

RANCANG BANGUN ALAT DETEKSI ETILEN MENGGUNAKAN SENSOR WINSEN ZE11 - C₂H₄ BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO UNO

Design of Ethylene Detection Device Using Winsen ZE11-C₂H₄ Sensor Based on Arduino Uno Microcontroller

Khairunnisa Fitri¹, Khandra Fahmy², Andasuryani²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Andalas

²Dosen Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

Email: khandrafahmy@ae.unand.ac.id

ABSTRAK

Etilen merupakan senyawa yang ditemukan dalam fase gas pada tumbuhan. Senyawa ini tidak berwarna, tidak berbau dan mudah menguap. Pada produk klimaterik, produksi senyawa ini akan mengalami peningkatan selama pematangan. Oleh karena itu perlu diketahui berapa konsentrasi etilen yang diproduksi oleh produk klimaterik. Tujuan penelitian ini adalah merancang alat pendeteksi etilen menggunakan sensor etilen Winsen ZE11 - C₂H₄ yang berbasis mikrokontroler arduino uno. Komponen alat yang dirancang terdiri dari *chamber*, sensor etilen, mikrokontroler arduino uno dan perangkat komputer. Rangkaian sensor ini dirancang agar mampu menampilkan nilai etilen secara *realtime* pada aplikasi *PLX-DAQ* di *Microsoft Excel*. Uji performa alat dilakukan menggunakan alpukat Tongar pada umur panen 150 hari, 180 hari, 210 hari dan 240 hari setelah bunga mekar yang dilakukan selama 5 menit untuk setiap sampel yang digunakan. Berdasarkan hasil uji performa, rangkaian sensor ini terbukti mampu mendeteksi etilen pada alpukat Tongar pada tingkat kematangan yang berbeda. Rata-rata etilen yang terdeteksi oleh sensor pada alpukat Tongar dengan umur panen 150 hari berkisar antara 5-6 ppm, 180 hari berkisar antara 7-8 ppm, 210 hari berkisar antara 12-13 ppm dan 240 hari berkisar antara 17-18 ppm. Konsentrasi etilen yang terdeteksi oleh rangkaian sensor menunjukkan variasi yang berbeda pada setiap umur panen. Pada umur panen yang lebih tinggi, konsentrasi etilen yang terdeteksi meningkat. Peningkatan konsentrasi etilen seiring bertambahnya umur panen menunjukkan efektivitas sensor ini dalam memonitoring etilen pada buah alpukat Tongar. Berdasarkan penelitian, alat yang dirancang ini berhasil mendeteksi etilen dan berpotensi diterapkan pada produk pertanian lainnya.

Kata kunci— etilen; winsen ZE11- C₂H₄; mikrokontroler; arduino uno

ABSTRACT

Ethylene is a compound found in the gas phase in plants that is colorless, odorless, and volatile. In climacteric products, the production of this compound will increase during ripening. Therefore, it is necessary to know how much ethylene is produced by climacteric products. The study aimed to design an ethylene detection device using the Winsen ZE11 - C₂H₄ ethylene sensor based on the Arduino Uno microcontroller. The components of the device were a chamber, ethylene sensor, Arduino uno microcontroller, and computer. This circuit sensor was designed to display ethylene values in real-time in the *PLX-DAQ* application in *Microsoft Excel*. The performance test of the device was carried out by using Tongar avocado at harvest time of 150 days, 180 days, 210 days, and 240 days after flowering, with a reading time of 5 minutes for each sample. The results of the performance test show that the device successfully detected ethylene production in Tongar avocados at different harvest times. The concentration of ethylene detected by the device was different among the harvest times. Tongar avocado harvested at 150 days after flowering produced ethylene ranged from 4-5 ppm, 180 days ranged from 7-8 ppm, 210 days ranged from 12-13 ppm, and 240 days ranged from 17 to 18 ppm. The ethylene concentration increased with increasing harvest times, indicating this sensor's effectiveness in monitoring ethylene produced in Tongar avocado. Based on the research, this designed device successfully detected ethylene and has the potential to be applied to other agricultural products. Kata kunci— ethylene; winsen ZE11- C₂H₄; microcontroller; arduino uno

PENDAHULUAN

Etilen adalah senyawa hidrokarbon tidak jenuh (C_2H_4) yang ditemukan dalam fase gas pada tumbuhan, yang sering disebut sebagai gas etilen. Gas etilen (C_2H_4) termasuk senyawa tidak berwarna, tidak berbau dan mudah menguap pada suhu ruang (Mubarok et al., 2020). Etilen merupakan hormon tumbuhan yang berperan penting dalam proses pematangan buah termasuk alpukat. Gas ini diproduksi secara alami oleh buah dan memicu serangkaian perubahan fisiologis yang mengarah pada pematangan (Arti & Manurung, 2013). Produksi gas etilen dapat dipengaruhi oleh suhu dan lingkungan (Firdaus et al., 2023). Pada industri pertanian, deteksi etilen yang akurat dan *real-time* sangat dibutuhkan untuk mengendalikan kualitas dan umur simpan buah. Etilen berperan dalam proses *autocatalysis* dimana etilen meningkat seiring dengan kematangan buah. Proses ini mengakibatkan peningkatan respirasi dan perubahan fisiologis lainnya yang mempercepat pematangan dan penuaan buah (Pech et al., 2018). Penggunaan teknologi yang mampu mendeteksi etilen secara *real-time* sangat dibutuhkan untuk memudahkan petani dan konsumen dalam menentukan umur panen buah.

Alpukat Tongar merupakan jenis alpukat unggul yang berasal dari Sumatera Barat, Indonesia. Alpukat termasuk buah klimaterik yang mengalami lonjakan respirasi dan produksi etilen setelah dipanen, dan akan mempengaruhi perubahan fisiologis dan biokimia yang terjadi selama pematangan (Azrita et al., 2020). Umur panen alpukat akan mempengaruhi mutu dan kualitas buah tersebut. Etilen sebagai salah satu senyawa yang dikeluarkan oleh alpukat selama tahap pematangan dapat digunakan sebagai indikator umur panen buah. Penentuan umur panen sangat penting untuk menentukan pengelolaan yang tepat dalam tahap pematangan untuk menjaga kualitas mutu dan nilai jual buah.

Teknologi sensor telah mengalami perkembangan signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Hal ini memungkinkan dilakukannya pengukuran gas dengan sensitivitas dan akurasi tinggi (Sampebatu et al., 2022). Berbagai jenis sensor telah dikembangkan untuk mendeteksi etilen, mulai dari sensor elektroda gas, sensor semikonduktor, hingga sensor berbasis nanoteknologi. Sensor semikonduktor yang telah digunakan untuk mendeteksi etilen pada buah dan sayur memiliki beberapa kelemahan. Sensor ini memerlukan suhu operasi yang tinggi dan membutuhkan waktu persiapan yang lama sebelum digunakan. Hal ini dapat mempengaruhi dan memperburuk kualitas mutu buah yang digunakan (Kusnandar et al., 2021). Sensor Winsen ZE11- C_2H_4 merupakan salah satu sensor elektroda gas yang banyak digunakan dalam pendeteksian gas. Sensor ini mampu mendeteksi konsentrasi etilen pada level yang sangat rendah dengan respon yang cepat. Sensor Winsen ZE11- C_2H_4 bekerja berdasarkan prinsip elektro-kimia dan memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas tinggi dan konsumsi daya rendah. Sensor ini memiliki keluaran data digital dan analog secara bersamaan yang memudahkan penggunaan dan kalibrasi serta mempersingkat periode pengembangan. Sensor Winsen ZE11- C_2H_4 juga memiliki stabilitas dan kemampuan anti-interferensi yang baik.

Sensor Winsen ZE11- C_2H_4 mudah diaplikasikan karena menggunakan pin yang sedikit pada mikrokontroler arduino uno. Sensor ini memiliki membran permeabel yang sangat sensitif dengan keberadaan etilen di udara. Mikrokontroler arduino uno sebagai komponen utama dalam sistem elektronik modern, memiliki *platform* yang fleksibel dan dapat diprogram untuk mengintegrasikan berbagai jenis sensor dan perangkat lainnya. Arduino uno mempunyai 14 pin digital input/output (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP header, dan sebuah tombol reset. Arduino uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya dengan komputer menggunakan kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai (N. Hidayat et al., 2020)

Mikrokontroler arduino atau ESP32 memberikan kapabilitas pemrosesan data dan komunikasi yang memadai untuk mengembangkan sistem monitoring yang canggih (Widyatmika et al., 2021). Kombinasi sensor Winsen ZE11- C_2H_4 dengan mikrokontroler dapat menghasilkan sistem deteksi etilen yang efektif dan efisien. Sistem ini dapat memantau konsentrasi etilen secara berkelanjutan dan memberikan data *real-time* yang berguna untuk pengambilan keputusan dalam proses pematangan alpukat Tongar. Rangkaian sensor ini merupakan kombinasi dari prinsip deteksi elektrokimia yang matang dan desain sirkuit yang canggih, untuk memenuhi berbagai kebutuhan deteksi etilen pada produk pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pendeteksi etilen menggunakan sensor etilen Winsen ZE11- C_2H_4 berbasis mikrokontroler arduino uno. Alat ini dirancang untuk mendeteksi etilen di udara secara berkelanjutan dan *real-time*.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor etilen Winsen ZE11-C₂H₄ (Gambar 1), *chamber*, mikrokontroler arduino uno, dan perangkat komputer. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alpukat Tongar dengan empat tingkat kematangan 150 hari, 180 hari, 210 hari dan 240 hari setelah bunga mekar yang diperoleh dari perkebunan alpukat di Kabupaten Pasaman Barat, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 1. Sensor etilen Winsen ZE11-C₂H₄

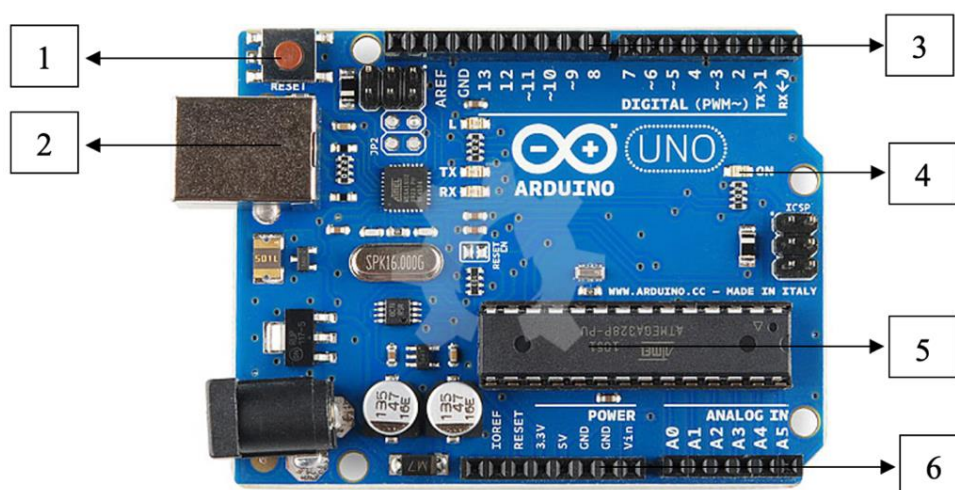
Sensor etilen sendiri terdiri dari (1) *Circuit board*, bagian ini berfungsi untuk menghubungkan komponen internal pada sensor, (2) Konektor dan pin, bagian ini berfungsi untuk menghubungkan sensor dengan rangkaian mikrokontroler, (3) Pelindung sensor, bagian ini berfungsi melindungi komponen dalam sensor dan (4) Elemen sensing, bagian ini berfungsi untuk merespon gas etilen di udara (Gambar 1). Sensor Winsen ZE11-C₂H₄ memiliki ukuran 32mm x 31,2mm. Sensor Winsen ZE11-C₂H₄ mampu mendeteksi etilen yang ada di udara dengan jangkauan 0-100 ppm dan bekerja pada suhu operasional -20° Celcius sampai 50° Celcius. Sensor Winsen ZE11-C₂H₄ merupakan sensor yang memiliki sensitivitas dan kinerja tinggi. Sensor ini dapat bekerja dengan selektivitas dan stabilitas yang baik. Sensor Winsen ZE11-C₂H₄ memiliki keluaran digital dan keluaran tegangan analog secara bersamaan yang memudahkan penggunaan dan kalibrasi serta mempersingkat periode pengembangan. Sensor ini merupakan kombinasi dari prinsip deteksi elektrokimia yang baik dan desain sirkuit yang canggih, untuk memenuhi berbagai kebutuhan deteksi etilen pada produk pertanian. Spesifikasi sensor etilen Winsen ZE11- C₂H₄ dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Etilen Winsen ZE11- C₂H₄

Spesifikasi Sensor Etilen ZE11- C ₂ H ₄	
Nomor modelnya	ZE11
Target Gas	Etilen
Waktu panas	≤ 3 menit
Waktu Tanggapan	≤ 60 detik
Lanjutkan waktu	≤ 60 detik
Resolusi	≤ 0,5 ppm
Tegangan kerja	DC 5,0 V ± 0,1V
Data keluaran	Konsentrasi nilai gas etilen
Lingkungan Operasi	Suhu: -20 ~ 50 °C
Kelembaban	15% RH - 90% RH (tanpa kondensasi)
Lingkungan penyimpanan	Suhu: 20-25 °C
Dimensi	Ø32mm * 31,2mm

Sumber: winsen-sensor.com

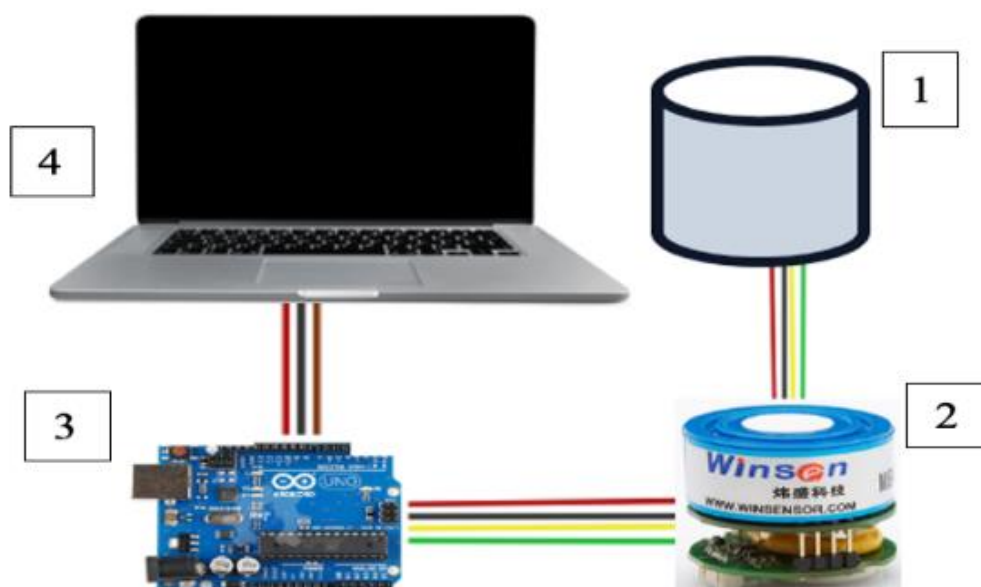
Arduino uno merupakan sebuah papan pengembangan mikrokontroler (Firdaus *et al.*, 2023). Arduino uno ini terdiri dari (1) reset button, (2) USB plug, (3) Digital I/O Pins, (4) Power LED Indicator, (5) Mikrokontroler ATmega328, (6) Analog In Pins (A0-A5). USB plug digunakan untuk menghubungkan arduino uno ke komputer untuk mengunggah kode program yang membaca data dari sensor etilen Winsen ZE11-C₂H₄. Selain itu, melalui koneksi USB, papan arduino uno mikrokontroler ATmega328 juga mendapatkan daya yang diperlukan untuk menjalankan sensor dan komponen lainnya. Pada arduino uno tersebut juga terdapat pin digital I/O dapat digunakan untuk mengendalikan perangkat tambahan seperti indikator LED, buzzer, atau *relay* yang dapat diaktifkan berdasarkan konsentrasi etilen yang terdeteksi. Mikrokontroler ini adalah "otak" dari arduino uno yang berfungsi untuk menjalankan kode yang telah diunggah dari perangkat komputer, termasuk program yang membaca data dari sensor etilen, mengolah data tersebut, dan mengambil tindakan berdasarkan hasil pengukuran (Taufiq *et al.*, 2020). Adapun Arduino uno yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Arduino uno Mikrokontroler ATmega328

B. Perakitan Alat

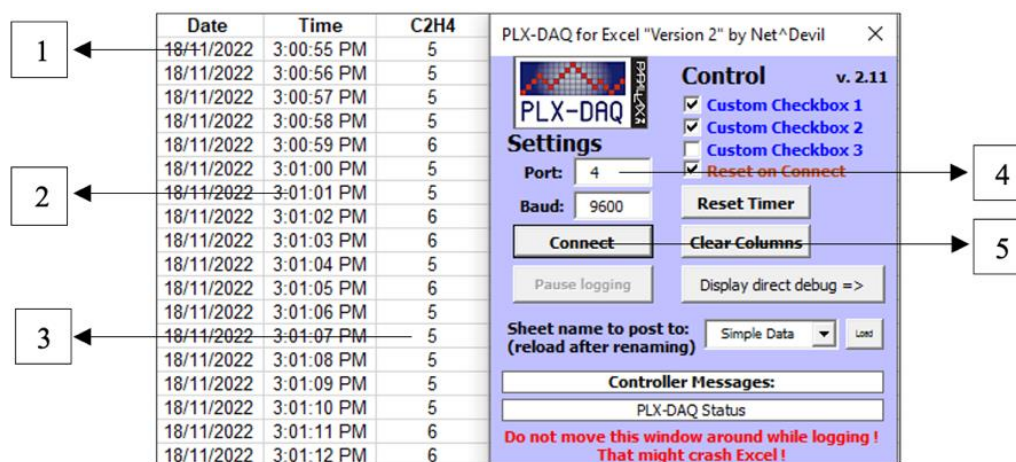
Gambaran 3 memperlihatkan rangkaian alat yang dirancang yang terdiri dari (1) Chamber, (2) Sensor etilen Winsen ZE11-C₂H₄ (3) Mikrokontroler arduino uno, dan (4) Perangkat komputer. Sensor etilen Winsen ZE11-C₂H₄ ditempatkan di dalam chamber tempat pengukuran gas etilen, kemudian hubungkan ke Arduino uno mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno dihubungkan ke computer untuk melihat pembacaan gas etilen yang diukur.



Gambar 3. Rangkaian perangkat keras

C. Uji Kinerja Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu alpukat Tongar yang berasal dari Sumatera Barat, Indonesia. Sampel dipilih yang tidak memiliki cacat visual dan seragam sesuai dengan umur panen berdasarkan hari setelah bunga mekar. Selanjutnya sampel alpukat Tongar dilakukan uji kinerja menggunakan alat pendeteksi konsentrasi etilen yang sudah dirangkai. Buah alpukat Tongar yang akan diukur konsentrasinya dimasukkan ke dalam *chamber* yang sudah dilengkapi dengan sensor etilen. Gas etilen yang diproduksi oleh alpukat akan terbaca oleh sensor melalui membran permeabel gas, dimana gas tersebut bereaksi dengan elektrolit dan menghasilkan arus listrik yang sebanding dengan konsentrasi etilen di udara. Sensor mengubah konsentrasi gas etilen menjadi sinyal listrik (tegangan) yang dapat diukur. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh sensor dibaca oleh pin analog pada arduino uno tersebut. Mikrokontroler ini mengkonversi sinyal analog dari sensor menjadi data digital menggunakan konverter analog-ke-digital (ADC) yang ada di dalamnya. Selanjutnya sinyal tersebut diterjemahkan melalui aplikasi PLX-DAQ pada *Microsoft Excel* yang sudah diinstal pada perangkat komputer. Pembacaan konsentrasi etilen pada sensor dilakukan secara kontinu dan *real-time*.



Gambar 4. Aplikasi PLX DAQ

Aplikasi PLX-DAQ pada *Microsoft Excel* berfungsi sebagai *display* untuk menginterpretasikan pembacaan konsentrasi etilen oleh sensor Winsen ZE11-C₂H₄ secara *real-time*. Tampilan aplikasi ini terdiri dari (1) Tanggal pembacaan konsentrasi etilen (2) Waktu pembacaan konsentrasi etilen termasuk jam, menit dan detik (3) Nilai konsentrasi etilen yang terdeteksi, (4) *Port* yang berfungsi untuk menghubungkan kabel USB dari rangkaian sensor ke perangkat komputer (5) *Connect button* berfungsi untuk mengaktifkan pembacaan sensor.

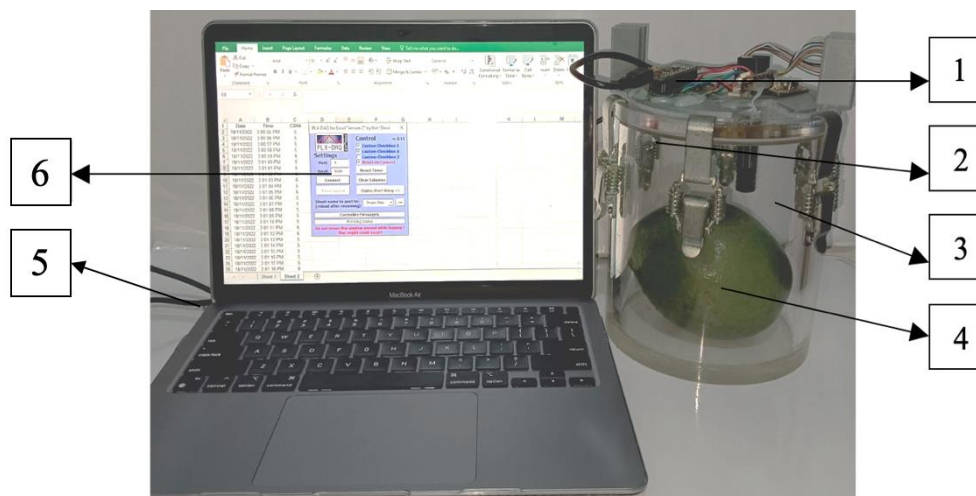
D. Analisis Stabilitas Alat

Analisis stabilitas sensor dilakukan dengan uji performa rangkaian alat sensor pendeteksi etilen menggunakan alpukat tongar dengan waktu umur panen yang berbeda. Sampel yang digunakan sebanyak 20 buah untuk masing masing tingkat kematangan, dengan total keseluruhan sampel sebanyak 80 buah alpukat Tongar. Umur panen yang digunakan yaitu 150 hari, 180 hari, 210 hari dan 240 hari setelah bunga mekar. Setiap sampel untuk uji performa dilakukan selama 5 menit. Analisis ini dilakukan untuk melihat ketepatan dan stabilitas hasil pembacaan konsentrasi etilen pada alpukat Tongar dengan waktu umur panen yang berbeda berdasarkan hari setelah bunga mekar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 5 hasil rangkaian alat pendeteksi etilen berbasis mikrokontroler arduino uno menggunakan komponen perangkat keras yang terdiri dari (1) Mikrokontroler arduino uno, berfungsi untuk membaca sinyal dari sensor Winsen ZE11-C₂H₄ yang mendeteksi etilen. Sensor ini mengirim data berupa sinyal analog ataupun digital, yang kemudian diubah menjadi data yang dapat diproses pada mikrokontroler arduino uno, (2) Sensor Winsen ZE11-C₂H₄ berfungsi sebagai sensor yang akan mendeteksi etilen yang terdapat didalam *chamber*, (3) *Chamber* berbentuk tabung yang terbuat dari

akrilik dengan tebal 2 cm dan volume 2 liter. *Chamber* berfungsi sebagai tempat pengukuran gas etilen sampel yang akan diuji, (4) Buah alpukat Tongar, sampel buah alpukat Tongar dimasukkan dalam chamber untuk dilakukan uji deteksi etilen, (5) Kabel USB, berfungsi untuk menghubungkan rangkaian sensor pada chamber dengan perangkat komputer, (6) Aplikasi PLX-DAQ pada Microsoft Excel, aplikasi ini berfungsi sebagai display untuk menampilkan hasil pembacaan konsentrasi etilen secara real time. Hasil pembacaan etilen ditampilkan dalam setiap satu detik.



Gambar 5. Hasil rancang bangun alat pendeteksi etilen berbasis mikrokontroler arduino uno

Hasil uji kinerja dari rancangan sensor pendeteksi konsentrasi etilen menggunakan arduino uno dengan mikrokontroler ATmega328 pada sampel alpukat Tongar dengan level umur panen yang berbeda berdasarkan bunga mekar dapat dilihat pada Tabel 2.

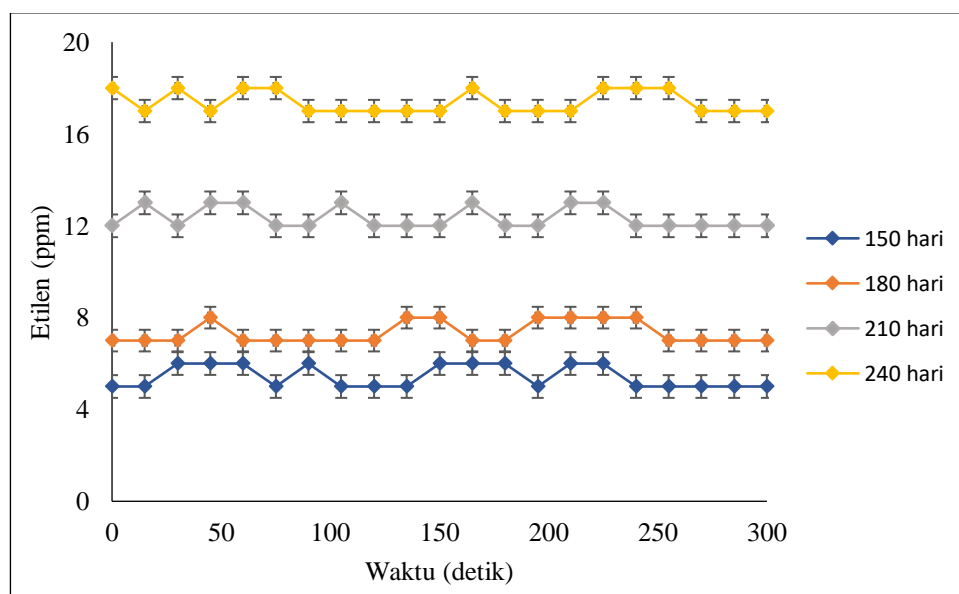
Tabel 2. Hasil deteksi etilen pada sampel alpukat Tongar

Waktu (detik)	Etilen (ppm)			
	150 hari	180 hari	210 hari	240 hari
0	5	7	12	18
15	5	7	13	17
30	6	7	12	18
45	6	8	13	17
60	6	7	13	18
75	5	7	12	18
90	6	7	12	17
105	5	7	13	17
120	5	7	12	17
135	5	8	12	17
150	6	8	12	17
165	6	7	13	18
180	6	7	12	17
195	5	8	12	17
210	6	8	13	17
225	6	8	13	18
240	5	8	12	18
255	5	7	12	18
270	5	7	12	17
285	5	7	12	17
300	5	7	12	17
Rata-rata	5,43	7,33	12,33	17,38
Standar Deviasi	0,49	0,47	0,47	0,49

Keterangan: Hari berdasarkan umur panen setelah bunga mekar.

Tabel 2 menampilkan hasil pembacaan konsentrasi etilen alpukat Tongar. Berdasarkan hasil pembacaan diketahui bahwa konsentrasi etilen alpukat Tongar pada umur panen 150 hari setelah bunga mekar berkisar diantara 5 ppm dan 6 ppm, pada umur panen 180 hari setelah bunga mekar berkisar antara 8 ppm dan 7 ppm, pada umur panen 210 hari setelah bunga mekar berkisar antara 12 ppm dan 13 ppm, dan pada umur panen 240 hari setelah bunga mekar berkisar antara 17 ppm dan 18 ppm. Berdasarkan hasil pembacaan sensor konsentrasi etilen dapat dilihat kandungan etilen yang dibaca oleh sensor dari setiap tingkat kematangan mengalami kenaikan. Hal ini sejalan dengan penelitian terdahulu bahwa semakin tinggi tingkat kematangan buah alpukat, maka semakin tinggi kandungan etilen yang terdapat didalamnya. Penelitian yang dilakukan oleh Nurjanah (2002) diketahui bahwa etilen berperan sebagai hormon alami tumbuhan yang mengatur proses pematangan buah klimaterik. Selama proses pematangan, kadar etilen dalam buah meningkat secara signifikan, terutama pada tahap kematangan tinggi. Peningkatan kadar etilen ini memicu perubahan fisiologis yang menyebabkan buah mengalami perubahan warna, reduksi klorofil, peningkatan kadar gula, dan penguapan senyawa organik lainnya. Beberapa penelitian lain juga telah dilakukan untuk mengembangkan sistem deteksi etilen pada buah. Azrita (2020) melakukan penelitian terhadap alpukat dengan menggunakan indikator label warna untuk mendeteksi etilen pada alpukat. Pada penelitian ini label warna yang telah dirancang mampu mendeteksi tingkat kematangan buah alpukat selama penyimpanan. Winny Kurniawan & Deglas (2022) melakukan penelitian tentang pengaruh etilen terhadap pematangan buah pisang kepok. Hasil penelitian didapatkan bahwa pisang kepok dengan tingkat kematangan tinggi memiliki konsentrasi etilen lebih tinggi. Maka dapat diketahui bahwa peningkatan nilai etilen pada buah alpukat berdasarkan umur panen yang dibaca oleh sensor sudah tepat.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pembacaan konsentrasi etilen selama 5 menit menunjukkan bahwa sensor ini memiliki konsistensi data yang stabil dengan nilai yang hampir sama dan standar deviasi yang mendekati nol. Semakin kecil nilai standar deviasi atau mendekati nol menandakan bahwa data tersebut semakin presisi (R. N. Hidayat et al., 2019). Grafik pembacaan konsentrasi etilen selama 5 menit dapat dilihat pada Gambar 6.

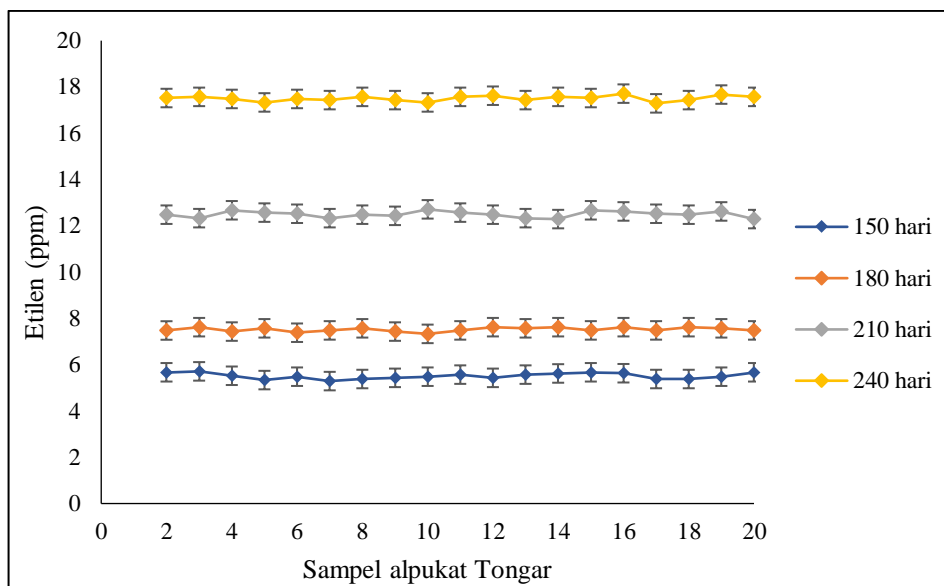


Gambar 6. Hasil pembacaan konsentrasi etilen alpukat Tongar pada umur panen yang berbeda berdasarkan hasil selama 5 menit.

Gambar 6 menunjukkan grafik hasil deteksi konsentrasi etilen pada alpukat Tongar dengan menggunakan sensor Winsen ZE11-C₂H₄ berbasis mikrokontroler arduino uno selama 5 menit. Grafik menampilkan hubungan antara konsentrasi etilen (ppm) dan waktu (detik) pada beberapa waktu umur panen alpukat Tongar, yaitu 150 hari, 180 hari, 210 hari, dan 240 hari setelah bunga mekar. Pada grafik dapat dilihat pergerakan etilen untuk setiap waktu umur panen memiliki nilai etilen yang berbeda. Berdasarkan hasil pembacaan sensor pendeteksi etilen berbasis mikrokontroler arduino uno dapat

diketahui bahwa pada umur panen yang berbeda nilai etilen yang terbaca juga berbeda, dan etilen mengalami kenaikan pada tahap umur panen yang lebih tinggi.

Uji performa dilakukan untuk memastikan bahwa pembacaan sensor sudah tepat dengan melihat kestabilan sensor dalam pembacaan konsentrasi etilen pada alpukat Tongar. Uji performa dilakukan pada sampel alpukat Tongar sebanyak 20 buah untuk masing-masing umur panen dengan total keseluruhan sampel yaitu 80 buah. Uji performa juga dilakukan selama 5 menit untuk setiap sampel, dan didapatkan rata-rata hasil pembacaan konsentrasi etilen alpukat Tongar yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik uji performa kestabilan alat dalam pembacaan konsentrasi etilen alpukat Tongar pada umur panen yang berbeda.

Berdasarkan hasil uji performa yang dapat dilihat pada Gambar 7 diketahui bahwa pembacaan konsentrasi etilen pada sensor sudah tepat karena konsistensi alat pendeteksi sensor etilen memiliki hasil pembacaan yang stabil. Hal ini sesuai dengan Tabel 2 dimana pada tingkat kematangan 150 hari setelah bunga mekar konsentrasi etilen yang terdeteksi berkisar diantara 5-6 ppm, umur panen 180 hari berkisar antara 7-8 ppm, umur panen 210 hari berkisar antara 12-13 ppm, dan umur panen 240 hari berkisar antara 17-18 ppm.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sensor etilen Winsen ZE11-C2H4 berbasis mikrokontroler Arduino Uno berhasil mendeteksi konsentrasi etilen pada alpukat Tongar secara real-time, ditampilkan dalam satuan detik menggunakan aplikasi PLX-DAQ pada Microsoft Excel. Hasil pembacaan menunjukkan bahwa konsentrasi etilen pada umur panen 150 hari berkisar antara 5-6 ppm, umur panen 180 hari berkisar antara 7-8 ppm, umur panen 210 hari berkisar antara 12-13 ppm, dan umur panen 240 hari berkisar antara 17-18 ppm. Konsistensi data yang stabil dengan nilai standar deviasi yang mendekati nol menunjukkan efektivitas sensor Winsen dalam mendeteksi etilen pada alpukat Tongar. Dengan demikian, alat yang dirancang ini terbukti efektif dan berhasil dalam mendeteksi dan mengukur etilen pada alpukat Tongar.

DAFTAR PUSTAKA

- Arti, I. M., & Manurung, A. N. H. (2013). *Pengaruh Etilen Apel dan Daun Mangga Pada Pematangan Buah Pisang Kepok (Musa paradisiaca formatypica)*. 18(5), 458–465.
- Azrita, M. W., Ahmad, U., & Darmawati, E. (2020). Rancangan Kemasan dengan Indikator Warna untuk Deteksi Tingkat Kematangan Buah Alpukat. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 7(2), 155–162. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.2.155-162>

- Firdaus, A., Midyanti, D. M., & Nirmala, I. (2023). Implementasi Logika Fuzzy Dalam Menentukan Lama Waktu Penyimpanan Pisang Cavendish Berdasarkan Suhu dan Kadar Gas Etilen Berbasis Arduino Uno. *Coding Jurnal Komputer dan Aplikasi*, 11(2), 280. <https://doi.org/10.26418/coding.v11i2.64645>
- Hidayat, N., Hidayat, S., Pramono, N. A., & Nadirah, U. (2020). Sistem Deteksi Kebocoran Gas Sederhana Berbasis Arduino Uno. *Rekayasa*, 13(2), 181–186. <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i2.6737>
- Hidayat, R. N., Sabri, L. M., & Awaluddin, M. (2019). Analisis Desain Jaring GnsS Berdasarkan Fungsi Presisi (Studi Kasus : Titik Geoid Geometri Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 48–55.
- Kusnandar, F., Rahayu, W. P., Marapaung, A. M., & Santoso, U. (2021). *Perspektif Global Ilmu dan Teknologi Pangan Jilid 1 (Perhimpunan Ahli Teknologi Pangan Indonesia)*.
- Mubarok, S., Al Adawiyah, A. R., Rosmala, A., Rufaidah, F., Nuraini, A., & Suminar, E. (2020). Hormon Etilen dan Auksin serta Kaitannya dalam Pembentukan Tomat Tahan Simpan dan Tanpa Biji. *Kultivasi*, 19(3), 1217–1222. <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i3.29408>
- Nurjanah, S. (2002). Study on respiration rate and ethylene production of fruit and vegetables to predict their storage time. *Bionatura*, 4(3), 148–156. <https://www.neliti.com/publications/218031/kajian-laju-respirasi-dan-produksi-etilen-sebagai-dasar-penentuan-waktu-simpan-s>
- Pech, J., Purgatto, E., Bouzayen, M., & Latché, A. (2018). Ethylene and Fruit Ripening. *Annual Plant Reviews online*, 44, 275–304. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0483>
- Sampebatu, L., Patabang, S., & Leda, J. (2022). Pengujian Sensitivitas Dan Akurasi Sensor Arus Hall Effect Menggunakan Arduino-Uno. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, 2(2), 276–285. <https://doi.org/10.46306/tgc.v2i2.47>
- Taufiq, A. J., Kurniawan, I. H., & Nugraha, T. A. Y. (2020). Analysis of Arduino Uno Application on Control System Based on Industrial Scale. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 771(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/771/1/012015>
- Widyatmika, I. P. A. W., Indrawati, N. P. A. W., Prastya, I. W. W. A., Darminta, I. K., Sangka, I. G. N., & Sapteka, A. A. N. G. (2021). Perbandingan Kinerja Arduino Uno dan ESP32 Terhadap Pengukuran Arus dan Tegangan. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 13(1), 35–47. <https://doi.org/10.5614/joki.2021.13.1.4>
- Winny Kurniawan, T., & Deglas, W. (2022). Pengaruh Etilen Pada Buah Pepaya Terhadap Pematangan Buah Pisang Kepok (*Musa paradisiaca* L.). *Agrofood*, 4(1), 10–16.