

# Robot Kartesian Dua Dimensi untuk Penerapan Pestisida Nabati pada Budidaya Sayuran Hidroponik Vertikultur

## *Two-dimensional Cartesian Robot for Application of Botanical Pesticides in Verticulture Hydroponic Vegetable Cultivation*

I Dewa Made Subrata\*

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor 16002, Indonesia  
\*E-mail: dewamadesubrata.ipb@gmail.com

Diterima: 18 Juni 2025; Disetujui: 19 Agustus 2025

---

### ABSTRAK

Budidaya sayuran secara hidroponik memiliki kemungkinan yang sama untuk terserang Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) sehingga perlu penerapan pestisida. Pestisida kimia yang diterapkan selama ini cenderung mencemari lingkungan maupun mengganggu kesehatan operator penyemprot oleh karena itu perlu diterapkan pestisida yang lebih ramah lingkungan dengan cara yang lebih aman. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan manipulator robot tipe kartesian dua dimensi sebagai penyemprot pestisida nabati pada budidaya sayuran hidroponik vertikultur. Manipulator memiliki dua mekanisme geser yang satu bergerak pada rel *horizontal* dan yang lain bergerak pada rel *vertical*. Rel *vertical* dipasang pada mekanisme geser *horizontal*. Dua batang nosel yang masing masing berisi tiga kepala nosel dipasang pada rel *vertical* manipulator sehingga batang nosel bisa digerakkan dalam arah *horizontal*. Batang nosel diposisikan di atas tanaman sayuran dengan kepala nosel menghadap ke bawah untuk menyemprotkan cairan pestisida nabati ke arah sayuran tiga kali seminggu. Konsentrat pestisida nabati yang digunakan terbuat dari bahan bawang putih, bawang merah, kunyit dan air abu gosok. Hasil pengujian menunjukkan bahwa robot mampu menggerakkan nosel sepanjang pipa hidroponik dengan ketelitian 2,1 mm. Nosel mampu menyemprotkan pestisida nabati dengan rata-rata debit 7,8 ml/detik dan dengan keseragaman 91 % pada nilai siklus kerja PWM pengendali pompa 98,04 %. Lama penyemprotan untuk luasan 3,73 m<sup>2</sup> adalah 16,02 detik. Kapasitas lapang efektif robot adalah 0.072 ha/jam. Penerapan robot penyemprot pestisida nabati otomatis ini mampu mengurangi kerusakan tanaman sayuran akibat serangan OPT.

**Kata kunci:** hidroponik vertikultur; penyemprot otomatis; pestisida nabati; robot tipe kartesian; tanaman sayuran

---

### ABSTRACT

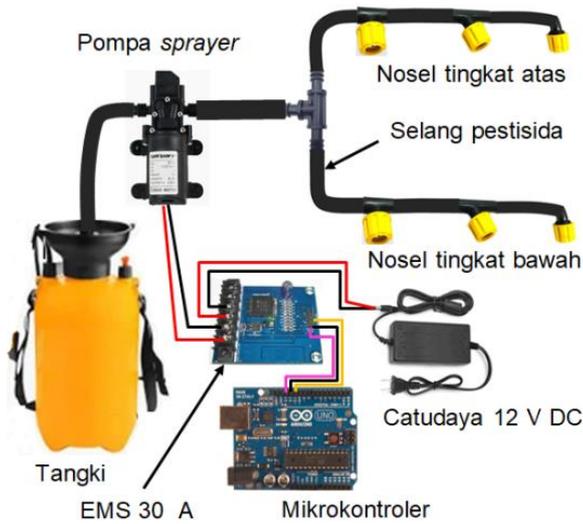
*Hydroponic vegetable cultivation has the same vulnerability to pest infestations (OPT), and the chemical pesticides that have been applied so far tend to pollute the environment and disrupt the operators health. Therefore it is necessary to apply more environmentally friendly pesticides in a safer way. The aim of this study was to apply a two-dimensional Cartesian type robot manipulator as a botanical pesticide sprayer in vertical hydroponic vegetable cultivation. The manipulator has two sliding mechanisms, one moving on a horizontal rail and the other moving on a vertical rail. Two nozzle rods, each containing three nozzle heads, are mounted on the vertical rail of the manipulator so that they can be moved in the horizontal direction. The nozzle rods is positioned above the vegetable plants with the nozzle head facing down to spray the botanical pesticide liquid three times a week. The concentrated botanical pesticide was made from garlic, shallots, turmeric and ash water. The test results showed that the robot was able to move the nozzle along the hydroponic pipe with a positioning accuracy of 2.1 mm. The nozzle was able to spray botanical pesticide with an average discharge of 7.8 ml/s and with 91% uniformity at a pump controller PWM duty cycle value of 98.04 %. The spraying time for an area of 3.73 m<sup>2</sup> is 16.02 s. The effective field capacity of the robot is 0.072 ha/hour. The application of this automatic botanical pesticide spraying robot can reduce damage to vegetable plants due to pest infestations.*

**Keywords:** automatic sprayer; botanical pesticide; cartesian robot; vegetable plants; verticulture hydroponics

### PENDAHULUAN

Sistem budidaya sayuran yang dilakukan secara hidroponik pada beberapa tahun terakhir cukup berkembang karena tidak membutuhkan lahan yang luas sehingga lebih efisien. Hidroponik bisa dilakukan di pekarangan, di atas rumah tinggal maupun di atas bangunan perkantoran (Albert & Ismadi, 2023). Analisis ekonomi sistem budidaya sayuran hidroponik sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. (Sukendar & Dewi, 2023) melakukan pada PT. Cifa Indonesia mendapatkan bahwa sistem budidaya sayuran hidroponik NFT cukup menguntungkan. (Kamaruddin et al., 2020) melakukan analisis usaha tani hidroponik selada

merah di lokasi Delta Farm Kota Makassar yang memproduksi 316 kg per musim tanam mampu menghasilkan keuntungan sekitar Rp 20 juta. (Anika & Putra, 2020) melakukan analisis usaha tani hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) diperoleh nilai *Benefit-Cost (B/C) ratio* 1,5 untuk pakcoy, 1,1 untuk caisim, dan 1,4 untuk kangkung. Hasil analisis ekonomi tersebut menginformasikan bahwa budidaya sayuran secara hidroponik cukup menjanjikan sehingga layak untuk dikembangkan. Permasalahan dalam usaha di bidang pertanian adalah perlunya skala usaha yang memadai. Peningkatan skala usaha atau jumlah tanaman pada budidaya hidroponik bisa dilakukan dengan sistem vertikultur (Yeremia & Carina, 2021; Sukmawati, 2024).



Gambar 1. Rangkaian dari sprayer elektrik

Walaupun sistem budidaya dilakukan secara hidroponik namun pemeliharaan tanaman khususnya pemberantasan Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) masih tetap perlu dilakukan. Budidaya sistem hidroponik belum sepenuhnya terhindar dari serangan OPT (Senen et al., 2022; Kusuma et al., 2024). Organisme pengganggu tanaman bisa menyerang tanaman baik pada sistem hidroponik lahan terbuka maupun di dalam *greenhouse*. (Thao et al., 2022) menyatakan bahwa kondisi lingkungan yang stabil, makanan yang memadai dan tiadanya musuh alami di dalam *greenhouse* mendukung bertambah cepatnya perkembangan OPT. Keberadaan OPT di dalam *greenhouse* menggugah beberapa peneliti untuk mengembangkan perangkat pendeteksi. (Zhang et al., 2023) mengembangkan perangkat pendeteksi OPT berbasis *deep learning* yolo v5 dan *machine vision*. (Kapetas et al., 2025) mengembangkan sistem deteksi menggunakan kamera dan hasil tangkapan citra diolah menggunakan model *deep learning* yolo v10. OPT yang ukurannya kecil menyulitkan pendeteksian secara langsung menggunakan kamera oleh karena itu digunakan bantuan kertas yang diberi perekat. OPT yang menempel pada kertas kemudian diambil citranya. (Yang et al., 2021) mengembangkan sistem deteksi berdasarkan warna dan menemukan ada sebanyak enam jenis OPT di dalam *greenhouse*. OPT selama ini diberantas menggunakan pestisida kimia. Permasalahan dari penggunaan pestisida kimia selain memiliki manfaat juga memiliki dampak negatif. Beberapa dampak negatif diantaranya keracunan operator akibat menghirup butiran halus pestisida pada saat penyemprotan. Dampak terhadap lingkungan seperti menaikkan PH dan menurunkan kesuburan tanah (Sinambela, 2024; Benu et al., 2020).

Untuk mengurangi dampak negatif terhadap operator penyemprot maka pestisida kimia perlu diterapkan secara otomatis. (Madhu et al., 2023) mengembangkan robot penyemprot pestisida kimia secara merata untuk tanaman di dalam *greenhouse*. (AbhinandBinu et al., 2024) mengembangkan robot pengendali OPT hidroponik di dalam *greenhouse* yang dilengkapi kamera untuk merekam citra tanaman. Citra tanaman diolah menggunakan algoritma *computer vision* untuk mendeteksi OPT kemudian menyemprotkan pestisida kimia hanya pada tanaman yang terserang. Penyemprotan pestisida kimia secara otomatis tersebut masih menyisakan permasalahan karena masih meninggalkan residu pada tanaman yang terkena semprotan sehingga masih membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi sayuran tersebut. Pengaruh negatif pestisida kimia bisa diatasi dengan memilih pestisida yang lebih ramah

lingkungan salah satunya pestisida nabati (Tasniah et al., 2022; Fitriyah et al., 2023; Daryanti et al., 2024). Kebaruan dari penelitian ini adalah berupa solusi untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan akibat penggunaan pestisida kimia dengan menerapkan otomatisasi penyemprotan pestisida nabati yang ramah lingkungan pada sayuran hidroponik.

Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya yaitu menerapkan robot tipe kartesian dua dimensi untuk penyemprotan pestisida nabati secara otomatis pada budidaya sayuran hidroponik vertikultur.

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini meliputi bahan untuk pembuatan robot tipe kartesian yaitu: aluminium *profile* V-slot 20 mm x 40 mm, *gantry plate set Mini* 65 mm x 65 mm, *timing belt* GT2 lebar 6 mm, *timing Belt Straighen Tensioner*, *timing pulley* dengan 25 gigi dan *pitch* 2 mm, rantai plastik ukuran 20 mm x 20 mm sebagai pemegang kabel dan selang penyalur pestisida nabati. Bahan untuk sistem *sprayer* meliputi: selang PE diameter luar 12 mm diameter dalam 8 mm sebagai penyalur pestisida, klem selang, pipa aluminium diameter 8 mm sebagai batang nosel, pompa *mollar type electric sprayer* 25 W tekanan 6.8 bar, nosel tipe kerucut, adaptor 12 V, tangki larutan pestisida nabati 3 liter. Bahan untuk sistem pengendali meliputi: mikrokontroler Arduino Uno, motor *stepper* tipe Nema 17HS4401, *driver* motor *stepper* tipe A4988, modul *H-bridge* tipe EMS 30 A, *real time clock* (RTC) tipe DS3231, *limit switch*, rangkaian terpadu (IC) gerbang logika NOR tipe 74LS02, rangkaian terpadu (IC) gerbang logika OR tipe 74LS32. Bahan untuk sistem hidroponik meliputi: pipa paralon diameter 2,5 inci untuk dudukan netpot sayuran, pipa paralon diameter 0,5 inci untuk mengalirkan nutrisi, stop kran 0,5 inch, pompa air *submersible* daya 60 W debit 3500 liter/ jam *Head max* 3,2 m, besi siku berlubang ukuran 30 mm x 30 mm sebagai dudukan pipa dan dudukan robot, pompa *aerator* AZ-999 daya 2,5 W debit 3 liter/jam, bibit sayuran antara lain: pakcoy, sawi hijau, selada, kailan.

Alat yang dipergunakan terdiri dari multimeter merek visero tipe A830L, *notebook* ASUS tipe X200CA untuk mengembangkan kode program pengendalian, Gelas ukur dengan skala 10 ml untuk mengukur volume keluaran nosel, *hand drill* merek Casal tipe ID811MT daya 400 W, meteran roll, gergaji besi.

### Prosedur Penelitian

#### Sprayer Elektrik

Sprayer elektrik yang digunakan terdiri dari pompa DC 12 V dengan daya 25 W dan tekanan 6,8 bar seperti pada Gambar 1.

Pompa dihubungkan dengan enam buah nosel tipe kerucut menggunakan selang PE berdiameter dalam 8 mm. Tiga nosel untuk hidroponik tingkat atas dan tiga lainnya untuk hidroponik tingkat bawah. Debit aliran larutan pestisida nabati diatur menggunakan modul *H-bridge* EMS 30 A dan mikrokontroler arduino uno. Larutan pestisida nabati dimasukkan ke dalam tangki berkapasitas 3 liter yang umum dijual dipasaran.

#### Pestisida Nabati

Pestisida nabati yang dipergunakan dalam penelitian ini dibuat dari bahan bawang putih, bawang merah, kunyit masing masing sebanyak 22,5 gram. Ketiga bahan tersebut dihancurkan menggunakan *blender* kemudian difermentasi

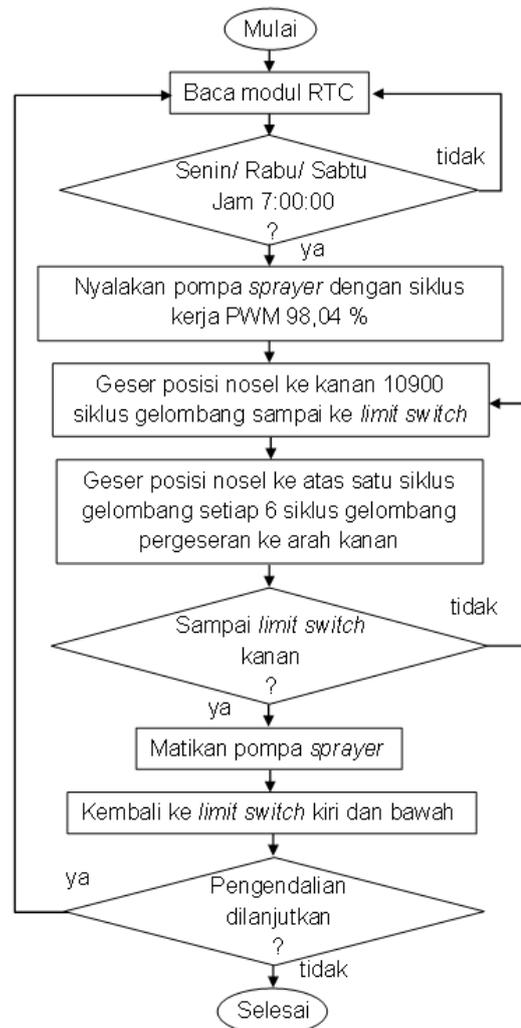
selama semalam (24 jam). Hasil fermentasi kemudian dicampur dengan 750 ml air abu dan disaring. Air saringan yang dihasilkan, disebut sebagai konsentrat pestisida nabati. Air abu diperoleh dengan mencampurkan 0,5 kg abu gosok dengan 2 liter air kemudian di aerasi selama 24 jam. Larutan abu yang sudah di aerasi kemudian disaring. Jika air saringan yang diperoleh tidak sampai 750 ml maka ditambahkan air sehingga menjadi 750 ml. Pada saat diaplikasikan, 24 ml konsentrat pestisida nabati dicampur dengan 1 liter air kemudian disemprotkan ke tanaman sayuran.

### Manipulator Robot Tipe Kartesian

Manipulator robot tipe kartesian yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua sumbu kartesian yaitu sumbu atau rel *horizontal* dan sumbu atau rel *vertical*. Sumbu *horizontal* dipergunakan untuk menggerakkan rel *vertical* sejajar dengan sumbu pipa budidaya hidroponik. Rel *vertical* dipergunakan untuk memasang 3 buah nosel pada setiap tingkat sistem hidroponik vertikultur. Kedua rel *manipulator* kartesian dibuat dari bahan aluminium tipe V-slot dengan dimensi penampang 20 mm × 40 mm. Pergerakan nosel ke arah *vertical* maupun arah *horizontal* dilakukan menggunakan mekanisme *timing pulley* dan *timing belt* dengan tenaga penggerak motor *stepper* Nema 17HS4401. Untuk mencegah pergerakan nosel melampaui batas yang diijinkan maka dipasang *limit switch* pada empat posisi batas lintasan. Rel manipulator sumbu *horizontal* dipasang dengan kemiringan yang sama dengan pipa aliran nutrisi tingkat atas sehingga nosel bisa dipasang tetap pada ketinggian tertentu. Pipa aliran nutrisi tingkat bawah memiliki arah kemiringan yang berlawanan dengan pipa tingkat atas sehingga ketinggian nosel perlu diatur secara otomatis.

### Algoritma Pengendalian Robot

Pengendalian robot penyemprot dimulai dengan mengecek apakah waktu pengaplikasian pestisida nabati sudah tiba atau belum dengan membaca hari dan jam dari modul RTC tipe DS3231 (Gambar 2). Jika harinya menunjukkan Senin, Rabu, atau Sabtu dan waktu menunjukkan jam 7 pagi maka mikrokontroler arduino mengirimkan nilai siklus kerja PWM 98,04 % ke modul *H-bridge* EMS 30 A untuk menyemprotkan pestisida nabati dengan debit rata-rata 7,8 ml/detik. Mikrokontroler Arduino juga menggerakkan nosel yang terpasang pada rel *vertical* robot dari posisi *limit switch* ujung kiri sampai ke posisi *limit switch* ujung kanan. Nosel pada hidroponik tingkat bawah digerakkan dari posisi *limit switch* bawah ke posisi *limit switch* atas secara linier selama bergerak dari ujung kiri ke ujung kanan. Perputaran poros motor *stepper* dilakukan dengan mengirimkan nilai biner 1 dan 0 secara bergantian dari mikrokontroler Arduino ke pin pengendali STEP modul A4988. Lama bernilai biner 1 dan 0 masing masing adalah 0,7 milidetik sehingga periode gelombang persegi yang dihasilkan adalah 1,4 milidetik untuk menggerakkan rel *horizontal* maupun rel *vertical*. Jumlah siklus gelombang persegi (STEP) yang diperlukan untuk menggerakkan nosel dari posisi *limit switch* kiri ke posisi *limit switch* kanan adalah 10900. Jumlah siklus gelombang persegi yang diperlukan untuk menggerakkan nosel dari posisi *limit switch* bawah ke *limit switch* atas adalah 635. Setelah mencapai posisi ujung kanan maka daya pompa *sprayer* dimatikan dengan mengirimkan nilai biner 1 ke pin motor *input* 1 dan pin motor *input* 2 modul *H-bridge* EMS 30 A. Nosel selanjutnya digerakkan ke posisi *limit switch* kiri dan posisi *limit switch* bawah yang dipergunakan sebagai posisi awal penyemprotan berikutnya.



Gambar 2. Algoritma pengendalian robot penyemprot pestisida nabati

### Pengambilan Data Pengujian

Data pengujian diperlukan untuk mengetahui unjuk kerja dari robot penyemprot pestisida nabati. Data percobaan yang diambil terdiri dari: 1) Data ketelitian pergerakan mekanisme geser robot dalam arah *horizontal* maupun arah *vertical*, 2) Data kecepatan gerak mekanisme geser robot, 3) Debit larutan yang keluar dari nosel pada nilai siklus kerja PWM 39,22 %, 58,82 %, 78,43 %, 98,04 %, 4) Lebar semprotan nosel, 5) Kondisi tanaman sayuran yang disemprot pestisida nabati, 6) Kesesuaian waktu pengaktifan robot penyemprot dengan waktu acuan, 7) Kapasitas lapang efektif (KLE). Jarak pergerakan mekanisme geser robot dalam arah *horizontal* diukur untuk nilai siklus gelombang pengendali putaran poros motor *stepper* sebanyak 2000 siklus, 4000 siklus, 8000 siklus. Jarak pergerakan mekanisme penggeser nosel arah *vertical* diukur untuk nilai putaran poros motor *stepper* sebesar 200 siklus, 400 siklus, dan 800 siklus gelombang masing masing dengan lima kali ulangan. Periode gelombang persegi yang dicobakan pada pergerakan arah *horizontal* adalah 1 milidetik, 2 milidetik dan 4 milidetik sedangkan untuk pergerakan arah *vertical* hanya 4 milidetik. Volume larutan pestisida nabati yang disemprotkan dalam setiap siklus penerapan diukur sebanyak 5 kali ulangan. Pada setiap akhir proses penyemprotan, nosel selalu digerakkan ke posisi *limit switch* kiri dan bawah yang selanjutnya digunakan sebagai posisi awal penyemprotan berikutnya.



Gambar 3. Pemasangan manipulator robot pada rangka budidaya hidroponik: (1) Batang nosel atas dan bawah, (2) Rel *horizontal* dan *vertical*, (3) Motor *stepper* atas dan bawah, (4) Pompa *sprayer*, (5) Rantai pemegang pipa penyalur pestisida, (6) Kotak rangkaian pengendali, (7) Pipa hidroponik, (8) Pengencang *timing belt*

Dalam penelitian ini pengujian unjuk kerja robot dalam pengendalian OPT sayuran hidroponik tidak menggunakan rancangan percobaan. Sayuran yang digunakan terdiri dari 10 pohon selada, 12 pohon kailan, 14 pohon pakcoy, dan 60 pohon sawi hijau sehingga jumlah tanaman sayuran yang disemprot pestisida nabati adalah 96 pohon. Semua sayuran tersebut disemprot dengan dosis yang sama yaitu 24 ml konsentrasi/liter air. Jumlah tanaman yang tidak disemprot sebagai tanaman kontrol adalah 2 pohon yang terdiri dari satu pohon sawi hijau dan satu pohon pakcoy diletakkan terpisah sejauh 3 m dari tanaman yang disemprot. Keberadaan OPT pada sayuran yang disemprot diamati setiap minggu sampai minggu ke-4 sedangkan sayuran kontrol diamati setiap 2 hari dan dicatat dalam kelompok minggu ke-1 sampai minggu ke-4.

**Pengolahan Data**

Data hasil pengujian selanjutnya diolah untuk mendapatkan informasi unjuk kerja dari robot penyemprot pestisida nabati. Parameter yang dihitung diantaranya: 1) Kalibrasi pergerakan nosel berdasarkan jumlah siklus gelombang persegi pengendali motor stepper. Data jumlah siklus gelombang dan jarak tempuh diplot pada grafik untuk mendapatkan persamaan kalibrasi. 2) Data pengukuran debit keluaran nosel pada beberapa siklus kerja PWM pengendali pompa sprayer diplot untuk mendapatkan persamaan hubungan antara siklus kerja PWM dengan debit keluaran nosel. Persentase keseragaman volumetrik nosel dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2 kemudian diplot dalam grafik untuk melihat pola keseragaman volumetrik nosel terhadap siklus kerja PWM pengendali pompa sprayer. 3) Ketepatan waktu aktivasi manipulator robot dan penyalaan pompa sprayer diamati sebanyak lima kali ulangan. Data disajikan dalam bentuk tabel untuk mengetahui nilai delay yang terjadi. 4) Kapasitas lapang efektif robot penyemprot pestisida nabati dihitung dengan persamaan 3 untuk mengetahui kapasitas robot dalam menyemprotkan pestisida nabati. 5) Intensitas serangan OPT terhadap sayuran yang disemprot pestisida nabati dan sayuran yang tidak disemprot pestisida dihitung menggunakan persamaan 4.

$$stdev = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{1}$$

$$CU = 100\% \left(1 - \frac{stdev}{\bar{x}}\right) \tag{2}$$

$$KLE = 0.36 \times \frac{A}{t} \tag{3}$$

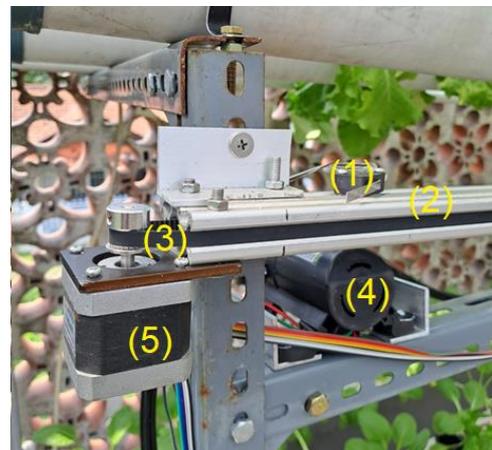
$$IS = \frac{\sum n_t \times V_t}{N \times Z} \times 100 \% \tag{4}$$

- Dimana: stdev = Simpangan baku
- CU = Koefisien keseragaman
- $\bar{x}$  = Rata-rata nilai pengamatan
- n = Jumlah pengamatan
- $x_i$  = Pengamatan ke-i
- KLE = Kapasitas lapang efektif (ha/jam)
- A = Luas tanaman hidroponik (ha)
- t = Lama penyemprotan (jam)
- IS = Intensitas serangan (%)
- $n_t$  = Jumlah tanaman yang rusak
- $V_t$  = Nilai skala kerusakan
- N = Jumlah tanaman yang diamati
- Z = Nilai skala kerusakan tertinggi

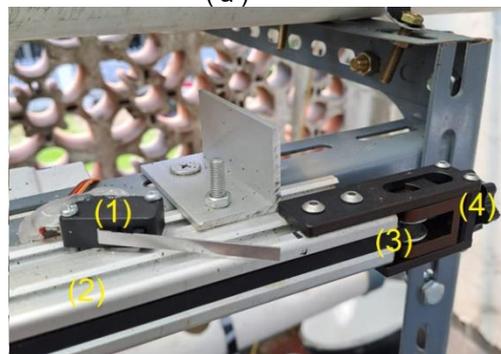
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Manipulator Robot**

Manipulator robot penyemprot pestisida nabati tipe kartesian untuk budidaya sayuran hidroponik vertikutur telah berhasil dibuat (Gambar 3 dan 4).

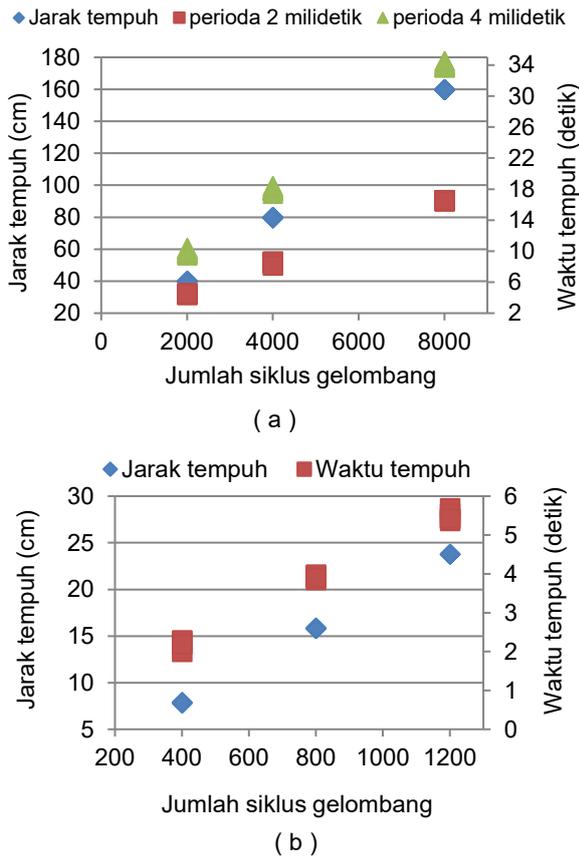


(a)



(b)

Gambar 4. Komponen pada rel *horizontal* manipulator robot: (a) Sisi kiri: (1) *Limit switch*, (2) Rel, (3) *Timing belt*, (4) Pompa *sprayer*, (5) Motor *stepper*; (b) Sisi kanan: (4) Pengencang *timing belt*



Gambar 5. Hasil pengujian pergerakan manipulator robot penyemprot pestisida: (a) Pergerakan dalam arah *horizontal*, (b) Pergerakan dalam arah *vertical*

*Limit switch* kiri berfungsi untuk menyetop pergerakan motor secara otomatis dan juga sekaligus berfungsi sebagai sensor posisi awal penyemprotan pestisida nabati. Pengujian gerakan manipulator robot dalam arah *horizontal* dilakukan menggunakan motor *stepper*. Gelombang persegi dengan periode 1 milidetik, 2 milidetik dan 4 milidetik dipergunakan untuk mengendalikan motor *stepper*. Hasil pengujian menunjukkan gelombang dengan periode 1 milidetik tidak mampu menggerakkan motor *stepper*. Hasil pengujian tersebut didukung oleh hasil penelitian (Rahmat & Wiyono, 2022) yang menyatakan bahwa motor *stepper* dapat berputar dengan normal mulai periode gelombang 2 milidetik. Torsi yang dihasilkan motor pada periode gelombang kurang dari 2 milidetik tidak mampu memutar poros motor. Dengan demikian, pengujian berikutnya dilakukan untuk periode 2 milidetik dan 4 milidetik. Pergerakan pada arah *vertical* hanya diuji menggunakan periode gelombang 4 milidetik. Grafik hasil pengujian disajikan pada Gambar 5.

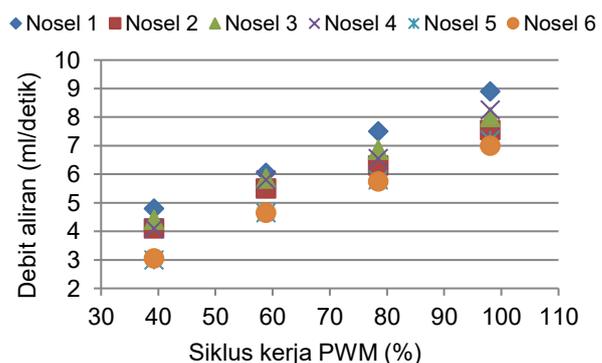
Dari grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa waktu tempuh untuk periode gelombang 4 milidetik sekitar dua kali waktu tempuh untuk periode gelombang 2 milidetik. Hal tersebut disebabkan sudut putar untuk setiap periode gelombang adalah sama karena sama sama menggunakan mode step penuh. Standar deviasi yang dipergunakan sebagai acuan penentuan ketelitian jarak tempuh mekanisme geser *horizontal* adalah 2,1 mm untuk periode gelombang 2 milidetik dan 0,7 mm untuk periode gelombang 4 milidetik. Ketelitian pemosisian nosel dari manipulator robot ini lebih tinggi dibandingkan ketelitian navigasi robot autonomous pada lahan terbuka yang dibuat oleh (Raja et al., 2022) yaitu 87 %, dan tidak berbeda jauh dengan error robot stasioner

pengelas yang diteliti oleh (Erceg et al., 2023) yaitu sebesar 3 mm. Ketelitian tersebut lebih rendah dari penelitian (Galicia et al., 2024) untuk robot tipe kartesian pembenihan sayur bayam yaitu 1 mm. Ketelitian pergerakan motor *stepper* dipengaruhi oleh mode step yang dipergunakan. Motor *stepper* yang dioperasikan dengan mode mikro step memberikan ketelitian lebih tinggi dibandingkan mode step penuh namun kecepatan gerak menjadi lebih lambat. Ketelitian pergerakan nosel arah horizontal sebesar 2,1 mm untuk kegiatan penyemprotan pestisida nabati masih bisa dikatakan cukup teliti sehingga pengendalian gerakan nosel pada penelitian selanjutnya dilakukan menggunakan periode gelombang mendekati 2 milidetik.

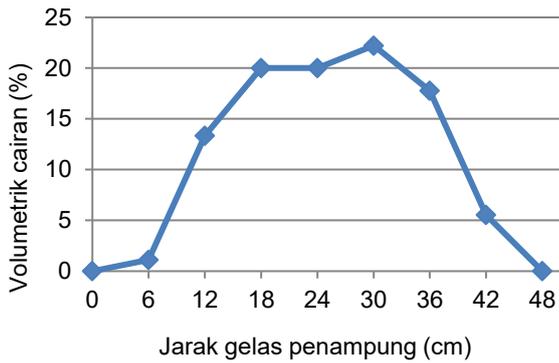
### Nosel

Nosel dipasang pada rel *vertical* manipulator robot yang dihubungkan menggunakan selang PE berdiameter dalam 8 mm ke pompa *sprayer* dan tangki pestisida nabati. Enam buah nosel tipe kerucut disusun dalam dua tingkat sesuai dengan sistem budidaya hidroponik vertikultur. Setiap tingkat dipasang tiga nosel dengan posisi di atas setiap pipa budidaya. Cairan pestisida nabati dialirkan ke nosel menggunakan pompa *sprayer* merek Mollar 25 W tekanan 6,8 bar. Pompa diaktifkan menggunakan *driver* jenis EMS 30 A dengan empat siklus kerja gelombang PWM yaitu 39,22 %, 58,82 %, 78,43 %, dan 98,04 %. Hasil pengukuran debit nosel untuk empat perlakuan gelombang PWM tersebut disajikan pada Gambar 6.

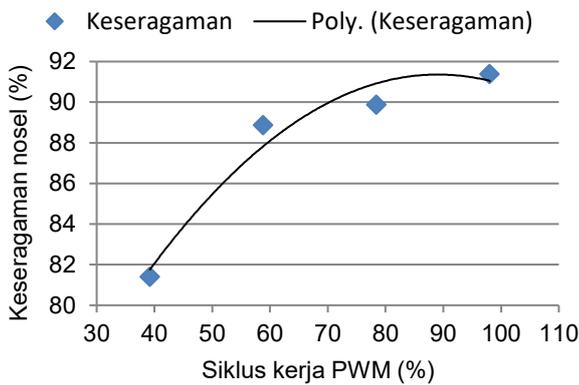
Dari grafik pada Gambar 6 terlihat bahwa peningkatan nilai siklus kerja PWM berbanding lurus dengan debit semprotan pestisida. Debit minimum sebesar 3 ml/detik dihasilkan oleh nosel 6 pada saat pompa *sprayer* dinyalakan menggunakan siklus kerja PWM 39,22 %. Debit tertinggi sebesar 9 ml/detik dihasilkan oleh nosel 1 pada saat pompa *sprayer* dinyalakan menggunakan siklus kerja PWM 98,04 %. Rataan debit pada siklus kerja PWM 98,04 % adalah 7,8 ml/detik. Debit nosel *sprayer* tersebut jauh lebih rendah dari penelitian (Meshram et al., 2024) yaitu 25 ml/detik pada tekanan nosel 7 bar. Perbedaan debit tersebut disebabkan pada penelitian ini tekanan pompa 6,8 bar dipergunakan untuk mengalirkan larutan pestisida ke enam buah nosel sehingga debit setiap nosel menjadi kecil. Debit nosel pada penelitian ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian (Marno et al., 2020) yang melakukan modifikasi mesin penyemprot padi dengan menambahkan pompa listrik sehingga debit keluaran untuk nosel 1 lubang berkisar 2,6 sampai 4,2 ml/detik pada tekanan 1 sampai 1,9 bar. (Marno et al., 2020) juga melakukan pengukuran pada *sprayer* manual dan menghasilkan nilai pengukuran tekanan 1,2 bar, debit 17,4 ml/detik untuk nosel standar 3 lubang. Pada saat dua lubang ditutup sehingga cairan hanya keluar pada satu lubang maka debit keluaran hanya 3,4 ml/ detik.



Gambar 6. Grafik debit nosel pada perlakuan siklus kerja gelombang PWM



Gambar 7. Lebar semprotan nosel dengan ketinggian 20 cm



Gambar 8. Keseragaman debit nosel pada beberapa nilai siklus kerja gelombang PWM

Lebar semprotan nosel diukur dengan menampung keluaran air dari nosel yang dipasang pada ketinggian 20 cm di atas media bergelombang menggunakan 9 buah gelas plastik. Hasil pengukuran diplot dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 7. Keseragaman debit penyemprotan dari 6 nosel yang digunakan disajikan pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 terlihat bahwa keseragaman paling rendah diperoleh pada nilai siklus kerja PWM 39,22 % yaitu 88 %. Keseragaman paling tinggi pada nilai siklus kerja PWM 98,04 % yaitu sebesar 91 % oleh karena itu pada penelitian selanjutnya pompa *sprayer* diaktifkan menggunakan nilai siklus kerja PWM 98,04 %. Tingkat keseragaman semprotan nosel ini tidak berbeda jauh dengan hasil penelitian (Shirwal et al., 2020) dengan rentang 81,4 % (koefisien variasi 18,6 %) sampai 93,9 % (koefisien variasi 6,1 %) pada tekanan 6,2 bar. Tingkat keseragaman sedikit lebih rendah dibandingkan dengan penelitian (Sugito et al., 2024) yaitu 97,17 % untuk nosel dengan diameter lubang 0,1 mm. Dosis pestisida nabati yang diterapkan pada penelitian ini adalah 24 ml/liter air sama untuk semua umur tanaman sayuran dengan penerapan tiga kali dalam satu minggu. Dosis penerapan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan penelitian (Daryanti et al., 2024) yang menggunakan perbandingan 1:1 namun diaplikasikan satu minggu sekali.

**Pengujian Kinerja Manipulator Robot Penyemprot**

Manipulator robot penyemprot pestisida nabati ini dikendalikan secara otomatis untuk menyemprot tanaman sayuran dengan frekuensi tiga kali seminggu, yaitu hari Senin, Rabu, dan Sabtu pada jam 7 pagi. Pergerakan nosel dimulai dari posisi *limit switch* awal sampai ke *limit switch* akhir dengan panjang lintasan *horizontal* 2,22 m. Motor *stepper* yang diaktifkan menggunakan gelombang persegi dengan periode 1,4 milidetik menghasilkan waktu tempuh

rata-rata yang diukur menggunakan *stopwatch* adalah 16,02 detik untuk penyemprotan pestisida nabati. Robot membutuhkan waktu 16,06 detik untuk kembali ke posisi awal tanpa penyemprotan (Tabel 1). Kecepatan maju tersebut lebih rendah dibandingkan penelitian (Mustafid et al., 2022) yaitu 22,6 cm/detik dan penelitian (Meshram et al., 2024) pada ladang budidaya kapas yaitu 25 cm/detik. Kecepatan maju tersebut dipengaruhi oleh torsi dan kecepatan putar motor yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan motor dengan torsi 0,4 Nm dan kecepatan putar 214 RPM sedangkan pada penelitian Mustafid et al., (2022) digunakan motor penggerak dengan torsi 0,8 Nm dan kecepatan putar 306 RPM.

Volume larutan pestisida nabati yang disemprotkan dalam satu kali penerapan adalah 874,3 ml (Tabel 2) untuk 96 pohon tanaman sayuran. Dengan demikian maka setiap tanaman terkena larutan pestisida nabati sebanyak 9,1 ml atau konsentrasi pestisida nabati sebanyak 0,21 ml.

Lebar area budidaya hidroponik setiap tingkat yang disemprot pestisida adalah 84 cm sehingga total lebar untuk dua tingkat adalah 168 cm. Panjang pipa budidaya hidroponik adalah 222 cm sehingga luas area yang disemprot adalah 3,73 m<sup>2</sup>. Karena lama penyemprotan aktual adalah 16,02 detik, maka kapasitas lapang efektif (KLE) dari robot penyemprot pestisida nabati adalah 0,23 m<sup>2</sup>/detik atau setara 0,083 ha/jam. Kapasitas lapang tersebut tidak berbeda jauh dengan robot penyemprot kubis pada lahan terbuka yang dikembangkan oleh (Mustafid et al., 2022) yaitu 0,07 ha/jam dengan lebar kerja alat 1 m. KLE pada penelitian ini jauh lebih rendah dari KLE mesin penyemprot pada lahan terbuka yang dikembangkan oleh (Annafiyah et al., 2021) yaitu 0,73 ha/jam dengan panjang batang penyemprot 6 m. Perbedaan nilai kapasitas lapang efektif tersebut selain dipengaruhi oleh kecepatan maju juga dipengaruhi oleh lebar kerja alat penyemprot yaitu 1,68 m pada penelitian ini, 1 m pada penelitian (Mustafid et al., 2022), dan 6 m pada penelitian (Annafiyah et al., 2021). Makin lebar kerja alat semprot makin besar kemungkinan kapasitas lapang efektifnya.

Hasil pengujian terhadap ketepatan waktu pengaktifan motor penggerak nosel dilakukan sebanyak 5 kali ulangan (Tabel 3) sebelum diterapkan untuk penyemprotan otomatis. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem pengendali yang dipergunakan mampu mengaktifkan manipulator pada waktu yang di set dengan keterlambatan sekitar 1 detik. Keterlambatan tersebut disebabkan oleh respon motor *stepper* yang membutuhkan waktu untuk memulai perputaran poros.

Hasil pengamatan terhadap keberadaan OPT seperti ulat dan belalang tidak terlihat adanya daun yang berlubang pada sayuran yang disemprot pestisida nabati. Jika dibandingkan dengan tanaman kontrol yang tidak disemprot dengan pestisida nabati ternyata ditemukan adanya hama belalang dalam waktu 4 hari sejak pindah tanam dan dicatat pada minggu ke-1 (Tabel 4).

Tabel 1. Hasil uji lama pergerakan nosel untuk perioda gelombang pengendali motor *stepper* 1,4 milidetik

Nomor ulangan	Jumlah siklus gelombang	Lama penyemprotan (detik)	Kembali ke posisi awal (detik)
1	10900	15,93	15,96
2	10900	15,64	16,14
3	10900	15,52	16,14
4	10900	16,47	16,07
5	10900	16,53	16,00
Rataan		16,02	16,06

Tabel 2. Volume larutan pestisida nabati setiap siklus penyemprotan

Nomor Ulangan	Volume larutan (ml)
1	860
2	890
3	870
4	870
5	890
6	866
Rata-rata	874,3

Tabel 3. Ketepatan waktu mulai pergerakan nosel

Waktu yang di set	waktu Led indikator menyala	Nosel mulai bergerak	Keterlambatan (detik)
7:00:00	7:00:00	7:00:1,1	1,1
7:15:00	7:15:00	7:15:0,94	0,94
7:30:00	7:30:00	7:30:1,2	1,2
7:45:00	7:45:00	7:45:0,89	0,89
8:00:00	8:00:00	8:00:1,3	1,3
Rataan keterlambatan			1,1

Tabel 4. Intensitas serangan OPT yang diamati

Minggu ke	Disemprot (%)	Kontrol (%)
1	0	16,7
2	0	10,0
3	0	14,5
4	0	19,0

Tingkat serangan OPT sayuran yang disemprot pestisida nabati pada penelitian ini hampir sama dengan penelitian (Tasnia et al., 2022) dengan tingkat serangan OPT sebanyak 0,09 % untuk pestisida bawang putih, 0 % untuk pestisida tithonia, dan 0,04 % untuk pestisida berbahan kunyit. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhani et al., 2024) dengan pestisida berbahan bawang putih dosis 10 ml konsentrasi/ 40 ml air dan disemprotkan seminggu sekali. Intensitas serangan OPT adalah 19 % sampai 45 % pada sayur yang disemprot dan 47 % sampai 61 % pada tanaman kontrol. Intensitas serangan OPT selain dipengaruhi oleh dosis pestisida, frekuensi penyemprotan yang lebih tinggi kemungkinan berpengaruh terhadap penurunan intensitas serangan.

## KESIMPULAN

Manipulator robot penyemprot pestisida nabati tipe kartesian dua dimensi telah dibuat dan diuji pada sistem budidaya hidroponik vertikutur dua tingkat untuk sayuran pakcoy, selada, kailan dan sawi hijau. Ketelitian mekanisme geser manipulator untuk menggerakkan nosel penyemprot semakin tinggi dengan semakin besarnya periode gelombang pengendali motor namun kecepatan gerakannya semakin lambat. Ketelitian tersebut adalah 2,1 mm untuk periode gelombang 2 milidetik dan 0,7 mm untuk periode gelombang 4 milidetik. Rataan dan keseragaman debit semprotan nosel semakin tinggi dengan semakin tingginya siklus kerja PWM pengendali pompa *sprayer* karena tekanan larutan pestisida menjadi lebih tinggi. Rataan debit tersebut adalah 3,9 ml/detik pada siklus kerja PWM 39,22 % dan 7,8 ml/detik pada siklus kerja PWM 98,04 %. Keseragaman debit

semprotan dari 6 nosel yang digunakan adalah 81,4 % pada siklus kerja PWM 39,22 % dan 91 % pada siklus kerja PWM 98,04 %. Kapasitas lapang efektif dari robot penyemprot pestisida nabati ini adalah 0,199 m<sup>2</sup>/detik atau setara 0,072 ha/jam. Intensitas serangan OPT pada sayuran yang disemprot pestisida nabati adalah 0 % dibandingkan dengan intensitas serangan OPT pada sayuran kontrol adalah 10 % sampai 19 %. Penerapan robot penyemprot pestisida nabati otomatis ini mampu mengurangi kerusakan tanaman sayuran akibat serangan OPT. Keterbatasan dari penelitian ini adalah robot penyemprot belum dilengkapi dengan mekanisme pengencer otomatis konsentrasi pestisida dan mekanisme pengisi otomatis kedalam tangki *sprayer*. Kapasitas lapang efektif dari robot masih cukup rendah. Robot baru dirancang untuk satu jalur lintasan tanaman sehingga belum bisa pindah jalur. Saran untuk penyempurnaan lebih lanjut adalah perlu dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dan perlu diuji cobakan pada lokasi yang berbeda dengan dosis sama maupun dosis berbeda.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian IPB University yang telah memfasilitasi penelitian ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

AbhinandBinu, Bycil, V. J., Mohammed, R., Manav, D. R., &

- Viswanathan, P. V. (2024). Automatic Hydroponics Detection System and Robotic Pest Management for Enhanced Crop Cultivation. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, 13(5), 8389–8394. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2024.1305298>
- Albert, A., & Ismadi, V. D. Y. B. (2023). Strategi Pengembangan Usaha Sayuran Hidroponik di Hidroponik Binjai. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia (JPII)*, 1(8), 307–315. <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.23908>
- Anika, N., & Putra, E. P. D. (2020). Analisis Pendapatan Usahatani Sayuran Hidroponik Dengan Sistem Deep Flow Technique (Dft). *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(4), 367–373. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v9i4.367-373>
- Annafiyah, Anam, S., & Fatah, M. (2021). Rancang Bangun Sprayer Pestisida Menggunakan Pompa Air DC 12 V dan Panjang Batang Penyemprot 6 Meter. *Jurnal Rekayasa Mesin (JRM)*, 16(1), 90–99. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i1.2195>
- Benu, M. M. M., Tae, A. S. J. A., & Mukkun, L. (2020). Dampak Residu Pestisida Terhadap Keanekaragaman Jamur Tanah Pada Lahan Sayuran. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 22(2), 80–88. <https://doi.org/10.29244/jitl.22.2.80-88>
- Daryanti, D., Soemarah, T. K. D., Suprpti, E., Budiyo, A., & Soelistijono, R. (2024). Bimbingan Pembuatan Pupuk Dan Pestisida Organik Untuk Mendukung Program Bertanam Sayuran Organik di Desa Triyagan. *GANESHA: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 7–12. <https://doi.org/10.36728/ganesha.v4i1.2695>
- Erceg, D., Knezevic, B. Z., & Grvhovve, Z. (2023). Stereo vision based robot welding. *Journal of Physics: Conference Series* 2540 012017, 2540(2023), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2540/1/012017>
- Fitriyah, N., Rahmatika, W., & Dheandra, K. A. (2023). Efektivitas Pestisida Nabati Terhadap Pengendalian Hama Kutu Kebul (Bemisia Tabaci Genn.) Pada Tanaman Tomat (*Lycopersicon Esculentum* Mill.). *Jurnal Ilmiah Agrinca*, 23(2), 111–125. <https://doi.org/10.36728/afp.v23i2.2634>
- Galicia, A. J., Domingo, J. A. S., Sebastian, H., & Soriano, L. A. (2024). Cartesian Robot Design for Automated Spinach Seedling in Crop Beds. *2024 IEEE 2nd Conference on AgriFood Electronics (CAFE)*, 11069331. <https://doi.org/10.1109/CAFE63183.2024.11069331>
- Kamaruddin, C. A., Ma'ruf, M. I., Marhawati, Basra, A., & Rahmawati, D. (2020). Analisis Usaha Hidroponik di Kota Makassar (Studi Kasus Delta Farm). *Agricore: Jurnal Agribisnis Dan Sosial Ekonomi Pertanian*, 5(2), 151–161. <https://jurnal.unpad.ac.id/agricore/article/view/30920>
- Kapetas, D., Christakakis, P., Faliagka, S., Katsoulas, N., & Pechlivani, E. M. (2025). AI-Driven Insect Detection, Real-Time Monitoring, and Population Forecasting in Greenhouses. *AgriEngineering*, 7(29), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agriengineering7020029>
- Kusuma, M. I., Orbit, J., Safira, W. I., Zuhri, N. M., & Ayomi, N. M. S. (2024). Kerusakan Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L) oleh OPT pada Budidaya Hidroponik di Kota Semarang. *Journal of Integrated Agricultural Socio Economics and Entrepreneurial Research*, 2(2), 107–112. <https://doi.org/10.26714/jiasee.2.2.2024.107-112>
- Madhu, S., Teja, U. S., Mahender, B., & Vamshi, D. (2023). Pesticide spraying robot. *International Journal of Advances in Engineering and Management (IJAEM)*, 5(4), 772–777. <https://doi.org/10.35629/5252-0504772777>
- Marno, Abadi, S., Widiyanto, E., Utomo, U. U., Fauji, N., & Hanif, R. (2020). Modifikasi dan Pengujian Sistem Penyemprot Padi dengan Penambahan Pompa Elektrik. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 4(1), 1–6. <https://doi.org/10.30595/jrst.v4i1.3658>
- Meshram, A., Vanalkar, A., Meshram, K., Badar, A., Mehta, G., & Kaushik, V. (2024). Enhancing crop protection through smart autonomous pesticide spray bot in sustainable agriculture. *IOP Publishing: Engineering Research Express*, 6(2024), 045563. <https://doi.org/10.1088/2631-8695/ad9545>
- Mustafid, M. A., Subrata, I. D. M., Pramuahadi, G., & Harahap, I. S. (2022). Design and Performance Test of Autonomous Precision Spraying Robot for Cabbage Cultivation. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1038(2022), 012044. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i1.2195>
- Rahmat, & Wiyono. (2022). Rancangbangun Perangkat Kendali Motor Stepper Dengan Mikrokontroler. *Jurnal Teknik*, 7(3), 99–107. <https://jurnal.sttw.ac.id/index.php/jte/article/view/180/102>
- Raja, V., Bhaskaran, B., Nagaraj, K. K. G., Sampathkumar, J. G., & Senthilkumar, S. R. (2022). Agricultural harvesting using integrated robot system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(1), 152–158. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v25.i1.pp152-158>
- Ramadhani, E. G., Rosa, H. O., & Pramudi, M. I. (2024). Pengaruh Aplikasi Larutan Bawang Putih (*Allium sativum*) Terhadap Intensitas Serangan Hama Daun Pada Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* L). *Proteksi Tanaman Tropika*, 7(2), 859–864. <https://doi.org/10.20527/jptt.v7i2.2605>
- Senen, M. A., Leiwakabessy, C., Lamerkabel, J. S. A., & Uruilal, C. (2022). Studi Kerusakan Tanaman Sawi (*Brassica* sp) dan Selada (*Lactuca sativa* L) Akibat OPT pada Sayuran Hidroponik di Kota Ambon. *Jurnal Pertanian Kepulauan*, 6(1), 9–22. <https://doi.org/10.30598/jpk.2022.6.1.9>
- Shirwal, S., Veerangouda, M., Palled, V., Sushilendra, Hosamani, A., & Krishnamurthy, D. (2020). Studies on Operational Parameters of Different Spray Nozzles. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(1), 1267–1281. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.901.140>
- Sinambela, B. R. (2024). Dampak Penggunaan Pestisida Dalam Kegiatan Pertanian Terhadap Lingkungan Hidup Dan Kesehatan. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 8(2), 178–187. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v8i2.625>
- Sugito, A., Sumarsono, J., Priyati, A., & Dewi, E. P. (2024). Aplikasi Teknik Aeroponik Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus* sp). *Journal of Agricultural Engineering and Technology (J-AGENT)*, 2(1), 1–13. <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent/article/view/3101/1793>
- Sukendar, N. M. C., & Dewi, N. L. M. I. M. (2023). Kajian Analisis Biaya dan Manfaat (Cost-Benefit Analysis) Sayuran Hidroponik dengan Sistem Nutrient Film Technique di Indonesia. *Jurnal Manajemen Agribisnis*, 11(1), 55–61. <https://doi.org/10.24843/JMA.2023.v11.i01>
- Sukmawati, R. (2024). Pengembangan Metode Pertanian

- Vertikal Untuk Meningkatkan Produksi Dalam Keterbatasan Lahan. *Jurnal Literasi Indonesia (JLI)*, 1(2), 61–68. <https://jli.staiku.ac.id/index.php/st/article/view/8/26>
- Tasnia, F. H., Ibusina, F., & Alfikri. (2022). Analisis Penggunaan Pestisida Nabati Pada Usaha Budidaya Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) Hidroponik. *Fruitset Sains : Jurnal Pertanian Agroteknologi*, 10(3), 138–145. <https://www.ejournal.iocscience.org/index.php/Fruits-et/article/view/2849/2286>
- Thao, L. Q., Cuong, D. D., Anh, N. T., Minh, N., & Tam, N. D. (2022). Pest Early Detection in Greenhouse Using Machine Learning. *IETA: International Information and Engineering Technology Association*, 36(2), 209–214. <https://doi.org/10.18280/ria.360204>
- Yang, Z., Li, W., Li, M., & Yang, X. (2021). Automatic greenhouse pest recognition based on multiple color space features. *Int J Agric & Biol Eng*, 14(2), 188–195. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211402.5098>
- Yeremia, D. A., & Carina, N. (2021). Vertical Farming Sebagai Upaya Konservasi Ekologi Bumi. *Jurnal Stupa*, 3(2), 2199–2210. <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12316>
- Zhang, X., Bu, J., Zhou, X., & Wang, X. (2023). Automatic pest identification system in the greenhouse based on deep learning and machine vision. *Frontiers in Plant Science*, 14(1255719), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1255719>

Halaman ini sengaja dikosongkan