

Conference Paper

Biosensor Dalam Perspektif di Era New Normal: Ultrasonik Sebagai Deteksi Awal Inovatif Infestasi Lalat Buah Pada Mangga Arum Manis

Biosensors in Perspective in the New Normal Era: Ultrasonic as an Innovative Early Detection of Fruit Flies Infestation on Sweet Arum Mango

Wiwin Windriyanti, Mira Eka Nursandi*

Master Program of Agrotechnology, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya 60294, Indonesia

*Corresponding author:

E-mail:

nursandi.kartum@gmail.com

ABSTRAK

Serangan larva lalat buah di dalam daging buah mangga arum manis dapat diketahui tanpa membuka buahnya dengan metode deteksi menggunakan gelombang ultrasonik. Karakteristik gelombang ultrasonik yang digunakan adalah koefisien atenuasi, kecepatan dan zero moment power (Mo). Pada buah mangga utuh koefisien atenuasinya 36,45 Np/M dengan kecepatan gelombang ultrasonik 518,19 m/detik dan zero moment power (Mo) 4,58. Dalam aplikasinya pendugaan kerusakan buah mangga arum manis dengan gelombang ultrasonik pada batas koefisien atenuasi 34,76 Np/M, zero moment power (Mo) 5,60. Pendugaan koefisien atenuasi lebih dari 34,76 Np/M buah mangga dinyatakan utuh, sedangkan pada koefisien atenuasi $\leq 34,76$ Np/M diduga telah terserang larva lalat buah. Pada nilai zero moment power (Mo) $> 5,6$ buah mangga dinyatakan utuh, namun bila Mo nya $\leq 5,60$ dinyatakan telah terserang larva lalat buah di dalamnya. Penggunaan sensor ultrasonik HC-SR04 efektif mendeteksi serangan larva lalat buah (*Bactrocera dorsalis*) di dalam daging buah mangga arum manis pada jarak 6 cm dengan indicator bunyi peringatan pada LCD. Bila nilai tegangan keluaran pada LCD menunjukkan > 30 mV maka buzzer akan berbunyi yang menandakan di dalam buah tersebut telah lunak akibat terserang larva lalat buah atau akibat benturan, sebaliknya bila nilai tegangan keluaran ≤ 30 mV dan buzzer tidak berbunyi mengindikasikan buah mangga masih sehat dan utuh.

Kata Kunci: Mangga arumanis, ultrasonik, lalat buah, atenuasi, nilai Mo, voltase

ABSTRACT

The attack of fruit fly larvae in the flesh of the sweet arum mango can be detected without opening the fruit by a detection method using ultrasonic waves. The characteristics of ultrasonic waves used are attenuation coefficient, speed and zero moment power (Mo). In whole mango, the attenuation coefficient is 36.45 Np/M with ultrasonic wave speed 518.19 m/sec and zero moment power (Mo) 4.58. In its application, the estimation of the damage of the sweet arum mango with ultrasonic waves at the limit of attenuation coefficient of 34.76 Np/M, zero moment power (Mo) 5.60. The estimated attenuation coefficient of more than 34.76 Np/M mango fruit was declared intact, while the attenuation coefficient 34.76 Np/M was thought to have been attacked by fruit fly larvae. At the value of zero moment power (Mo) > 5.6 mangoes are declared intact, but if the Mo is 5.60, it is declared to have been attacked by fruit fly larvae in it. The use of the ultrasonic sensor HC-SR04 is effective in detecting the attack of fruit fly larvae (*Bactrocera*

How to cite:

Windriyanti, W., & Nursandi, M. E. (2021). Biosensors in perspective in the new normal era: Ultrasonic as an innovative early detection of fruit flies infestation on sweet arum mango. *Sains dan Teknologi Pertanian Modern*. NST Proceedings. pages 63-70. doi: 10.11594/nstp.2021.1510

dorsalis) in the flesh of the sweet arum mango at a distance of 6 cm with a warning sound indicator on the LCD. If the output voltage value on the LCD shows > 30 mV, the buzzer will sound which indicates that the fruit inside has softened due to being attacked by fruit fly larvae or due to impact, on the contrary if the output voltage value is 30 mV and the buzzer does not sound, it indicates the mango is still healthy and intact.

Keywords: Mango arumanis, ultrasonic, fruit fly, attenuation, Mo value, voltage.

Pendahuluan

Mangga (*Mangifera indica*) merupakan komoditas buah unggulan Indonesia yang berkembang di beberapa sentra produksi. Mangga arum manis merupakan salah satu jenis buah mangga yang paling diminati oleh masyarakat local maupun mancanegara. Mangga arum manis memiliki rasa yang manis dan harum. Daerah penghasil mangga arum manis terbesar di Jawa Timur adalah Probolinggi, Situbondo dan Pasuruan (Batukita, 2021). Produksi buah arum manis di Jawa Timur mencapai 1,29 juta ton (44,6%) pada 2020, menyusul Jawa tengah sebesar 481,9 ribu ton (16,6%), dan Jawa Barat 442,6 ribu (15,27%), Nusa Tenggara Barat 140,2 ribu ton, dan Sulawesi Selatan 115,4 ribu ton (Rizaty, 2021). Luas areal panen mangga arum manis di Jawa Timur mencapai lebih dari 83 ribu hektar dengan produktivitas mencapai 1,04 kuintal per pohon (Rizaty, 2021).

Peluang pengembangan ekspor buah mangga arum manis Indonesia sangat menjanjikan. Indonesia berada di peringkat lima besar produsen buah mangga dunia setelah India, Cina, Thailand dan Meksiko. Menurut Balai Besar Karantina Pertanian Surabaya, 2020 bahwa ekspor buah mangga arum manis melalui Surabaya pada tahun 2020 mencapai 172,24 ton senilai 3,07 Triliun. Negara tujuan ekspor mangga arum manis Indonesia adalah Singapura, Malaysia, Hongkong, Korea Selatan, Cina, Jepang, UAE, Amerika Serikat dan Timor Leste.

Buah mangga sangat rentan terinfeksi lalat buah (*Bactrocera spp* dan *Dacus spp*). Lalat buah menyerang daging buah dan biji buah mangga. Mangga arum manis yang terinfeksi lalat buah dari luar tampak sehat dan utuh namun setelah dibelah bagian dalam daging buah tampak busuk. Spesies lalat buah yang menyerang mangga arum manis di Indonesia yaitu *Bactrocera dorsalis* atau dikenal dengan nama Oriental Fruit Fly. Vergheese *et al.* (2014) dalam Hasbullah dkk (2008) melaporkan bahwa *Bactrocera dorsalis* merupakan hama utama mangga yang ada di India. Selama ini pemerintah Jepang melarang mengimpor buah dari negara-negara yang memiliki hama lalat buah ini. Sementara pemerintah Indonesia melakukan pengawasan ketat sehubungan dengan besarnya kehilangan ekonomi dan pembatasan perdagangan yang disebabkan oleh spesies lalat buah ini.

Kerusakan akibat serangan lalat buah hanya terlihat ketika buahnya dikupas, sehingga tidak dapat dijual kembali. Berbagai upaya pengembangan teknologi pasca panen mangga arum manis supaya dapat memenuhi standarisasi ekspor. Salah satu dengan teknologi sortasi atau pemutuan. Diperlukan metode yang dapat mendeteksi kerusakan dalam buah tanpa harus merusaknya. Beberapa metode uji secara tidak merusak (*non destructive testing*) yang telah dikembangkan untuk buah adalah metode image processing, metode gelombang NIR (*Near Infra Red*), metode gelombang sinar X, metode NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) dan metode gelombang ultrasonik (Suroso dkk, 2007).

Metode gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mengetahui mutu buah bagian dalam tanpa merusak, metode ini tidak memiliki efek samping dan dapat menembus bagian dalam buah. Efriyanti 2016 dalam (Hasbullah dkk, 2008) melaporkan bahwa gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk menduga tingkat ketuaan belimbing manis, semakin besar kecepatan gelombang ultrasonik menunjukkan mutu buah semakin tua. Juansyah 2015 dalam (Hasbullah dkk, 2008) mengkaji mutu manggis dengan menggunakan gelombang ultrasonik, buah manggis yang lebih matang memiliki kekerasan yang lebih rendah, total padatan terlarut (TPT) yang lebih tinggi dan atenuasi yang lebih rendah. Mutu bagian dalam buah mangga akibat serangan lalat buah dapat di deteksi dengan gelombang ultrasonik tanpa merusak buah hasil penelitian beberapa pihak tentang karakteristik gelombang ultrasonik pada buah mangga arum manis.

Hasil dan Pembahasan

Kerusakan buah mangga arum manis karena serangan lalat buah

Infestasi telur ke dalam daging buah tidak bersamaan, ukuran larva lalat buah juga berbeda. Berdasarkan hasil penelitian Hasbullah dkk (2008) bahwa dalam satu buah mangga terdapat larva paling banyak 130 ekor dengan kondisinya masih sangat kecil antara instar 1-instar 2.

Kerusakan buah mangga yang dijumpai hampir semuanya mendekati bentuk silinder (Helda, 2013). Kerusakan bermula pada bagian pangkal dekat bekas tangkai buah dan memanjang ke arah ujung mangga pada bagian sisi daging buah yang tebal (Gambar 1). Kerusakan berbentuk silinder dengan diameter dan ketebalan yang bervariasi. Diameter dan volume kerusakan mangga arum manis yang rusak kedua sisinya merupakan penjumlahan diameter dan volume kerusakan kedua sisinya (Helda, 2018). Sisi mangga yang diserang lalat buah adalah sisi mangga yang kulitnya tebal, hal ini karena teksturnya lebih lunak dan tidak banyak mengandung serat dibandingkan pada sisi punggungnya (Helda, 2013).



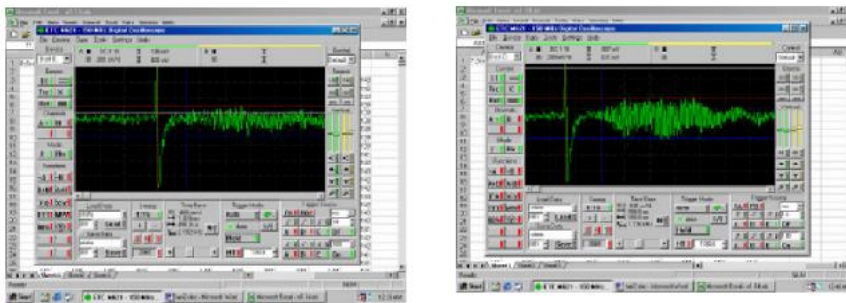
Gambar 1. Bagian dalam mangga arumanis terserang lalat buah dengan kerusakan berbentuk silinder

Karakteristik gelombang ultrasonik pada buah mangga arum manis

Bagian mangga yang rusak, ditandai dengan teksturnya lunak dan adanya rongga pada daging buah (Helda, 2013). Hal tersebut terjadi akibat aktivitas lalat buah atau hama perusak lainnya. Disamping itu daging buah yang rusak warnanya kuning kecoklatan hingga coklat tua, sehingga dapat dibedakan antara daging yang rusak dan daging buah yang masih utuh (Infonet Biovision, 2019).

Deteksi kerusakan mangga akibat serangan lalat buah menggunakan karakteristik gelombang ultrasonik berupa kecepatan gelombang ultrasonik, koefisien atenuasi dan zero moment power yang dapat merambat melewati daging buah mangga yang lunak dan busuk tersebut (Azfar *et al.*, 2018). Nilai karakteristik ultrasonik menunjukkan angka berbeda setelah melewati daging buah yang masih utuh dengan daging buah yang sudah busuk karena serangan lalat buah (Warji dkk, 2008).

Menurut Trisnohadi 2007 dalam Hasbullah dkk (2008), besarnya koefisien atenuasi tergantung pada medium yang dilalui. Pada media padatan koefisien atenuasinya kecil, media cair koefisien atenuasinya sedang, sedangkan pada media gas koefisien atenuasinya kecil (Hasbullah dkk, 2008). Gelombang ultrasonik akan memiliki nilai amplitude lebih kecil apabila melewati daging buah yang utuh dan sehat, sebaliknya jika melewati daging buah yang sudah lunak, busuk dan berongga maka amplitudonya akan lebih besar. Hasil penelitian Warji dkk (2008) pada gambar 2 terlihat bahwa perbedaan sinyal gelombang ultrasonik yang melewati daging buah mangga arum manis yang sehat dan yang terserang larva lalat buah.

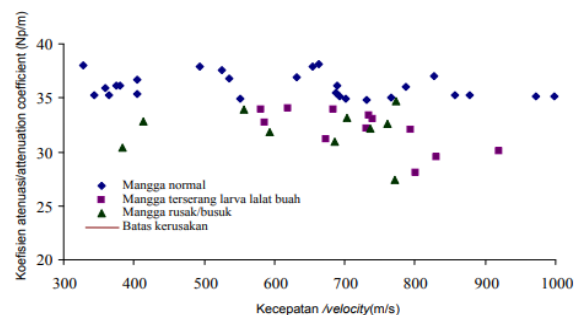


Gambar 2. Sinyal gelombang ultrasonik yang melalui buah mangga utuh(kiri) dan mangga yang terserang lalat buah (kanan)

Perbedaan nilai amplitude ini digunakan untuk mendeteksi buah mangga arum manis yang masih utuh dengan buah mangga arum manis yang sudah rusak daging buah di dalamnya karena terserang larva lalat buah tanpa merusak buah walaupun tampak kulit luar buah mangga arum manis tersebut seringkali masih kelihatan utuh, bagus, mulus (Warji dkk, 2008). Kenampakan fisik luar buah mangga arum manis seringkali tidak dapat dibedakan antara buah mangga yang terinfestasi lalat buah dan buah mangga yang tidak terserang lalat buah. Kulit luar buah mangga yang utuh, mulus, bagus, dan mengkilat tidak menjamin daging buah di dalamnya juga utuh dan sehat bebas dari telur maupun larva lalat buah yang telah terinfestasi oleh ovipositor lalat buah betina.

Koefisien atenuasi

Menurut Hasbullah dkk (2008) bahwa mangga sehat memiliki nilai koefisien atenuasi paling kecil 35,08 Np/m, sedangkan nilai koefisien atenuasi mangga yang terserang lalat buah terbesar 34,44 Np/m, sehingga nilai koefisien atenuasi lebih besar dari 34,44 Np/m dan kurang dari 35,08 Np/m sebagai pembatas pendugaan rusak dan tidak nya buah mangga arum manis akibat serangan larva lalat buah. Pada gambar 3 menunjukkan perbedaan nilai koefisien atenuasi buah mangga arum manis yang masih utuh dan yang sudah terserang larva lalat buah.



Gambar 3. Koefisien atenuasi mangga arum manis

Berdasarkan hasil pengukuran pada gambar 3 diperoleh nilai koefisien atenuasi paling kecil untuk mangga yang terserang lalat buah sebesar 26,22 Np/m. Nilai koefisien atenuasi lebih kecil dari 26,22 Np/m dapat tercapai pada kondisibuah mangga dengan tingkat kerusakan lebih parah dengan lebih banyak larva lalat buah yang ada di dalamnya (Indrianti & Wildian, 2019). Sedangkan nilai koefisien atenuasi paling besar pada buah mangga utuh adalah 40,78 Np/m. Kisaran koefisien atenuasi buah mangga utuh antara 35,08 Np/m dan 40,78 Np/m (Hasbullah dkk, 2008).

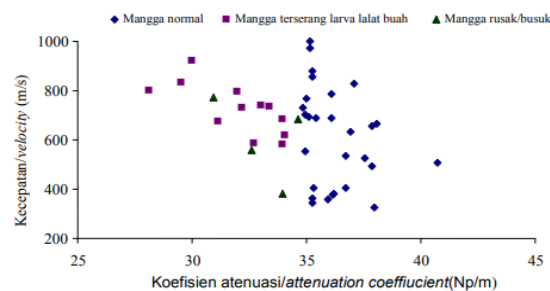
Nilai tengah koefisien atenuasi terendah mangga yang utuh yaitu 35,08 Np/m dengan koefisien atenuasi tertinggi mangga yang terserang larva lalat buah yaitu 34,44 Np/m dipilih sebagai nilai batas kerusakan (Hasbullah dkk, 2008). Buah mangga dengan nilai koefisien atenuasi lebih dari 34,76 Np/m tergolong buah mangga yang sehat, sebaliknya jika nilai koefisien atenuasinya kurang dari sama dengan 34,76 Np/m dikategorikan buah mangga yang rusak terserang larva lalat buah (Warji dkk, 2008).

Kulit luar buah mangga yang tampak bagus, mulus, utuh, ternyata daging buah di dalamnya rusak akibat aktivitas makan larva lalat buah dapat dideteksi sejak dini dengan menembakkan gelombang ultrasonic ke buah mangga dan membaca berapa nilai koefisien atenuasinya (Indrianti & Wildian, 2019). Buah mangga yang daging buahnya rusak tidak dapat dibedakan dengan buah mangga yang sehat dengan daging buahnya utuh secara kasat mata manual karena tekstur luar kedua buah mangga tersebut terlihat utuh, sehat, bagus semua. Koefisien atenuasi gelombang ultrasonic tidak hanya mendeteksi kerusakan daging buah akibat serangan larva lalat buah, bisa juga mendeteksi kerusakan daging buah mangga akibat benturan (Warji dkk, 2008).

Kecepatan gelombang ultrasonik

Gelombang ultrasonic merambat dengan kecepatan yang tidak dapat dibedakan antara pada daging buah utuh dan terserang, Pada daging buah utuh kecepatan rata-rata gelombang ultrasonic lebih rendah dibandingkan yang terserang.

Pada daging buah utuh kecepatan gelombang ultrasonic mencapai 518,19, sedangkan yang terserang 731,72 m/s (Hasbullah dkk, 2008). Mengingat gelombang ultrasonic termasuk gelombang suara kecepatannya 340 m/s. Hasil penelitian Juansah (2005) dalam Rokhani dkk (2008), nilai perhitungan kecepatan gelombang ultrasonic mencapai 378,23 m/s dan 404,12 m/s. Nilai ini dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu udara. Hasil perbandingan antara kecepatan gelombang ultrasonic dengan hasil perhitungan kecepatan merupakan nilai konstanta (c) (Indrianti & Wildian, 2019). Nilai ini untuk mengkalibrasikan kecepatan ultrasonic pada mangga arumanis. Gambar 5 menunjukkan kecepatan gelombang ultrasonic tidak dapat sebagai dasar pendugaan kerusakan mangga arum manis akibat serangan larva lalat buah.



Gambar 4. Kecepatan gelombang ultrasonik mangga Arum manis

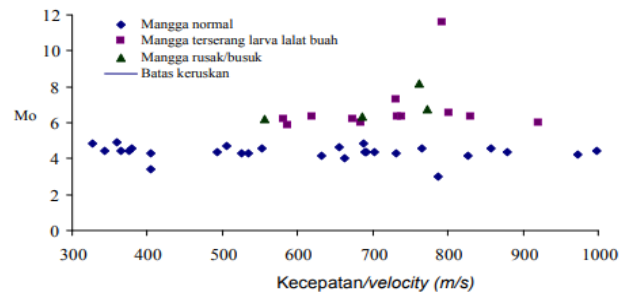
Zero moment power (Mo)

Nilai Mo dapat pula sebagai pendugaan kerusakan buah mangga arum manis karena nilai Mo pada mangga yang terserang berbeda dengan nilai Mo mangga utuh (Gambar 6). Rata-rata nilai Mo mangga utuh sebesar 4,58, mangga terserang larva lalat buah 6,40.

Nilai Mo mangga utuh paling tinggi 5,49, sedangkan nilai Mo mangga terserang larva lalat buah paling rendah 5,71, sehingga nilai Mo antara 5,71 hingga 5,49 sebagai pembatas antara mangga utuh dan mangga terserang (Hasbullah dkk, 2008). Nilai median diantara keduanya digunakan sebagai batas kerusakan yaitu 5,60. Kategori mangga memiliki nilai $Mo < 5,60$, sedangkan mangga terserang larva lalat buah memiliki nilai $Mo \geq 5,60$ (Hasbullah dkk, 2008).

Nilai Mo dapat digunakan untuk mendeteksi bagian dalam mangga arum manis yang terserang larva lalat buah atau masih utuh dengan kulit luar tampak baik (Warji dkk, 2008).

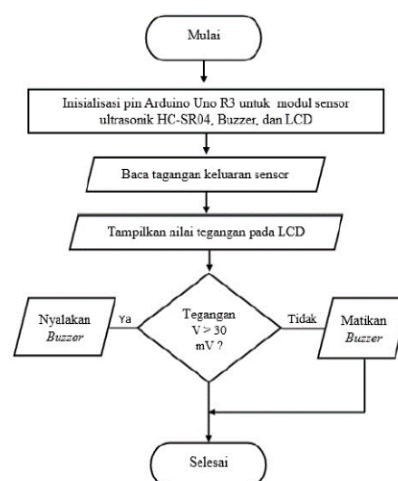
Pendeteksian kerusakan bagian dalam mangga arum manis akibat serangan lalat buah maupun akibat benturan dilakukan secara manual tanpa bantuan gelombang ultrasonik dengan nilai M_o mustahil untuk dilakukan (Azfar *et al.*, 2018). Gambar 6 menunjukkan nilai M_o yang terbaca pada bagian daging buah mangga arum manis.



Gambar 5. Nilai M_o mangga Arumanis

Mekanisme kerja gelombang ultrasonik

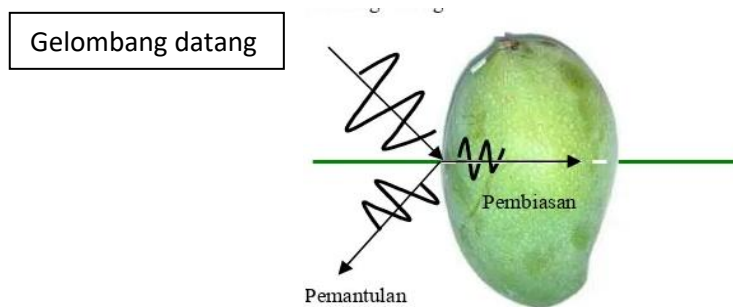
Pendeteksian larva lalat buah dalam daging buah mangga dilakukan dalam 2 tahap yaitu tahap pengukuran nilai tegangan dan mengukur keakuratannya. Tahap pertama yaitu mengukur nilai tegangan keluaran buah mangga terserang dan utuh sebanyak 5x ulangan setiap sisinya (Warji dkk, 2007). Tahap kedua yaitu mengukur keakuratan alat terhadap buah yang masih utuh dengan mengambil 5 biji sample buah secara random kemudian dilakukan pengukuran nilai tegangan output pada setiap buah (Warji dkk, 2007). Buah dengan tegangan output lebih dari 30 mV akan menyalakan buzzer yang artinya buah tersebut terserang larva lalat buah, daging buahnya telah lunak. Namun jika nilai outputnya dibawah 30 mV dan buzzer tidak menyala artinya buah tersebut masih utuh bagian dalamnya (Indrianti & Wildian, 2019). Tahapan proses pengukuran buah mangga arum manis dengan gelombang ultrasonik dapat digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 6. Diagram alir program

Penelitian Indrianti dan Wildian (2019) menjelaskan bahwa pengideraan sensor ultrasonik dengan sebuah detector mampu mendeteksi larva lalat buah di dalam daging buah pada buah mangga utuh tanpa merusak kulit luarnya. Sensor ultrasonik memiliki frekuensi 40 Hz sehingga mampu menembus medium seperti daging buah mangga ini (Tanjung, 2012).

Menurut Indrianti dan Wildian (2019) pendeteksian diawali dengan memberikan sinyal yang ditransmisikan oleh sensor ultrasonic HC SR04 ditembakkan ke permukaan buah mangga. Sensor akan memancarkan gelombang dari transmitter untuk diterima oleh receiver. Gelombang ultrasonic yang dipantulkan ke media yang lunak tidak sekuat jika dipantulkan ke media yang keras (Warji dkk, 2008). Buah mangga terserang daging buahnya lunak dan berongga yang berisi udara sehingga lebih sedikit menyerap energy ultrasonic dibandingkan yang utuh (Biswas *et al.*, 2020) tampak gambar 8.

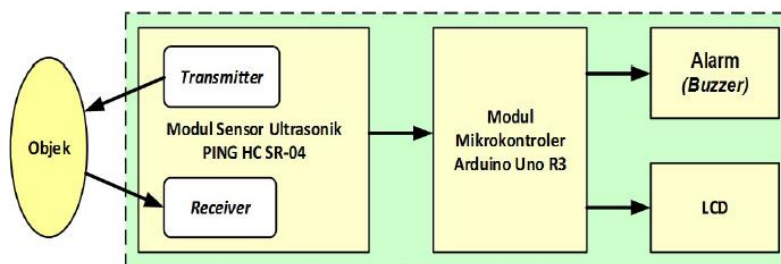


Gambar 7. Proses pemantulan dan pembiasan gelombang pada bidang batas medium mangga arumanis

Pengujian pada sensor ultrasonic menggunakan HC SR04 yang dihubungkan dengan Arduino Uno R3 (Gambar 10) yang bertujuan untuk mengaktifkan sensor. Pada sensor ultrasonic HC-SR04 menggunakan 4 pin yaitu Vcc, Trig, Echo dan GND (Sirait, 2016).

Pengujian sensor dilakukan dengan menghubungkan pin pada sensor ultrasonic HC-SR04 dengan Arduino Uno R3 kemudian pin Vcc dihubungkan dengan pin 5V pada Arduino Uno R3, pin Trig dihubungkan dengan pin 9 pada Arduino Uno R3, pin Echo yang dihubungkan dengan pin 10 pada Arduino Uno R3, pin GND yang dihubungkan dengan pin GND pada Arduino Uno R3 (Sirait, 2016).

Keluaran sinyal dari sensor ultrasonic akan diproses oleh mikrokontroler dan akan memberikan perintah sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Bila buzzer berbunyi maka nilai tegangan hasil pengukuran akan tampil pada layar LCD yang menggambarkan kondisi dalam daging buah mangga tersebut (Yolanda, 2016). Jika nilai tegangan diatas 30 mV maka buzzer akan menyala sebaliknya buzzer akan mati jika nilai tegangan kurang dari 30 mV (Sirait, 2016).



Gambar 8. Diagram blok sistem pendeteksi ulat dalam buah mangga menggunakan sensor Ultrasonic

Kesimpulan

1. Karakteristik gelombang ultrasonic pada buah mangga arumanis yaitu koefisien atenuasi dan zero moment power dapat digunakan untuk menduga adanya kerusakan karena serangan lalat buah, sedangkan kecepatan gelombang ultrasonic tidak dapat digunakan.

2. Batas nilai atenuasi antara mangga utuh dan mangga terinfeksi lalat buah pada angka 34,76 Np/m. Bila nilai koefisien atenuasi $> 34,76$ Np/m berarti mangga terserang lalat buah sebaliknya bila nilai koefisien atenuasi $\leq 34,76$ Np/m berarti mangga utuh.
3. Batas nilai Mo mangga utuh dan terserang lalat buah adalah 5,60. Bila nilai Mo $< 5,60$ artinya mangga terserang lalat buah, sebaliknya bila nilai Mo $\geq 5,60$ artinya mangga utuh.
4. Sensor ultrasonic HC-SR04 efektif mendeteksi larva dalam buah mangga pada jarak 6 cm dengan indicator bunyi peringatan pada LCD.
5. Bila nilai tegangan keluaran > 30 mV akan mengaktifkan buzzer dan peringatan berbunyi pada LCD menandakan diduga terdapat larva lalat buah di dalam buah mangga tersebut. Sebaliknya bila buzzer mati dan peringatan tidak berbunyi maka nilai tegangan ≤ 30 mV artinya diduga buah mangga utuh/sehat.

Daftar Pustaka

- Azfar, S., Nadeem, A., Akhodre, A. B., Ahsan, K., Mehmood, N., Alghmd, T., & Alsaawy, Y. (2018). Monitoring, detection and control techniques of agriculture pest and disease using wireless sensor network: A review. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(12), 424-433.
- Balai Besar Karantina Pertanian Surabaya. (2020). *Laporan Tahunan BBKP Surabaya 2020*. Surabaya: Balai Besar Karantina Pertanian Surabaya.
- Batukita. (2021). Jawa Timur raja pasar manga nasional. <https://www.batukita.com/2021/07/jawa-timur-raja-pasar-mangga-nasional.html>
- Biswas, A., Abedin, S., & Kabir, A. (2020). Moving object detection using ultrasonic radar with proper distance, direction and object shape analysis. *Journal of Information Systems Engineering and Business Intelligence*, 6(2). <http://dx.doi.org/10.20473/jisebi.6.2.99-111>
- Hasbullah, R., Rachmat, R., Setyabudi, D. A., & Warji. (2008). Aplikasi ultrasonic untuk pendugaan kerusakan serangan lalat buah pada mangga arumanis. *Tesis*. https://123dok.com/document/8yd0o21z-pendugaan-kerusakan-mangga-arumanis-akibat-menggunakan-gelombang-ultrasonik.html?utm_source=search_v3
- Indrianti, M. S., & Wildian. (2019). Rancang bangun alat pendeteksi ulat dalam buah mangga menggunakan sensor ultrasonic. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), <https://doi.org/10.25077/jfu.8.4.336-341.2019>
- Infonet Biovision. (2019). Fruit flies. <https://infonet-biovision.org/PlantHealth/Pests/Fruit-flies>
- Rizaty, M. A. (2021). Jawa Timur jadi sentra produksi mangga nasional pada 2020: Sumber Badan Pusat Statistik (BPS). <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/07/29/jawa-timur-jadi-sentra-produksi-mangga-nasional-pada-2020>
- Sirait, Y. I. (2016). Perancangan alat pengusir hama lalat buah menggunakan gelombang ultrasonic berbasis arduino. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara. Medan. <https://docplayer.info/70187506-Skripsi-perancangan-alat-pengusir-hama-lalat-buah-menggunakan-gelombang-ultrasonik-berbasis-arduino.html>
- Suroso, Rokhani, H., Ridwan, R., & Dondy, A. S. B. (2007). Pengembangan sistem deteksi kerusakan karena serangan lalat buah secara nondestruktif dengan teknik ultrasonik. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/7361>
- Tanjung, Y. R. 2012. *Laporan tugas akhir tahun*. Online 14 Agustus 2021. <http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/77/jbptppolban-gdl-yogarusman-3819-3-bab2--7.pdf>
- Warji, Suroso, & Hasbullah, R. (2008). Pendugaan kerusakan mangga arumanis akibat lalat buah menggunakan ultrasonic: zero moment power (prediction of arumanis mango damage caused by fruit fly using ultrasonic: zero moment power). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 Yogyakarta*. 18-19 November 2008. Online tanggal 14 Agustus 2021.
- Warji, Suroso, Rokhani Hasbullah, 2007, Validasi persamaan batas kerusakan mangga arum manis berdasarkan zero moment power. *Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian*, 12(2), 53-59.