

Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kematangan Buah Apel Manalagi Menggunakan Sensor Ultrasonik Piezoelectric

Kurniawan Fahmi Dinanda^{*1}, Abdul Ro`uf²

¹Program Studi Elektronika dan Instrumentasi, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

²Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta, Indonesia

e-mail: ^{*1}kurniawanfahmi@mail.ugm.ac.id, ²rouf@ugm.ac.id,

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem pengukuran tingkat kematangan buah apel Manalagi (*Malus Sylvestris*) secara non destruktif menggunakan sensor ultrasonik berbasis piezoelectric. Apel Manalagi memiliki ciri kulit hijau yang tidak menunjukkan perubahan mencolok saat matang, sehingga metode visual kurang efektif untuk menilai tingkat kematangannya. Sistem yang dirancang memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mengukur atenuasi gelombang saat merambat melalui buah. Hasil atenuasi ini kemudian dikorelasikan dengan kadar gula terlarut (diukur dalam °Brix) menggunakan refraktometer sebagai pembanding. Metode ini menawarkan alternatif yang lebih cepat, efisien, dan tidak merusak dibandingkan metode konvensional yang memerlukan ekstraksi buah. Prototipe sistem terdiri dari mikrokontroler, rangkaian penguat sinyal, transduser piezoelectric dan osiloskop digital untuk menampilkan gelombang. Hasil pengujian pengukuran gelombang diperoleh bahwa semakin tinggi kadar gula dalam buah, semakin besar pula nilai atenuasi yang dihasilkan. Analisis regresi terhadap data yang diperoleh memberikan persamaan $y = -40,28 - 0,486x$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6299. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode non-invasif untuk analisis kualitas buah, serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang bertujuan meningkatkan akurasi prediksi karakteristik buah melalui pendekatan multivariabel.

Kata Kunci—Non Destruktif, Sensor Ultrasonik Berbasis Piezoelectric, Gelombang Ultrasonik, Atenuasi Gelombang, Kadar gula Terlarut

Abstract

This study aims to design and test a non-destructive ripeness measurement system for Manalagi apples (*Malus Sylvestris*) using a piezoelectric-based ultrasonic sensor. Manalagi apples have green skin that does not show any significant changes when ripe, so the visual method is less effective in assessing their ripeness. The designed system utilizes ultrasonic waves to measure the attenuation of waves as they propagate through the fruit. The attenuation results are then correlated with the dissolved sugar content (measured in °Brix) using a refractometer as a comparison. This method offers a faster, more efficient, and less destructive alternative to conventional methods that require fruit extraction. The system prototype consists of a microcontroller, signal amplifier circuit, piezoelectric transducer, and digital oscilloscope to display the waves. The results of the wave measurement test showed that the higher the sugar content in the fruit, the greater the attenuation value produced. Regression analysis of the data obtained provides an equation of $y = -40.28 - 0.486x$ with a coefficient of determination (R^2) of 0.6299. This finding provides an important contribution to the development of non-invasive methods for fruit quality analysis, as well as being the basis for further research aimed at improving the accuracy of fruit characteristic predictions through a multivariable approach.

Keywords—Non-Destructive, Piezoelectric-Based Ultrasonic Sensor, Ultrasonic Waves, Wave Attenuation, Dissolved Sugar Content

1. PENDAHULUAN

Buah apel merupakan salah satu komoditas buah-buahan penting baik dari segi ekonomi maupun kesehatan. Kandungan nutrisinya yang tinggi menjadikan buah ini tidak hanya dikonsumsi secara langsung, tetapi juga menjadi bahan baku dalam berbagai industri olahan. Di Indonesia, apel Manalagi (*Malus sylvestris*) banyak dibudidayakan di daerah dataran tinggi seperti Malang, Jawa Timur. Sayangnya, varietas apel ini memiliki ciri fisik kulit hijau yang tidak mengalami perubahan warna signifikan saat matang, sehingga metode pengamatan visual kurang efektif untuk menentukan tingkat kematangannya[1].

Tingkat kematangan buah merupakan parameter penting yang mempengaruhi nilai jual dan mutu produk. Buah yang dipanen terlalu dini akan terasa asam dan keras, sedangkan buah yang terlalu matang rentan kehilangan kesegaran dan daya simpannya. Oleh karena itu, diperlukan metode pengukuran yang objektif, akurat, dan tidak merusak untuk menilai tingkat kematangan buah, khususnya kadar gula sebagai indikator utama kemanisan dan kematangan.

Selama ini, metode konvensional seperti penggunaan refraktometer digunakan untuk mengukur kadar gula dalam satuan °Brix. Namun, metode ini bersifat destruktif karena memerlukan pengambilan sari buah, sehingga sampel tidak dapat digunakan kembali. Selain itu, prosesnya membutuhkan waktu lebih lama dan tidak efisien untuk aplikasi skala besar seperti pada proses sortasi di lapangan atau industri[2].

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkanlah teknologi Non-Destructive Testing (NDT)[3]–[5], yaitu metode pengukuran tanpa merusak objek uji. Salah satu teknologi NDT yang menunjukkan potensi tinggi dalam pengujian kualitas buah adalah sensor ultrasonik berbasis piezoelektrik. Teknologi ini mampu mendeteksi perubahan kondisi internal buah melalui pengukuran atenuasi gelombang ultrasonik yang melewati objek[3], [5].

Penelitian-penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa sensor ultrasonik efektif digunakan untuk mengukur tingkat kematangan buah seperti mangga[6], nanas[7], jeruk[8] dan sirsak[9]. Gelombang ultrasonik yang dipancarkan melalui buah mengalami pelemahan atau atenuasi akibat interaksi dengan struktur internal buah, termasuk kadar gula dan kekerasannya. Meskipun begitu, belum banyak penelitian yang fokus pada penerapan teknologi ini pada buah apel Manalagi, terutama dalam mengkorelasikan atenuasi gelombang ultrasonik dengan kadar gula sebagai parameter kematangan.

Meskipun banyak penelitian yang telah mengaplikasikan teknologi ini pada berbagai jenis buah, masih sedikit yang membahas penggunaannya pada apel Manalagi. Hal ini menjadi dasar bagi penelitian ini untuk mengisi celah tersebut dan memberikan solusi inovatif dalam pengukuran tingkat kematangan buah secara non-destruktif menggunakan sensor ultrasonik berbasis piezoelektrik. Sistem ini dirancang untuk memberikan alternatif metode pengukuran yang cepat, efisien, dan non-invasif, serta dapat diaplikasikan dalam proses sortasi dan evaluasi kualitas buah secara real-time.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian dirancang secara sistematis untuk mengembangkan alat berbasis gelombang ultrasonik dalam mengukur kadar gula pada buah apel secara non-invasif. Dengan pendekatan multidisiplin—menggabungkan elektronika, fisika gelombang, dan analisis

statistik—penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi inovatif dalam pengujian kualitas buah tanpa merusak produk.

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, diawali dari melakukan studi literatur untuk mencari referensi terkait penggunaan sensor ultrasonik dalam pengukuran kematangan buah, analisis sistem untuk menentukan kebutuhan alat dan parameter pengukuran, perancangan sistem untuk membuat prototipe alat berdasarkan analisis, pengujian sistem untuk melakukan uji coba alat untuk memperoleh data yang dapat divalidasi, dan dilanjutkan dengan analisis hasil pengujian untuk menarik kesimpulan.

2.1 Analisis Sistem

Penelitian ini menggunakan metode Non-Destructive Test (NDT) dengan sensor ultrasonik sebagai alternatif dari metode konvensional yang bersifat destruktif. Fokusnya adalah mengukur atenuasi gelombang ultrasonik akibat interaksi dengan struktur dalam buah apel (*Malus sylvestris*), yang kemudian dikorelasikan dengan kadar gula ($^{\circ}\text{Brix}$).

Prototipe dirancang agar buah apel ditempatkan di antara dua transduser piezoelektrik (transmitter dan receiver), lalu atenuasi gelombang yang terjadi dicatat dan dianalisis. Hasil akan dibandingkan dengan pengukuran kadar gula secara destruktif menggunakan refraktometer.

2.2 Alat dan Bahan

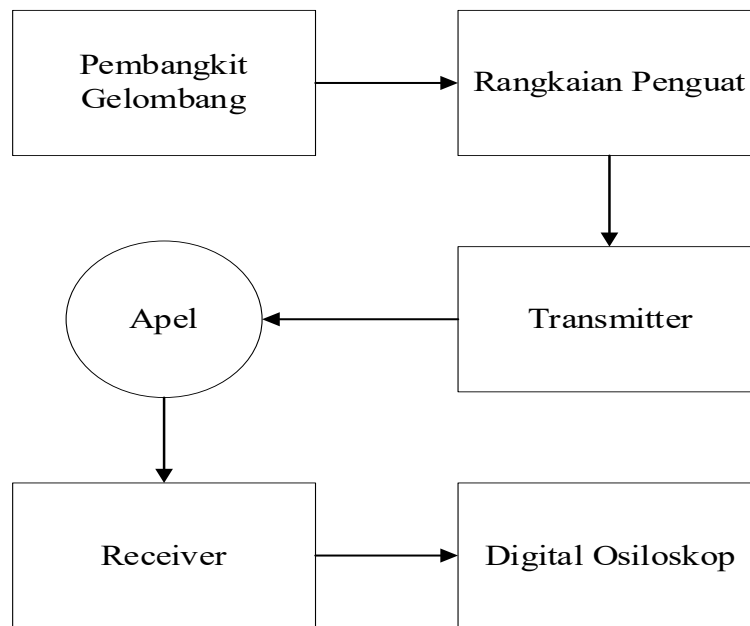
Penelitian ini menggunakan alat, modul dan bahan yang dibutuhkan seperti yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1 Alat dan Bahan Rancang Bangun Pengukuran Buah Apel Manalagi

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1.	Modul Sensor Ultrasonik	Berisi rangkaian komponen yang telah disusun
2.	Refraktometer	Pengukur kadar gula
3.	Komputer	Komputasi pada hasil pengukuran
4.	Mikrokontroler (Teensy 3.6)	Prosesor
5.	Rangkaian Penguat	Amplifier
6.	Transduser piezoelektrik	piezoelectric
7.	Catu Daya	Sumber tegangan
8.	Osiloskop	Penampil gelombang
9.	Buah Apel Manalagi (<i>Malus sylvestris</i>)	Bahan pengujian

2.3 Rancangan Sistem

Sistem dirancang untuk menghasilkan gelombang ultrasonik, kemudian memperkuatnya, dan mengirimkannya melalui buah apel. Diagram blok sistem mencakup, Pembangkit gelombang → Rangkaian penguat → Transmitter → Objek uji (apel) → Receiver → Osiloskop seperti pada Gambar 1. Gelombang yang diterima oleh receiver ditampilkan di osiloskop untuk dihitung nilai atenuasinya. Diagram alir juga disertakan untuk menjelaskan cara kerja sistem secara lebih visual.



Gambar 1 Digram blok Rancangan Sistem

Atenuasi merupakan pelemahan sinyal yang terjadi ketika sinyal yang dipancarkan merambat melalui medium. Ketika gelombang suara melewati suatu medium, pancaran gelombang semakin berkurang seiring bertambahnya ketebalan. Hal ini dikarenakan fenomena refraksi, hamburan dan absorpsi yang terjadi, sehingga gelombang yang diterima akan mengalami penurunan energi[10]. Ini menjadikan atenuasi sebagai variabel pengukuran yang dapat digunakan untuk melakukan pengujian pada penelitian ini. Nilai atenuasi yang dihitung dinyatakan dalam satuan desibel (dB) dengan persamaan(1) sebagai berikut:

$$\text{Rasio (dB)} = 20 \log_{10} \left[\frac{A_0}{A} \right] \quad (1)$$

2.4 Pengujian Sistem dan Pengumpulan Data

Tahapan awal pengujian adalah persiapan alat sejak dari perancangan dan perakitan rangkaian serta pembuatan program mikrokontroller. Program pada mikrokontroller diatur agar dapat membangkitkan sebuah gelombang sinus yang stabil. Sebelum melakukan pengujian dilakukan kalibrasi alat untuk menyesuaikan gelombang agar hasil optimal. Proses dilanjutkan dengan pengambilan data dengan sensor ultrasonik. Buah apel diletakkan di antara transmitter dan receiver. Gelombang yang diterima dicatat dan dihitung atenuasinya.

Pengambilan data dengan refraktometer: Setelah pengujian non-destruktif selesai, buah dihancurkan untuk diambil sarinya. Sari buah diukur dengan refraktometer untuk mendapatkan nilai °Brix. Analisis hasil data: Data atenuasi dan kadar gula dikorelasikan menggunakan analisis regresi linear.

Analisis regresi linier merupakan sebuah teknik statistik yang bertujuan untuk membantu dalam pemahaman variabel mana yang berpengaruh terhadap respon dan bagaimana pengaruh tersebut bekerja. Pada regresi linier akan digunakan dua variabel yang akan

dihubungkan, yaitu variabel terikat sebagai yang dipengaruhi dan variabel bebas yang dapat mempengaruhi[11]. Persamaan (2) menunjukkan persamaan sederhana pada regresi linier

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2)$$

Dimana :

Y = Variabel terikat (respon/output yang ingin diprediksi)

X = Variabel bebas (prediktor/input yang mempengaruhi Y)

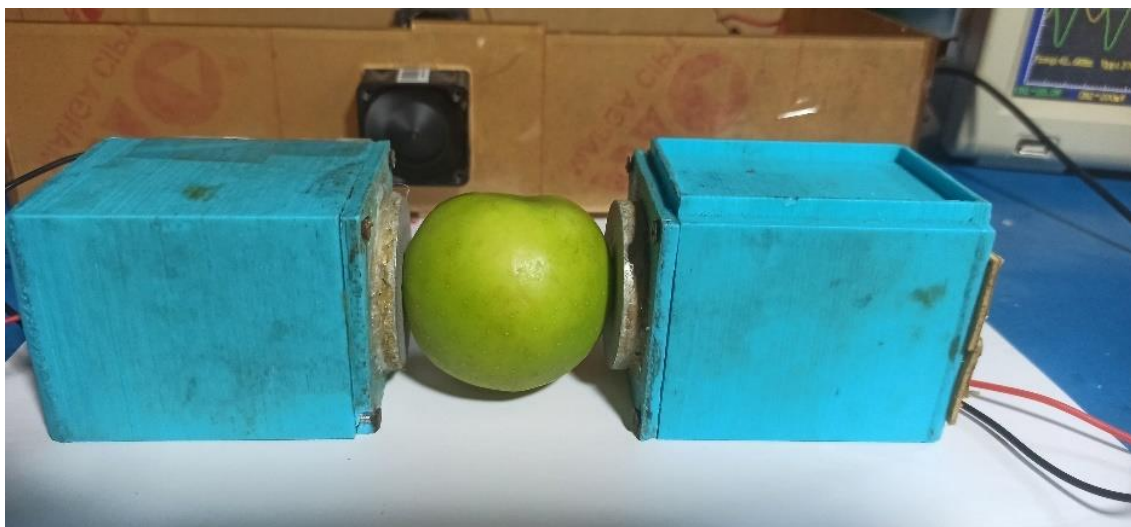
β_0 = Intersep (konstanta), nilai Y saat $X = 0$

β_1 = Koefisien regresi (kemiringan garis), menunjukkan perubahan Y tiap kenaikan 1 unit X

ε = Galat (error), selisih antara nilai Y sebenarnya dan nilai prediksi dari model

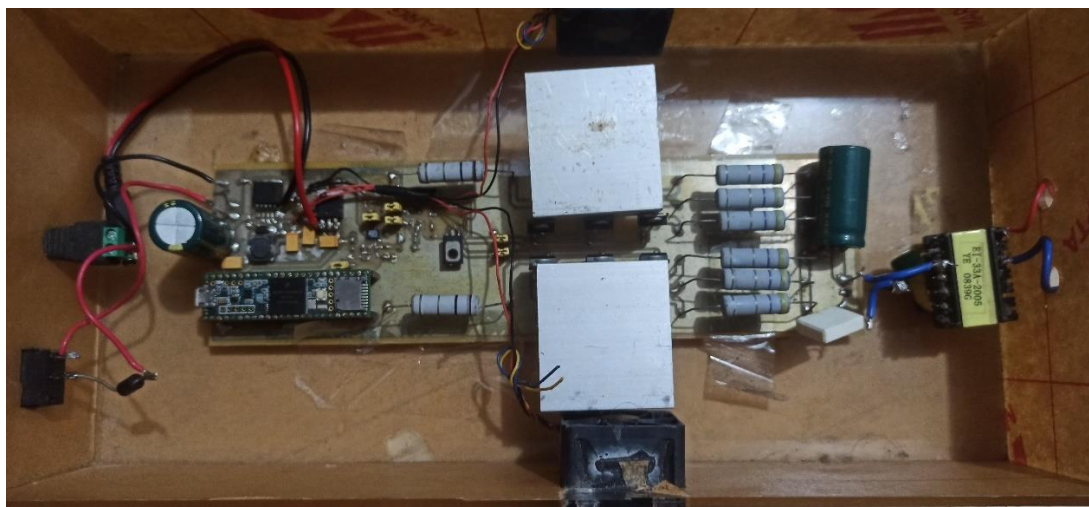
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini hadir sebagai inisiatif inovatif dalam penerapan teknologi ultrasonik untuk analisis kualitas buah secara non-invasif. Dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi kadar gula pada buah apel (*Malus sylvestris*), penelitian ini menawarkan pendekatan alternatif yang lebih cepat, akurat, dan tidak merusak produk, dibandingkan metode konvensional yang bersifat destruktif.



Gambar 2 Pengujian Non destruktif buah Apel

Sebagai fondasi utama penelitian, dirancang sebuah rangkaian elektronika presisi yang terdiri dari pembangkit gelombang sinus menggunakan mikrokontroler Teensy 3.6, penguat tegangan dengan Op-Amp 820, penguat arus dengan konfigurasi Darlington, dan trafo step-up. Rangkaian (Gambar 3) ini mampu menghasilkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi sekitar 41,6 kHz dan tegangan hingga 91,2 V, membuka jalan untuk pengukuran atenuasi yang akurat.



Gambar 3 Rangkaian Perangkat Keras

Rangkaian elektronika pada sistem pengukuran kematangan buah apel Manalagi menggunakan sensor ultrasonik piezoelektrik terdiri dari beberapa komponen utama: mikrokontroler Teensy 3.6 sebagai pembangkit gelombang sinus, rangkaian penguat tegangan (Op-Amp 820), penguat arus (konfigurasi Darlington), dan trafo step-up.

Mikrokontroler Teensy 3.6 dimanfaatkan secara optimal melalui integrasi komponen internal seperti *Programmable Delay Block* (PDB), *Digital to Analog Converter* (DAC), dan *Direct Memory Access* (DMA). Kombinasi ini memungkinkan pembangkitan gelombang sinus yang stabil dan berkelanjutan tanpa intervensi CPU secara langsung, menjadikan sistem ini efisien dan real-time.

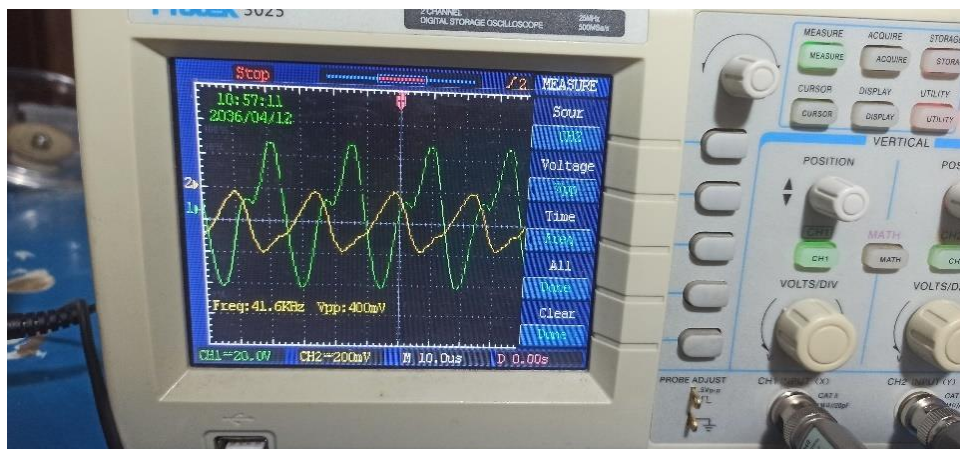
Dalam penelitian ini digunakan sepasang transduser piezoelektrik dengan frekuensi kerja 40 ± 1 kHz sebagai transmitter dan receiver. Keberadaan transduser ini menjadi kunci dalam proses deteksi perubahan atenuasi sinyal akibat interaksi gelombang dengan struktur internal buah apel, meskipun sensitivitasnya membutuhkan stabilitas posisi yang tinggi agar hasil tetap konsisten.

Komponen	Tegangan Input	Tegangan Output	Faktor Penguatan
Mikrokontroler	-	2,76 Vpp	-
Op-Amp 820	2,76 Vpp	11 Vpp	~4x
Konfigurasi Darlington	11 Vpp	9,6 Vpp	-14%
Trafo Step-Up	9,6 Vpp	91,2 Vpp	~9,5x

Tabel 2 Tahapan Penguatan Sinyal

Atenuasi sinyal gelombang ultrasonik yang melewati buah apel diukur berdasarkan perbandingan tegangan puncak-ke-puncak (Vpp) antara kondisi tanpa beban dan dengan beban buah. Hasil menunjukkan bahwa rangkaian mampu menghasilkan sinyal ultrasonik sebesar 91,2 Vpp dengan frekuensi 41,6 kHz, sesuai kebutuhan untuk transmisi melalui objek uji (buah apel). Meskipun terjadi sedikit penurunan tegangan akibat drop tegangan pada konfigurasi

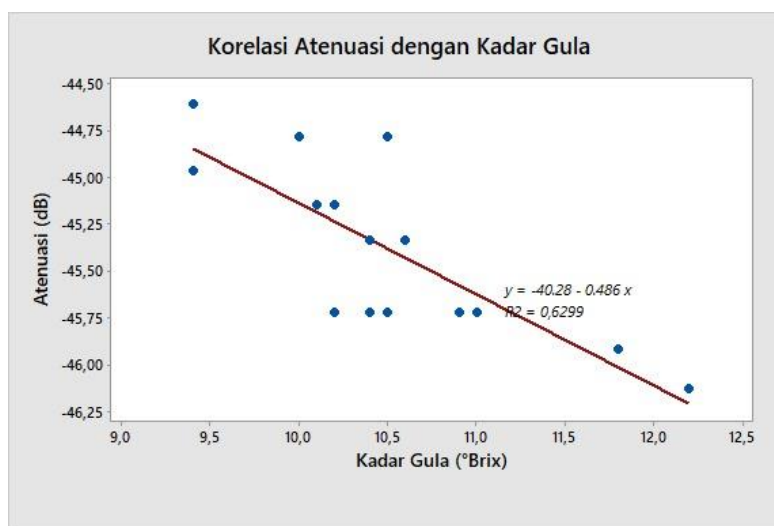
Darlington, hasil tetap memadai untuk digunakan dalam proses pengujian. Temuan ini menjadi dasar awal untuk menghubungkan karakteristik fisik gelombang dengan parameter kimia buah (Gambar 4).



Gambar 4 Pelemahan Pada Pengujian Buah Apel

Dari pembacaan pada osiloskop terlihat bahwa semakin rendah nilai tegangan output (semakin besar atenuasi), semakin tinggi kadar gula dalam buah. Hal ini menunjukkan adanya hubungan negatif antara atenuasi dan kadar gula.

Untuk memvalidasi hasil pengukuran non-invasif, dilakukan uji kadar gula secara destruktif menggunakan refraktometer digital dengan rentang ukur hingga 32°Brix. Data dari kedua metode kemudian dibandingkan untuk membangun model prediktif, meningkatkan kepercayaan terhadap akurasi metode ultrasonik yang dikembangkan.



Gambar 5 Korelasi Atenuasi dengan Kadar Gula

Analisis regresi linier dilakukan untuk mengevaluasi hubungan antara atenuasi gelombang dan kadar gula (°Brix). Hasil menunjukkan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6299 dengan persamaan garis $y = -40,28 - 0,486x$. Di mana x = kadar gula (°Brix) dan y =

nilai atenuasi (dB). Meskipun korelasi belum sangat kuat, hasil ini memberikan bukti awal bahwa atenuasi memiliki potensi sebagai indikator tidak langsung kadar gula pada buah.

Selama pengujian, ditemukan bahwa fluktuasi sinyal dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal seperti posisi transduser, tekstur permukaan buah, serta variasi kandungan air dan serat. Hal ini membuka peluang untuk penyempurnaan desain alat guna meningkatkan stabilitas dan reliabilitas data dalam skala aplikatif yang lebih luas.

Meskipun saat ini masih bergantung pada catu daya eksternal dan osiloskop besar, penelitian ini telah membuka jalan bagi pengembangan alat portabel berbasis teknologi ultrasonik. Dengan penyesuaian pada sistem tenaga dan modul tampilan, alat berpotensi digunakan secara langsung di lapangan untuk evaluasi kualitas buah secara real-time.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam bidang AgriTech dan FoodTech, khususnya dalam pengembangan metode non-invasif untuk analisis kualitas buah. Selain itu, pendekatan multidisiplin yang digunakan—menggabungkan elektronika, fisika gelombang, dan analisis statistik—menjadi contoh kolaborasi ilmu yang dapat diterapkan dalam berbagai kasus pengujian material biologis lainnya.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan metode serupa untuk mengukur kematangan buah menggunakan sensor ultrasonik, seperti pada mangga[12], nanas[7], dan jeruk[8]. Penelitian ini memiliki kebaruan dalam penerapan teknologi ultrasonik pada varietas apel Manalagi yang belum banyak diteliti.

Penggunaan mikrokontroler Teensy 3.6 dengan DAC, PDB, dan DMA untuk pembangkit gelombang presisi tinggi. Integrasi rangkaian penguat tegangan dan arus untuk meningkatkan sensitivitas transduser. Korelasi langsung antara atenuasi gelombang ultrasonik dan kadar gula sebagai indikator kematangan, bukan hanya kekerasan buah.

Penelitian ini juga sejalan dengan temuan [5] yang menyatakan bahwa karakteristik fisik internal buah seperti kekerasan dan kadar gula mempengaruhi propagasi gelombang ultrasonik. Meskipun korelasi tidak sangat kuat, hasil ini membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut, termasuk penggunaan pendekatan multivariat.

Meskipun sistem berhasil menghasilkan pengukuran yang dapat dikorelasikan dengan kadar gula, beberapa keterbatasan masih ditemukan. Ketergantungan posisi transduser yang sangat sensitif, sehingga memerlukan stabilisasi lebih baik. Variasi struktur internal buah yang memengaruhi konsistensi hasil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terhadap 15 sampel buah apel, diperoleh bahwa semakin tinggi kadar gula dalam buah, semakin besar pula nilai atenuasi yang dihasilkan, menunjukkan adanya hubungan proporsional antara kedua variabel tersebut. Analisis regresi terhadap data yang diperoleh memberikan persamaan $y = -40,28 - 0,486x$ dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6299, yang mengindikasikan korelasi sedang namun belum sangat kuat. Hal ini membuka peluang untuk mempertimbangkan variabel lain seperti tingkat kekerasan atau kandungan air buah sebagai faktor yang mungkin lebih signifikan dalam mempengaruhi nilai atenuasi. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode non-invasif untuk analisis kualitas buah, serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan yang bertujuan meningkatkan akurasi prediksi karakteristik buah melalui pendekatan multivariabel.

5. SARAN

Rangkaian pada alat ini masih berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Salah satunya adalah sistem catu daya yang masih bergantung pada sumber tegangan eksternal, sehingga membuat alat tidak portabel. Selain itu, proses pembacaan data masih menggunakan osiloskop berukuran besar, yang menunjukkan bahwa pengembangan alat menuju desain yang lebih portable masih memungkinkan dan memiliki banyak ruang untuk peningkatan.

Dalam penelitian lanjutan, disarankan untuk menambahkan variabel lain seperti tingkat kekerasan buah guna memberikan data yang lebih lengkap dan memperkaya analisis regresi sehingga hasilnya menjadi lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ciputra, D. R. I. M. Setiadi, E. H. Rachmawanto, and A. Susanto, "KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH APEL MANALAGI DENGAN ALGORITMA NAIVE BAYES DAN EKSTRAKSI FITUR CITRA DIGITAL," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 1, pp. 465–472, Apr. 2018, doi: 10.24176/simet.v9i1.2000.
- [2] S. A. Jaywant, H. Singh, and K. M. Arif, "Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review," *Sensors*, vol. 22, no. 6. MDPI, Mar. 01, 2022, doi: 10.3390/s22062290.
- [3] M. Arunkumar, A. Rajendran, S. Gunasri, M. Kowsalya, and C. K. Krithika, "WITHDRAWN: Non-destructive fruit maturity detection methodology - A review," *Mater. Today Proc.*, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.1094.
- [4] O. P. Chauhan, S. Lakshmi, A. K. Pandey, N. Ravi, N. Gopalan, and R. K. Sharma, "Non-destructive Quality Monitoring of Fresh Fruits and Vegetables," *Def. Life Sci. J.*, vol. 2, no. 2, p. 103, May 2017, doi: 10.14429/dlsj.2.11379.
- [5] F. Yildiz, A. T. Özdemir, and S. Uluişik, "Custom Design Fruit Quality Evaluation System with Non-Destructive Testing (NDT) Techniques," Jan. 2019, doi: 10.1109/IDAP.2018.8620769.
- [6] M. Suci Indrianti, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi Ulat Dalam Buah Mangga Menggunakan Sensor Ultrasonik," *J. Fis. Unand*, vol. 8, no. 4, 2019.
- [7] W. Luketsi, I. W. Budiastra, and U. Ahmad, "Ultrasonic Transmission Characteristic of Pineapple at Three Ripeness Levels," *J. Keteknikan Pertan.*, vol. 05, no. 1, pp. 59–64, Apr. 2017, doi: 10.19028/jtep.05.1.59-64.
- [8] W. Setiono, "SISTEM PENGUJIAN NONDESTRUKTIF BERBASIS GELOMBANG ULTRASONIK UNTUK MENGETAHUI MUTU BUAH JERUK," 2021.
- [9] F. R. Jannah and I. W. Budiastra, "Penentuan Tingkat Kekerasan dan Kemanisan Buah Sirsak (*Annona muricata* L.) Secara Nondestruktif dengan Metode Ultrasonik," *UT - Agric. Biosyst. Eng.*, 2021.
- [10] N. A. Aziz, "Pengukuran Ketebalan pada Material Baja dengan Ultrasonic Testing menggunakan Metode Contact Testing dengan Variasi Media Koplal Oil, Air, dan Gel," *Sepuluh Nop. Inst. Technol.*, pp. 5–11, 2018, [Online]. Available: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/59454>.
- [11] Douglas C Montgomery and George C Runger, *Applied Statistics and Probability For*

- Engineer*, vol. 1. 2011.
- [12] S. Adhimantoro, “Mengetahui Tingkat Kematangan Buah Dengan Ultrasonik Menggunakan Logika Fuzzy,” 2014.