the apple ripeness.*

*Keywords: Physico-Chemical Parameters, Power Spectral Density, Ultrasonic Wave*

## 1 PENDAHULUAN

Beberapa dekade terakhir perkembangan buah apel di Indonesia khususnya di daerah Batu-Malang dan Nongkojajar-Pasuruan, Jawa Timur terus meningkat baik untuk agribisnis maupun agriwisata. Diketahui bahwa akhir-akhir ini buah apel Indonesia banyak diminati oleh konsumen luar negeri seperti Malaysia, Singapura dan Jepang karena memiliki keunggulan yaitu rasanya yang lebih renyah [1]. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu instrumentasi untuk mengukur tingkat kematangan buah apel.

Kualitas kematangan buah apel perlu diukur secara tak-merusak agar dapat ditentukan waktu petik optimum. Pada buah apel Indonesia jenis Manalagi, waktu petik optimum terjadi pada perioda *eating quality* yaitu 4½ hingga 6 bulan. Selain itu, pengukuran kematangan dimaksudkan agar dalam menghadapi pasar global, buah apel dapat memenuhi standar mutu yang ditetapkan. Untuk keperluan pengiriman buah apel ke daerah yang relatif jauh dari kebun, maka waktu pemetikan menjadi parameter yang penting. Waktu petik perlu ditetapkan dengan tepat sesuai dengan tujuan pengiriman agar ketika tiba pada konsumen mencapai kualitas kematangan yang maksimum. Selain itu, hal ini dimaksudkan untuk menghindari kerugian-kerugian akibat waktu pengiriman dan penyimpanan selama perjalanan.

Pada penelitian ini, solusi yang diajukan untuk mengukur parameter-parameter tersebut adalah dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang dilewatkan pada buah apel untuk diukur parameter akustiknya seperti kecepatan, atenuasi dan spektral daya, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai wakil parameter kematangannya, seperti rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula. Diharapkan 'sinyal ultrasonik yang telah melewati buah apel dapat memberikan informasi tentang kondisi buah apel yang bersangkutan.

Terdapat beberapa penelitian yang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk uji tak merusak pada buah-buahan. Suatu penelitian menunjukkan bahwa frekuensi resonansi pada buah apel ternyata dipengaruhi oleh proses pematangan [2]. Pada kentang menunjukkan bahwa spektral daya pada kentang yang dalamnya rusak dan pada kentang normal ternyata berbeda [3]. Pada melon, parameter akustik, mekanik dan parameter fisiko-kimia diukur untuk mengetahui kematangannya [4]. Pada buah alpukat atenuasi diukur untuk mengukur tingkat ketuaannya [2]. Pada buah mangga, pengukuran atenuasi dilakukan untuk mengukur kerusakan internalnya [5]. Pada buah durian, pengukuran parameter akustik digunakan untuk mengukur ketuaan dan kematangan durian [6]. Oleh karena itu, pada penelitian ini kecepatan dan atenuasi pada buah apel jenis Manalagi dari daerah Batu-Malang perlu diukur untuk diketahui korelasi dengan parameter kematangannya. Selanjutnya dari kemiripan sifat fisik kentang dengan buah apel dapat ditarik hipotesa bahwa pola spektral daya buah apel pada tiap tingkat kematangan (umur) akan unik, sehingga dapat dijadikan sebagai wakil ukuran parameter kematangannya.

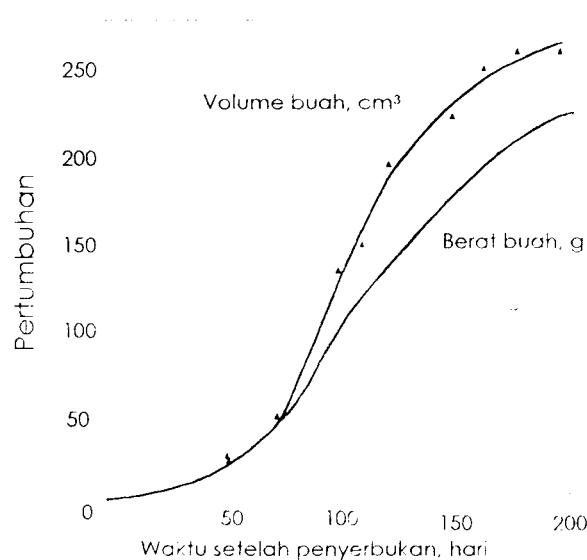
Berdasarkan hal tersebut penelitian ini ditujukan untuk:

1. Mencari parameter akustik yang memiliki korelasi kuat dengan parameter kematangan buah apel.
2. Mengetahui adanya korelasi unik antara pola spektral daya (PSD) akustik gelombang ultrasonik yang melewati buah apel dengan setiap parameter kematangan buah apel yang bersangkutan.
3. Mencari parameter kematangan dan parameter akustik yang dapat menjadi prinsip alat ukur kematangan buah apel, sehingga selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai ukuran waktu petik optimum.

Sehingga dengan mengetahui parameter-parameter yang memiliki korelasi kuat tersebut, maka selanjutnya nilai-nilai parameter kematangan untuk penentuan waktu petik optimum dapat diukur dari parameter gelombang ultrasoniknya saja.

## 2 DASAR TEORI

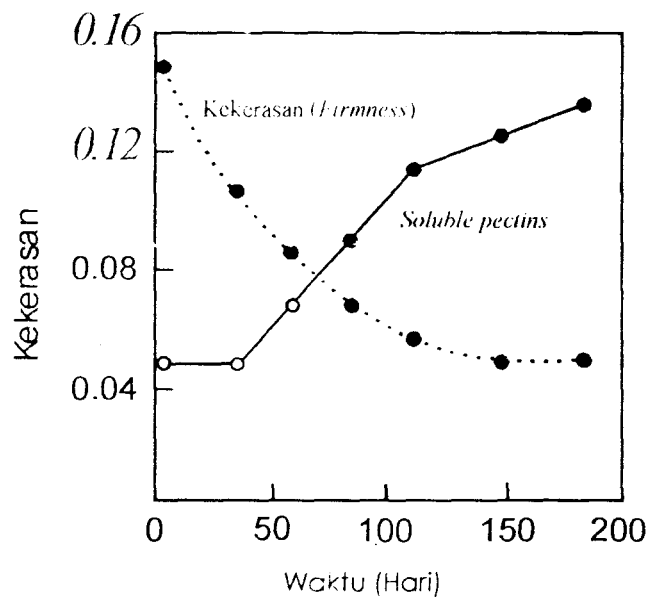
Pertumbuhan buah apel mengikuti pola sigmoid, bahwa seiring umur maka bertambah pula ukuran massa dan volume, seperti terlihat pada Gambar 1. Pada awalnya pertumbuhan massa seiring dengan pertumbuhan volume. Namun selanjutnya pertumbuhan volume lebih cepat dari pada pertumbuhan massa [7]. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perbedaan pertumbuhan massa dan volume akan mengakibatkan perubahan rapat massa seiring dengan pertumbuhan buah.



**Gambar 1. Kurva pertumbuhan volume dan massa apel. Selama pertumbuhan apel, terjadi peningkatan volume lebih cepat dari pada pertumbuhan beratnya [7]**

Selanjutnya, seiring umur terjadi pula perubahan pada kekerasan buah apel. Kurva perubahan kekerasan dapat dilihat pada Gambar 2. Tampak bahwa seiring umur kekerasan semakin berkurang. Perubahan kekerasan disebabkan oleh faktor-faktor berikut: (i) melemahnya ikatan antar sel dalam buah, (ii) melemahnya ikatan dinding

sel, dan (iii) berkurangnya tekanan turgor [8]. Dengan kata lain, perubahan kekerasan merupakan perubahan karakteristik pada buah apel.



**Gambar 2.** Kurva kekerasan buah apel. Selama proses pematangan buah apel, terjadi penurunan kekerasan yang berhubungan dengan kandungan soluble pectins [7]

Selain itu, selama proses pematangan terjadi perubahan hidrolisis yang menyebabkan terbentuknya gula. Gula terbentuk dari zat tepung. Pada buah apel perubahan hidrolisis terjadi secara gradual sehingga perubahan kadar gulanya juga terjadi secara gradual [7]. Dari keterangan ini dapat diketahui selama proses pertumbuhan selain terjadi perubahan fisika, terjadi pula perubahan kimia pada buah apel.

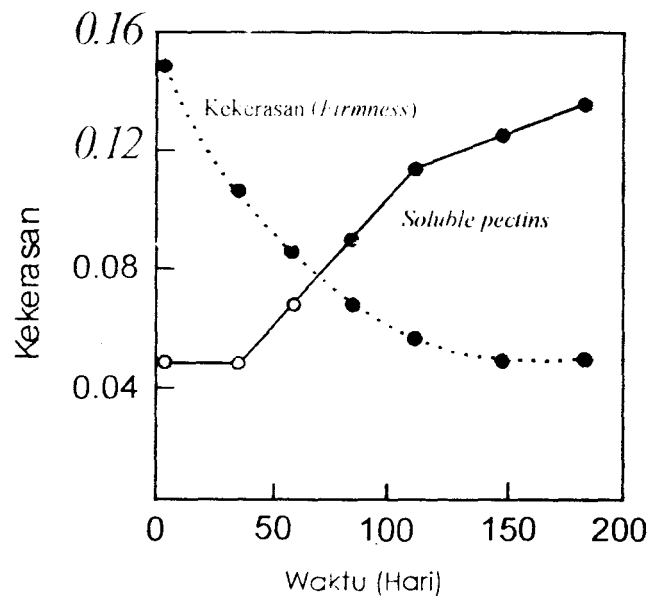
Jika gelombang ultrasonik dilewatkan pada buah apel, maka perubahan karakteristik fisika dan kimia buah apel (rapat massa, kekerasan, kadar gula dan keasaman) akan memberikan perubahan pada nilai parameter akustik gelombang ultrasonik, seperti kecepatan dan atenuasi yang ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2). Oleh karena itu, massa dan volume perlu diukur untuk memperoleh nilai rapat massa dan kekerasannya. Kadar gula dan keasaman perlu diukur untuk mengetahui korelasinya dengan kecepatan dan atenuasi. Hubungan kecepatan gelombang pada buah dinyatakan dengan persamaan (1).

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho_o(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

dimana:

- $E$  = modulus Young atau elastisitas ( $N/m^2$ )
- $\nu$  = perbandingan poisson
- $\rho_o$  = rapat massa ( $kg/m^3$ )
- $v_L$  = kecepatan gelombang longitudinal (m/det)

sel, dan (iii) berkurangnya tekanan turgor [8]. Dengan kata lain, perubahan kekerasan merupakan perubahan karakteristik pada buah apel.



**Gambar 2. Kurva kekerasan buah apel. Selama proses pematangan buah apel, terjadi penurunan kekerasan yang berhubungan dengan kandungan soluble pectins [7]**

Selain itu, selama proses pematangan terjadi perubahan hidrolisis yang menyebabkan terbentuknya gula. Gula terbentuk dari zat tepung. Pada buah apel perubahan hidrolisis terjadi secara gradual sehingga perubahan kadar gulanya juga terjadi secara gradual [7]. Dari keterangan ini dapat diketahui selama proses pertumbuhan selain terjadi perubahan fisika, terjadi pula perubahan kimia pada buah apel.

Jika gelombang ultrasonik dilewatkan pada buah apel, maka perubahan karakteristik fisika dan kimia buah apel (rapat massa, kekerasan, kadar gula dan keasaman) akan memberikan perubahan pada nilai parameter akustik gelombang ultrasonik, seperti kecepatan dan atenuasi yang ditunjukkan oleh persamaan (1) dan (2). Oleh karena itu, massa dan volume perlu diukur untuk memperoleh nilai rapat massa dan kekerasannya. Kadar gula dan keasaman perlu diukur untuk mengetahui korelasinya dengan kecepatan dan atenuasi. Hubungan kecepatan gelombang pada buah dinyatakan dengan persamaan (1).

$$v_l = \sqrt{\frac{E}{\rho_o} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

dimana:

- $E$  = modulus Young atau elastisitas ( $N/m^2$ )
- $\nu$  = perbandingan poisson
- $\rho_o$  = rapat massa ( $kg/m^3$ )
- $v_l$  = kecepatan gelombang longitudinal (m/det)

Nilai atenuasi dinyatakan dengan persamaan (2).

$$\alpha = \frac{\ln(A/A_0)}{d} \quad (2)$$

dimana:

$A$	amplitudo lewat apel (mV)
$A_0$	amplitudo lewat udara tanpa apel (mV)
$d$	diameter apel (cm)
$\alpha$	koeffisien atenuasi (Nepers/m)

### 3 SAMPEL

Pada penelitian ini telah diambil sampel buah apel jenis Manalagi dari daerah Batu-Malang, yang diambil dalam lima tingkat umur yaitu 2, 3, 4, 4½ dan 6 bulan, masing-masing sebanyak 20 buah. Pemilihan sampel diusahakan dengan ukuran relatif sama pada tiap tingkat umur. Warna seluruh sampel relatif sama yaitu hijau. Parameter akustik (kecepatan, atenuasi dan spektral daya) dari seluruh sampel diukur terlebih dahulu, kemudian dilakukan pengukuran empat parameter fisiko-kimianya (rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula).

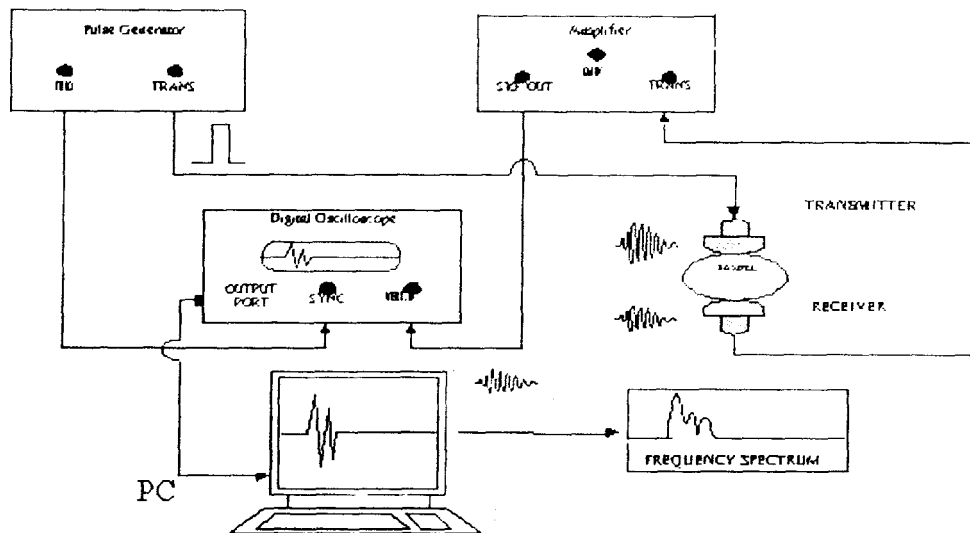
## 4 INSTRUMENTASI DAN METODA PENGUKURAN

### 4.1 Pengukuran Parameter Akustik

Pengukuran parameter akustik (kecepatan, atenuasi dan spektral daya) disusun seperti yang dilakukan pada pengukuran spektral daya kentang [3] (Gambar 3). Instrumen terdiri dari Generator Pulsa, sepasang transduser Krautkramer 50 kHz, Amplifier, Osiloskop Digital ETC-M621 dan *Personal Computer* untuk proses akuisisi data. Pengukuran dilakukan dengan metoda transmisi, dimana salah satu transduser berfungsi sebagai pemancar dan yang lainnya sebagai penerima. Sinyal yang dibangkitkan adalah sinyal *toneburst pulse*. Sinyal ultrasonik dilewatkan pada buah apel, kemudian diterima oleh transduser penerima, dikuatkan lalu didigitalisasi oleh osiloskop digital untuk ditampilkan di layar monitor.

Transduser pemancar dieksitasi dengan pulsa oleh generator pulsa, sehingga transduser pemancar beresilasi menghasilkan gelombang akustik untuk dilewatkan pada buah apel. Selama melewati buah apel, gelombang ultrasonik melewati batas-batas medium seperti antara udara dan kulit, kulit dengan daging buah, daging buah dengan rongga biji serta rongga biji dengan biji [3]. Berdasarkan hukum pemantulan gelombang, sebagian energi akan dipantulkan dan sebagian lagi diteruskan pada tiap bidang batas medium. Selain itu, akibat hamburan gelombang ultrasonik 50 kHz tersebut bagian-bagian buah apel akan bergetar dengan frekuensi harmonik dari 50 kHz. Dengan kata lain, akibat eksitasi 50 kHz ini maka buah apel akan berperan sebagai noise generator yang frekuensi-frekuensinya akan dinyatakan dalam spektral

daya. Dari hasil pengolahan dapat dilihat bahwa frekuensi-frekuensi tersebut muncul dalam rentang frekuensi tinggi yaitu di antara 40 kHz hingga 50 kHz (frekuensi minimum dan maksimum pada rentang frekuensi tinggi). Selain pada rentang frekuensi tinggi, muncul juga frekuensi rendah berkisar antara 200 Hz hingga 400 Hz. Selanjutnya diharapkan frekuensi-frekuensi tersebut membawa informasi tentang kondisi kematangan buah apel.



Gambar 3. Blok sistem instrumentasi pengukuran ultrasonik

Kecepatan rambat gelombang ultrasonik dihitung dengan mengukur waktu tempuh (*Time of Flight, TOF*) dan diameter buah apel. Waktu tempuh,  $\Delta t$ , dicatat dari layar monitor dengan acuan puncak pertama. Diameter apel,  $d$ , diukur dengan jangka sorong. Perhitungan kecepatan rambat,  $v$ , menggunakan hubungan persamaan (3) [4].

$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (3)$$

dimana:

- $\Delta t$       waktu tempuh melewati buah apel (mikrodetik)
- $d$          diameter buah apel (cm)
- $v$          kecepatan rambat (m/detik)

Perhitungan atenuasi,  $\alpha$ , dilakukan dengan mengukur amplitudo lewat apel,  $A$ , dan amplitudo tanpa apel,  $A_0$ , dengan menjaga jarak transduser tidak berubah. Atenuasi dihitung dengan hubungan persamaan (2) [4]:

Selanjutnya, estimasi spektral daya diperoleh dari rekaman sinyal dengan panjang 512 data dan frekuensi sampling 100 kHz. Estimasi dilakukan dengan metoda langsung *modified periodogram*. Tiap parameter akustik tiap sampel dilakukan empat kali pada empat posisi buah apel dengan cara memutar buah apel secara horisontal.

## 4.2 Pengukuran Parameter Fisiko-Kimia

Terdapat empat parameter fisiko-kimia yang diukur yaitu rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula. Pengukuran parameter fisiko-kimia diukur setelah pengukuran parameter akustik selesai karena pengukuran fisiko-kimia bersifat merusak.

Rapat massa diukur dengan metoda celup air. Massa diukur dengan timbangan digital sedangkan volume diukur dengan labu ukur. Perhitungan rapat massa dihitung dengan hubungan persamaan (4) [6]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (4)$$

dimana:

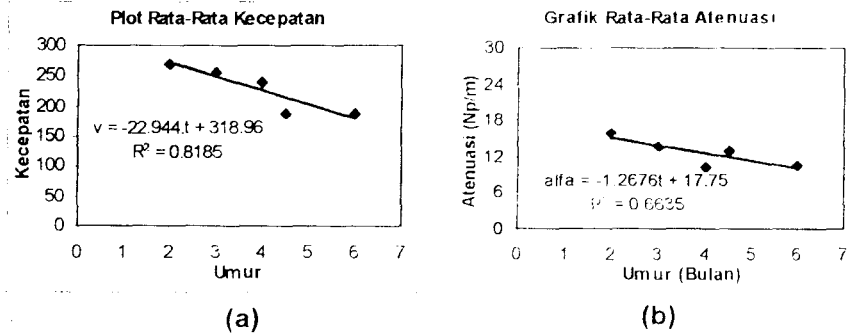
$m$	massa buah apel (gram)
$V$	volume buah apel (cm <sup>3</sup> )
$\rho$	rapat massa buah apel (g/cm <sup>3</sup> )

Kekerasan diukur sebanyak empat kali pada posisi berlainan dengan menggunakan Hardness Tester merk Atago. Keasaman dan kadar gula diukur dengan cara menghancurkan buah apel sehingga menjadi cairan. Keasaman diukur sebanyak dua kali dengan pH meter digital. Kadar gula diukur sebanyak dua kali dengan menggunakan *Hand Refractometer*.

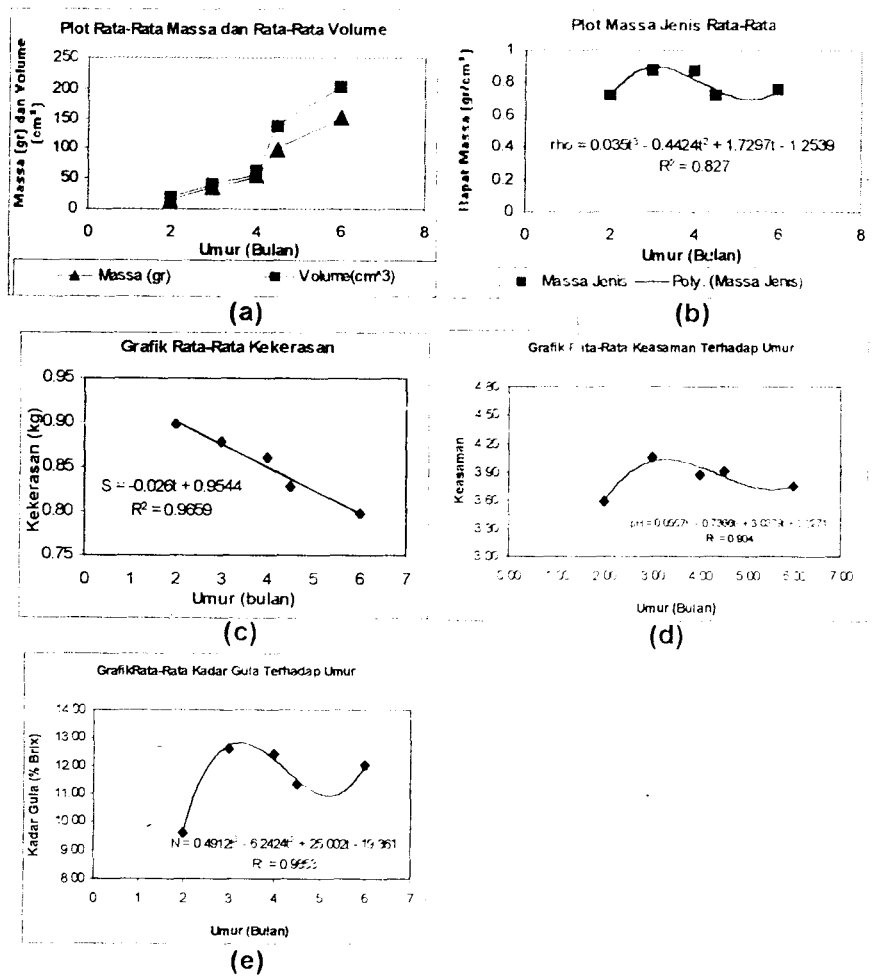
## 5 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Hubungan Parameter Akustik dan Fisiko-Kimia Terhadap Umur

Hubungan kecepatan dan atenuasi terhadap umur terlihat pada Gambar 4. Kecepatan dan atenuasi menunjukkan korelasi yang kuat ( $R^2=0.8185$  dan  $R^2=0.6635$ ) menurun seiring dengan kenaikan umur. Sedangkan parameter fisiko-kimia terhadap umur terlihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5.a pertumbuhan volume tampak lebih cepat dari pada massa dan masing-masing pertumbuhannya menunjukkan pola sigmoid terhadap umur. Kekerasan terhadap umur (Gambar 5.b) menunjukkan korelasi yang kuat ( $R^2=0.9659$ ) menurun seiring kenaikan umur. Keasaman menunjukkan penurunan terhadap umur 3 bulan ke atas (Gambar 5.c). Kadar gula menunjukkan pola yang fluktuasi terhadap umur (Gambar 5.d).



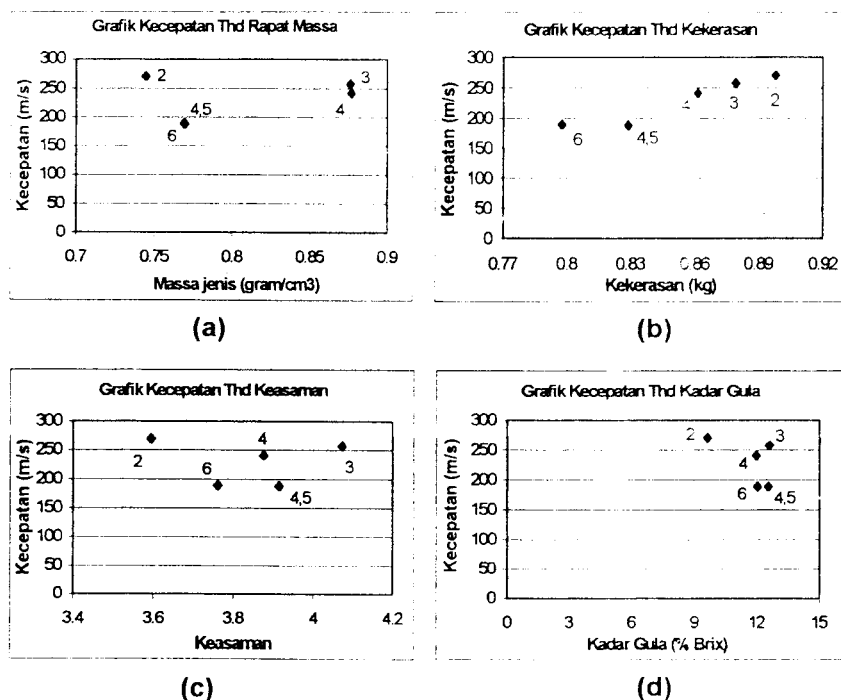
**Gambar 4. Hubungan kecepatan dan atenuasi terhadap umur.**  
**(a) Grafik kecepatan terhadap umur**  
**(b) Grafik atenuasi terhadap umur**



**Gambar 5. Hubungan parameter fisiko-kimia terhadap umur.**  
**(a) Grafik massa dan volume terhadap umur**  
**(b) Grafik rapat massa terhadap umur**  
**(c) Grafik kekerasan terhadap umur**  
**(d) Grafik keasaman terhadap umur**  
**(e) Grafik kadar gula terhadap umur**

## 5.2 Hubungan Parameter Akustik Terhadap Fisiko-Kimia

Hubungan kecepatan terhadap empat parameter fisiko-kimia tampak pada Gambar 6. Kecepatan terhadap rapat massa menunjukkan hubungan yang fluktuasi namun pada perioda *eating quality* (4½ dan 6 bulan) terletak pada nilai yang unik dibandingkan dengan perioda bukan *eating quality*. Kecepatan terhadap kekerasan menunjukkan korelasi yang kuat, menurun seiring turunnya kekerasan dan meningkatnya umur. Hubungan kecepatan terhadap keasaman dan kadar gula fluktuasi dan sulit untuk diidentifikasi.

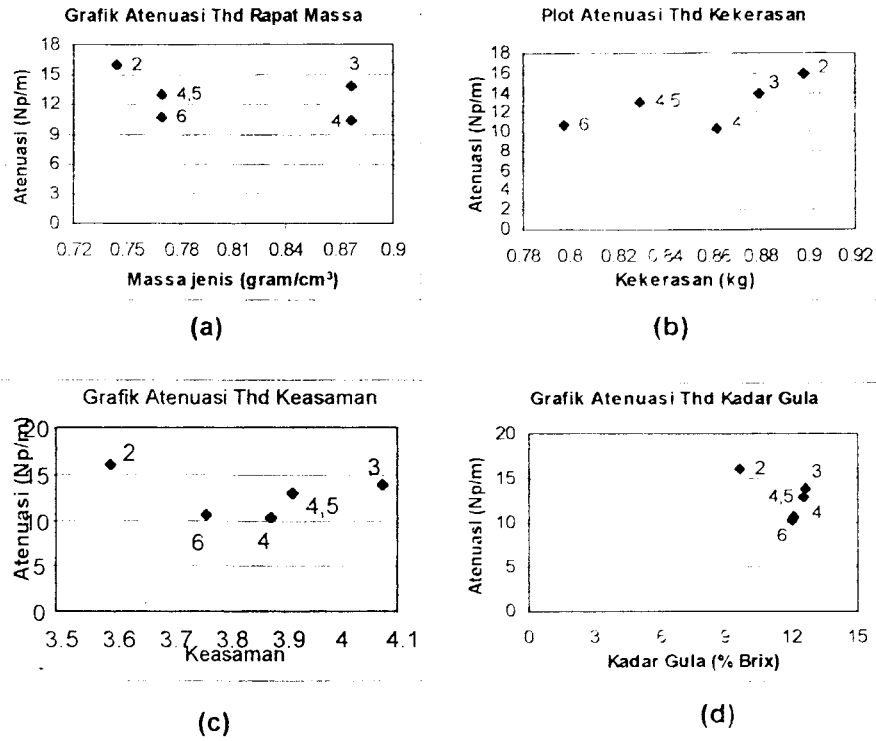


Gambar 6. Grafik kecepatan terhadap seluruh parameter fisiko-kimia (rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula)  
(a) Grafik kecepatan terhadap rapat massa.  
(b) Grafik kecepatan terhadap kekerasan  
(c) Grafik kecepatan terhadap keasaman (*pH*)  
(d) Grafik kecepatan terhadap kadar gula

Sedangkan hubungan atenuasi terhadap empat parameter fisiko-kimia tampak pada Gambar 7.

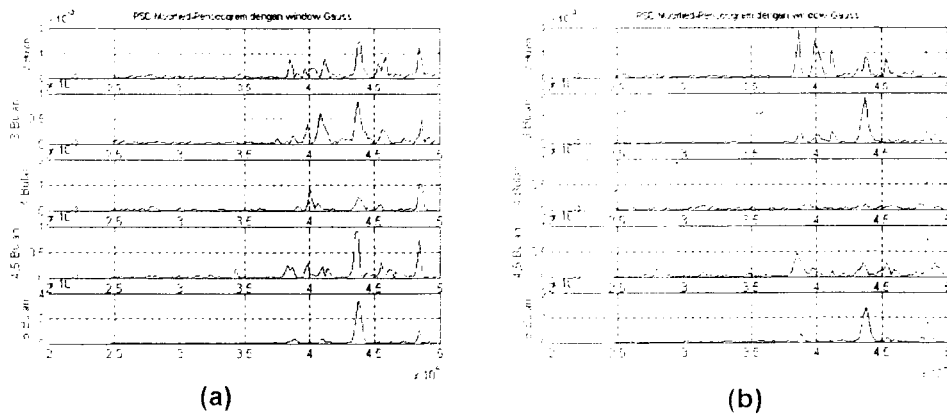
## 5.3 Analisis Spektral

Gambar 8 adalah spektral daya pada rentang frekuensi tinggi dua sampel pertama. Spektral daya berbeda untuk tiap tingkat umur namun sulit dikenali untuk nomor sampel yang lainnya. Pada Gambar 8 terlihat spektral daya tiap tingkat berbeda baik dalam kerapatan frekuensi maupun magnitudonya.



**Gambar 7.** Grafik atenuasi terhadap seluruh parameter fisiko-kimia (rapat massa, kekerasan, keasaman dan kadar gula).

- (a) Grafik atenuasi terhadap rapat massa.
- (b) Grafik atenuasi terhadap kekerasan
- (c) Grafik atenuasi terhadap keasaman (*pH*)
- (d) Grafik atenuasi terhadap kadar gula

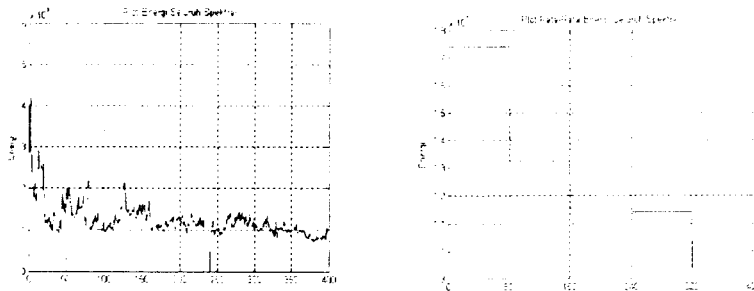


**Gambar 8.** Estimasi spektral daya dua sampel pertama

- (a) Spektral daya sampel nomor-1
- (b) Spektral daya sampel nomor-2

## 5.4 Analisis Momen Spektral

Momen spektral daya tiap posisi pengukuran tiap sampel dapat dilihat pada Gambar 9. Momen spektral dihitung dengan menghitung luas bawah kurva spektral dayanya. Pada Gambar 9 terlihat bahwa mulai momen spektral turun secara seiring kenaikan umurnya.



**Gambar 9. Grafik nilai momen spektral tiap sampel tiap tingkat umur. Nilai momen spektral diperoleh dengan menghitung luas kurva spektral daya.**

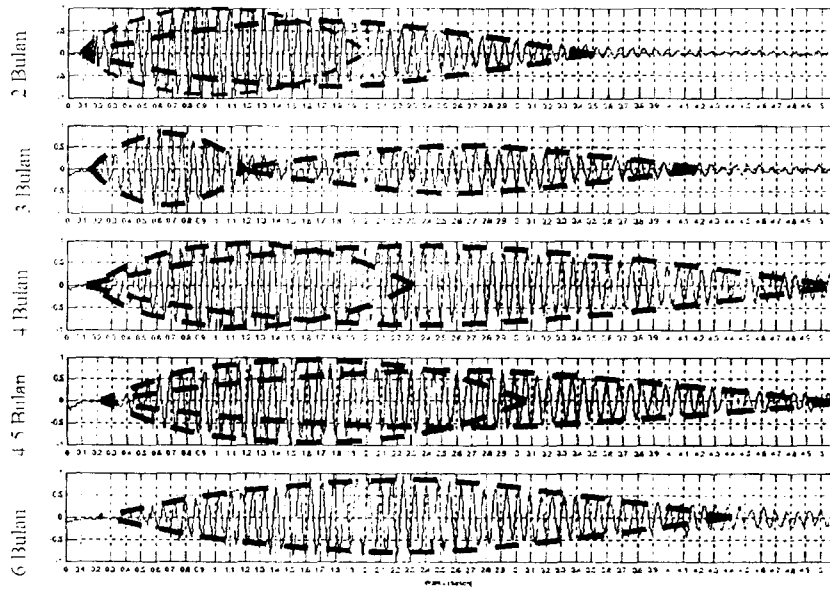
- (a) Grafik nilai momen spektral tiap sampel tiap tingkat umur (rata-rata dari empat kali pengukuran) dihitung dalam rentang frekuensi 25 kHz hingga 50 kHz
- (b) Grafik rata-rata momen spektral tiap tingkat umur (rata-rata dari 20 sampel)

## 5.5 Deteksi Frekuensi Rendah

Di samping frekuensi tinggi, pada hasil test dengan ultrasonik juga ditemukan kehadiran frekuensi rendah pada amplop sinyal. Frekuensi rendah tersebut di atas 3 bulan turun seiring dengan umur. Bentuk sinyal domain waktu lima tingkat umur pada sampel pertama dapat dilihat pada Gambar 10. Pada Gambar 10 terlihat amplop sinyal semakin landai seiring kenaikan umur. Perhitungan frekuensi amplop dilakukan dengan menghitung waktu setengah periode amplop. Garis tebal adalah hasil deteksi awal dan akhir setengah periode amplop. Selisihnya adalah nilai setengah periode amplop dan nilai selisih ini digunakan untuk menghitung frekuensi amplop.

## 6 KESIMPULAN

Kecepatan dan atenuasi menunjukkan penurunan seiring kenaikan umur buah apel, sehingga selanjutnya, dari kecepatan dan atenuasi gelombang ultrasonik dapat diukur umur buah apel yang bersangkutan. Di samping itu, kecepatan terhadap kekerasan menunjukkan hubungan yang linier meningkat seiring kenaikan kekerasan dan penurunan umurnya. Kecepatan terhadap rapat massa pada periode *eating quality* memiliki nilai yang unik dibandingkan dengan yang bukan *eating quality*. Sedangkan kecepatan terhadap keasaman dan kadar gula menunjukkan hubungan yang fluktuasi. Oleh karena itu pada penelitian, kecepatan lebih tepat sebagai informasi sifat fisik dari pada sifat kimia buah apel. Hal yang sama juga terjadi pada atenuasinya.



**Gambar 10.** Lima sinyal ultrasonik domain waktu tiap tingkat umur pada masing-masing sampel pertama.

Spektral daya tiap tingkat umur berbeda namun sulit dikenali keunikannya. Momen spektral di atas umur 3 bulan cenderung turun seiring dengan umur. Di samping itu, ditemukan juga frekuensi rendah pada sinyal ultrasonik dimana pada umur di atas 3 bulan turun seiring dengan umur. Oleh karena itu, momen spektral dan frekuensi rendah (pada amplop sinyal) berpotensi menjadi parameter wakil ukuran kematangan buah apel.

Berdasarkan seluruh hasil pengukuran dan analisis data maka dapat disimpulkan bahwa Parameter akustik (kecepatan, atenuasi dan spektral daya) dapat digunakan untuk mengukur umur buah apel dan parameter akustik juga dapat dipakai sebagai ukuran sebagian parameter kematangan khususnya kekerasan dan rapat massa yang merupakan parameter kematangan buah apel. Sedangkan pada penelitian ini, parameter kimia buah apel (keasaman dan kadar gula) belum dapat dinyatakan oleh parameter akustik.

## 7 DISKUSI

Pada penelitian ini sampel diambil dalam lima tingkat umur yaitu 2, 3, 4, 4½ dan 6 bulan (perbedaan umur per satu bulan), sehingga diperoleh hanya lima titik umur data pengukuran pada setiap grafik hubungan antara parameter akustik dengan parameter fisiko-kimia. Hal ini menyebabkan tingkat ketelitian pengukuran yang rendah yaitu per bulan. Oleh karena itu, tidak diperoleh informasi tentang kondisi kematangan buah apel yang umurnya di antara tingkat umur sampel (misalnya 5 ½ dan 5 bulan) yang mungkin saja informasi kriteria waktu petik optimum berada pada rentang umur tersebut.

Selanjutnya untuk meningkatkan ketelitian hasil, sampel diambil mulai dari 4 bulan hingga 6 bulan saja namun tingkat perbedaan umur yang lebih singkat misalnya tiap minggu atau bahkan tiap beberapa hari. Sehingga dapat diungkap informasi kematangan buah apel mulai 4 bulan hingga 6 bulan dengan lebih teliti.

Dari pembahasan diketahui bahwa hubungan antara parameter akustik dengan parameter kimia tidak menunjukkan korelasi yang kuat. Sehingga sulit parameter akustik dijadikan sebagai wakil ukuran parameter kimia. Namun seperti pada pembahasan disebutkan bahwa kualitas kematangan tidak hanya ditentukan oleh parameter kimia saja sehingga mengukur tingkat kematangan menggunakan gelombang ultrasonik dapat ditinjau dari parameter fisiknya saja.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bambang Soelarso. 1997. *Budi Daya apel*. Balai Benih Induk Hortikultura. Nongkojajar.
- [2] Mizrach, A., Flitsanov, U., El-Batsri, R. and Degani, C. 1998. *Determination of Avocado maturity by Ultrasonic Attenuation measurements*. Institute of Agriculture Research Organization.
- [3] Cheng, Y. and Haugh, C.G. 1994. *Detecting Hollow Heart in Potatoes Using Ultrasound*. Transaction of ASAE 37(1):217-222.
- [4] Mizrach, A., Galili, N., Rosenhouse, G. and Teitel, D.D. 1991. *Acoustical, Mechanical, and Quality Parameters of Winter-Grown Melon Tissue*. Transaction of ASAE 34(5).
- [5] Hurng, H.Y., Ay, C. and Lu, F.M. 2000. *Evaluating Internal Disorder of mango by Underwater Ultrasound*. ASAE Annual International Meeting. Milwaukee, Wisconsin-USA.
- [6] Bambang Haryanto. 2002. *Pengembangan Model Empiris Untuk penentuan Tingkat Ketuaan dan Kematangan Durian Unggul Lokal Secara Non Destruktif Dengan Gelombang Ultrasonik*. Institut Pertanian Bogor.
- [7] Leopold, A.C. and Kriedemann, P.E. (1988), *Plant Growth and Development*, Second Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd, New Delhi, 78-336.
- [8] Liljedahl, L.A. and Abbot, J.A. 1994. *Changes In Sonic Resonance of 'Delicious' And 'Golden Delicious' Apples Undergoing Accelerated Ripening*. Transaction of ASAE 37(3):907-912.
- [9] Galili, N., Mizrach, A. and Rosenhouse, G. 1993. *Ultrasonic Testing of Whole Fruit for Non-destructive Quality Evaluation*. International summer Meeting. Spokane, Washington-USA.