



Rancang Bangun Alat Pemupuk Otomatis pada Tanaman Kangkung

Design and Build an Automatic Fertilizer for Water Spinach

Safira Nur Anggraini, I Putu Surya Wirawan*, I Gusti Ketut Arya Arthawan

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pertanian membuka peluang penerapan sistem mikrokontroler untuk mendukung budidaya tanaman, termasuk proses pemupukan. Dalam praktik budidaya sehari-hari, pemberian pupuk di tingkat petani tidak selalu berlangsung sesuai jadwal yang dianjurkan, sehingga waktu pemupukan mundur dan pertumbuhan tanaman tidak maksimal. Pemupukan manual masih dilakukan secara manual dengan mengambil pupuk dari wadah lalu menaburkannya ke media tanam, sehingga bergantung pada tenaga manusia. Tanaman kangkung dipilih sebagai objek penelitian karena bentuk batang dan daun yang seragam memudahkan pengaturan posisi pot. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji kinerja alat pemupuk otomatis pada tanaman kangkung. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada perancangan dan pengujian alat untuk memastikan fungsionalitas tanpa pengaturan dosis pupuk otomatis. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras terdiri dari kerangka alat, ESP32 sebagai pengendali utama, driver motor L298N, sensor tipe ultrasonik untuk mendeteksi pot, motor servo sebagai pembuka saluran pupuk, serta motor DC sebagai penggerak baling-baling untuk membantu penyaluran pupuk. Perangkat lunak dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan sistem kendali melalui web server lokal. Pengguna dapat mengatur parameter seperti jarak deteksi, kecepatan motor, sudut servo, dan jumlah pot. Hasil pengujian menunjukkan alat berfungsi sesuai rancangan, dengan kemampuan mendeteksi pot, menggerakkan servo, serta mengoperasikan motor DC sebagai penggerak baling-baling. Alat mampu mengeluarkan pupuk $\pm 0,62$ g dengan tingkat keberhasilan 80% dari lima pot dalam dua pengulangan. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa integrasi ESP32 dengan sensor ultrasonik, motor DC, dan motor servo dapat mendukung terbentuknya sistem pemupukan otomatis mendukung pada tanaman kangkung.

Kata Kunci: ESP32, Motor Servo, Pemupuk Otomatis, Sensor Ultrasonik, Tanaman Kangkung

ABSTRACT

The development of agricultural technology enables the application of microcontroller-based systems to support crop cultivation, including fertilization. In practice, farmers often don't follow recommended fertilization schedules, causing delays that reduce optimal plant growth, and fertilization still done manually by taking fertilizer from a container and spreading it onto the growing media, making the process dependent on human labor. Water spinach selected as the research object because its uniform stem and leaf structure support consistent pot positioning. Study aims design, build, test an automatic fertilizing device for water spinach, with the research limited to developing and validating the device's functional performance without automatic dose measurement. The research methods include hardware and software design. The hardware consists of the device frame, an ESP32 as the main controller, an L298N motor driver, an ultrasonic sensor for pot detection, a servo motor for opening the fertilizer outlet, and a DC motor to rotate the impeller for fertilizer distribution. The software was developed using the Arduino IDE with a control system accessed through a local web server, allowing users to adjust detection distance, motor speed, servo angle, and number of pots. Test results show that the device operates as designed, successfully detecting pots, activating the servo, and running the DC motor. The device dispenses approximately ± 0.62 g of fertilizer with an 80% success rate across five pots in two repetitions, indicating that integrating the ESP32, ultrasonic sensor, servo motor, and DC motor can support the development of an automatic fertilization system for water spinach plants.

Keywords: Automatic Fertilization, ESP32, Motor Servo, Ultrasonic Sensor, Water Spinach Plants

*Corresponding author:

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana, Badung, Bali, Indonesia. Email: suryawirawanputu@unud.ac.id

Masuk: 17 September 2025; **Direvisi:** 01 Desember 2025; **Diterima:** 05 Desember 2025 **Terbit:** 08 Desember 2025

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomatis di bidang pertanian membuka peluang penerapan sistem mikrokontroler untuk mendukung berbagai proses budidaya tanaman. Salah satu penerapan yang potensial adalah pada kegiatan pemupukan, pengaturan pada kerja alat dapat diintegrasikan dengan sensor, akuator dan mikrokontroler untuk memastikan proses berjalan secara konsisten sesuai skenario yang ditetapkan. Pemupukan manual dilakukan secara manual dengan mengambil pupuk dari wadah dan menaburkannya langsung ke media tanam atau pot. Metode ini sepenuhnya bergantung pada tenaga manusia (Asshiddiq et al., 2025). Kangkung merupakan salah satu jenis tanaman hortikultura yang banyak digemari masyarakat karena memiliki nilai gizi yang tinggi, masa tanam yang singkat dan metode budidaya yang sederhana. Tanaman ini juga cocok dibudidayakan pada lahan sempit dengan media seperti polybag, sehingga sangat relevan untuk dikembangkan dalam skala rumah tangga atau lahan terbatas (Iskandar, 2016). Dalam budidaya kangkung, tahapan pemupukan menjadi penting untuk mendukung pembentukan klorofil dan pertumbuhan vegetatif tanaman. Pemupukan perlu dilakukan secara tepat waktu agar ketersediaan unsur hara sesuai dengan fase kebutuhan tanaman. Namun, praktik di lapangan menunjukkan bahwa pemupukan oleh petani tidak selalu mengikuti jadwal anjuran. Namun, dalam praktik budidaya sehari-hari, pemberian pupuk di tingkat petani tidak selalu berlangsung sesuai jadwal yang dianjurkan. Kondisi ini membuat waktu pemupukan dapat bergeser dari waktu pemupukan yang seharusnya, sehingga efektivitas pemberian pupuk dan pertumbuhan tanaman bisa tidak maksimal (Safitri et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan suatu upaya untuk membantu membantu menjaga keteraturan jadwal pemupukan, terutama bagi masyarakat yang menanam sendiri di pekarangan rumah. Karakteristik morfologinya yang memiliki bentuk batang dan daun relatif seragam memudahkan pengaturan posisi pot (Ansyari dan Jasmi, 2022).

Seiring dengan berkembangnya teknologi, kini banyak solusi yang lebih cerdas dan otomatis dalam kegiatan pertanian (Widodo, 2025). Otomatisasi pada proses pemupukan telah menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan untuk mendukung kegiatan bertanam pada skala kecil hingga menengah. Dalam perkembangannya, tidak semua teknologi dirancang untuk bekerja sepenuhnya otomatis sebagian sistem justru dibuat sebagai alat bantu semi otomatis yang tetap memerlukan kehadiran pengguna, namun mampu melaksanakan proses penyaluran pupuk melalui mekanisme aktuator yang telah diatur sebelumnya. Pada sistem seperti ini, pengguna tidak lagi menaburkan pupuk secara langsung seperti pada metode manual, tetapi cukup mengoperasikan perangkat sehingga pupuk dapat dikeluarkan oleh alat melalui penggerak yang sudah ditentukan fungsinya.

Kebutuhan akan perangkat semi otomatis muncul karena metode penaburan manual mengharuskan pengguna melakukan gerakan yang sama secara berulang pada setiap pot atau media tanam. Melalui perangkat berbasis mikrokontroler, sebagian tahapan tersebut dapat dialihkan pada alat, seperti membuka penutup pupuk dan menggerakkan motor untuk menyalurkan pupuk. Meskipun demikian, pengguna tetap berperan pada tahap awal, yaitu menyiapkan alat, mengisi pupuk, dan mengaktifkan proses pemupukan. Rumusan penelitian ini berfokus pada bagaimana rancangan serta kinerja alat pemupuk otomatis pada tanaman kangkung, dengan tujuan merancang, membangun, dan menguji alat tersebut. Penelitian ini diharapkan dapat menghemat waktu dan tenaga dalam proses pemupukan serta menjadi referensi untuk pengembangan lebih lanjut. Batasan penelitian mencakup penggunaan alat yang hanya dapat beroperasi ketika perangkat pengguna dan ESP32 berada pada jaringan WiFi yang sama, serta pengujian dilakukan di halaman rumah sebagai uji coba kelayakan. Fokus penelitian diarahkan pada uji fungsional alat untuk memastikan sistem mampu mendeteksi pot, mengaktifkan aktuator, dan menyelesaikan siklus pemupukan sesuai instruksi, mulai dari mendeteksi pot, membuka penutup pupuk, menyalurkan pupuk selama durasi yang diatur, hingga menutup kembali sebelum berpindah ke pot berikutnya. Alat tidak dirancang untuk mengatur dosis pupuk secara presisi karena tidak dilengkapi sensor berat, sehingga jumlah pupuk yang keluar tidak dijadikan parameter pengujian.

METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dirancang di Laboratorium Rekayasa Alat dan Ergonomi Kampus Bukit Jimbaran, Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana. Penelitian ini dilaksanakan dilahan perkarangan rumah daerah Denpasar, Bali. Penelitian ini berlangsung dan dikerjakan pada bulan Maret tahun 2025 hingga Juni tahun 2025.

Alat dan Bahan Penelitian

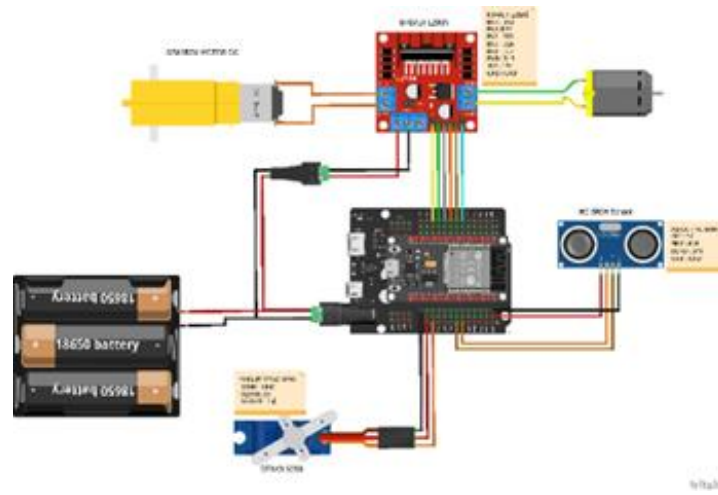
Alat yang digunakan antara lain cutter, bor listrik, multimeter, tang, solder, obeng, meteran, penggaris, gunting, serta perangkat lunak Arduino IDE yang dijalankan melalui laptop dan smartphone. Sementara itu, bahan-bahan yang digunakan meliputi bibit kangkung berumur 7 hari setelah tanam, tanah subur, pupuk NPK, akrilik, mika, ESP32, modul L298N, sensor ultrasonik hc-sr04, motor servo tipe SG 90, motor DC 130 3-6v, motor DC *gearbox*, baterai 11,1V, *baseboard* ESP32, kabel hitam kecil, kabel *jumper*, kabel USB, jack kabel, baut, dan lem G.

Tahapan Perancangan Alat Pemupuk Otomatis Pada Tanaman Kangkung

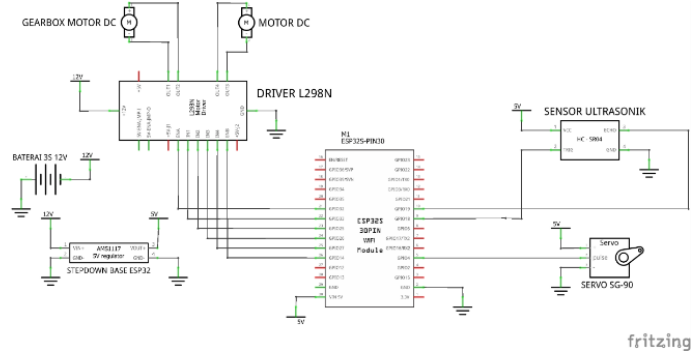
Tahapan Perancangan Fungsional

Sistem kerja alat pemupuk otomatis pada tanaman kangkung menggunakan mikrokontroler ESP32 (*Espressif System Platform*). Ketika alat sudah aktif ESP32 akan menghubungkan ke Wi-Fi yang ditentukan. Jika ESP32 terhubung ke WIFI, ESP32 akan terhubung ke *web server*. Jika tidak, ESP32 akan menghubungkan kembali ke WIFI. Saat ESP32 terhubung dengan *web server* maka *web server* akan menampilkan halaman setting, ketika tombol start pada *web server* dinyalakan, halaman *web server* akan berpindah ke halaman Proses dan alat akan bergerak maju berjalan di samping tanaman. Jika tidak, ESP32 *standby*. Ketika Sensor ultrasonik mendeteksi pada pot, Motor Servo akan membuka tutup pupuk dan motor DC akan berputar untuk membantu pupuk keluar. Jika tidak motor akan bergerak maju hingga menemukan objek. Ketika alat sudah selesai memupuk pada pot terakhir alat akan mundur ke tempat semula, lalu alat akan mengirimkan notifikasi ke *web server* dan *web server* akan berpindah ke halaman *Standby*.

Sistem pada alat ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali yang memproses data sensor dan mengatur kerja seluruh komponen seperti motor dan servo. Komunikasi antara pengguna dan alat dilakukan melalui protokol HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) di mana ESP32 berfungsi sebagai server lokal dan browser pengguna bertindak sebagai klien. HTTP merupakan protokol komunikasi standar yang digunakan untuk mentransfer data antara klien dan server, serta menjadi dasar dalam pengaksesan halaman web, mulai dari pemuatan konten sederhana hingga pengiriman data yang lebih kompleks (Margareta dan Munaldi, 2024). *Web server* yang dijalankan pada ESP32 memungkinkan pengguna mengatur berbagai parameter alat, seperti kecepatan putaran motor, sudut bukaan servo, jarak deteksi sensor, waktu tunda (*delay*), serta durasi pengulangan proses. *Web server* tersebut hanya dapat diakses oleh perangkat yang berada dalam jaringan yang sama dengan ESP32.



Gambar 1. Desain Wiring Alat Pemupuk Otomatis Pada Tanaman Kangkung



Gambar 2. Diagram blok perangkat keras

Rancangan alat pemupuk otomatis ini dirancang untuk memudahkan proses pemupukan tanaman secara efisien dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali utama. ESP32 dipilih karena memiliki performa tinggi, konektivitas yang baik, serta jumlah pin GPIO yang mencukupi untuk mendukung berbagai komponen yang terhubung. Perangkat ini bertugas untuk mengatur logika kerja sistem mulai dari proses deteksi tanaman, kontrol aktuatur, hingga waktu pemberian pupuk secara otomatis. Pada unit pemupukan, sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi keberadaan pot tanaman. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang ultrasonik, di mana transmitter akan memancarkan gelombang suara berfrekuensi 40 kHz, lalu receiver akan menerima pantulan gelombang tersebut ketika mengenai permukaan pot. Informasi jarak yang diperoleh dari sensor ini kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kapan alat harus berhenti dan melakukan pemupukan. Ketika pot terdeteksi berada dalam posisi yang sesuai, ESP32 akan memberikan perintah kepada motor servo untuk membuka tutup saluran pupuk. Saluran ini terhubung langsung dengan wadah penyimpanan pupuk. Untuk memastikan pupuk dapat keluar secara teratur dan tidak tersendat, digunakan motor DC yang akan berputar disertai baling-baling yang membantu mendorong pupuk keluar melalui lubang distribusi, karena poros motor dc dapat berputar searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam (Yulyawan et al., 2022). Kombinasi antara aktuasi motor dan sistem sensor ini memungkinkan proses pemupukan berlangsung otomatis dan lebih presisi, tanpa perlu intervensi manual dari pengguna.

Penggerak utama dari alat pemupuk otomatis ini menggunakan motor DC gearbox yang berfungsi sebagai kaki atau sistem mobilitas alat. Motor ini dipilih karena mampu menghasilkan torsi yang cukup besar untuk menggerakkan alat secara stabil. Motor DC gearbox ini ditempatkan pada roda bagian depan dan berperan penting dalam mengatur arah gerak maju maupun mundur dari alat secara keseluruhan. Untuk mengatur kinerja motor, digunakan *driver motor* L298N yang berfungsi sebagai pengendali arah dan kecepatan putaran motor. Modul ini menerima sinyal logika dari mikrokontroler ESP32 yang sudah diprogram sebelumnya. L298N menggunakan prinsip kerja *H-Bridge* untuk memungkinkan motor berputar ke arah yang diinginkan (Aribowo et al., 2023), sesuai

dengan logika masukan dari ESP32. Hal ini memungkinkan sistem bergerak sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor, seperti berhenti di depan pot dan melanjutkan perjalanan setelah proses pemupukan selesai. ESP32 dalam sistem ini bertugas memberikan instruksi langsung kepada L298N melalui koneksi kabel. Tidak ada koneksi jarak jauh yang digunakan, sehingga seluruh proses kontrol bersifat lokal dan tertanam dalam sistem. Dengan perpaduan ini, sistem gerak menjadi lebih fleksibel dan terintegrasi, mendukung fungsi penabur pupuk otomatis secara efisien sesuai jalur yang telah ditentukan.

Tahapan Perancangan Struktural

Pada perancangan alat pemupuk otomatis diperlukan perangkat keras (*hardware*) dan rancangan perangkat lunak (*software*). Rancangan perangkat keras terdiri dari desain kerangka dan desain seluruh komponen elektronik yang diperlukan untuk membangun rancang bangun alat pemupuk otomatis sedangkan desain rangkaian elektronik dibuat menggunakan perangkat lunak fritzing untuk menampilkan desain rangkaian komponen. Pada rancangan perangkat lunak menggunakan Arduino IDE untuk memprogram pada papan ESP32 sebagai pengendali perangkat keras yang sudah terhubung dengan pin pada papan ESP32. Selain mendesain kerangka dan seluruh komponen, dilakukan pula desain kerangka seluruh bagian alat pemupuk otomatis. Desain kerangka mencakup seluruh bagian sistem yang akan menjadi tempat komponen yang terpasang pada prototipe pemupuk otomatis, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Alat ini dirancang dengan dimensi panjang dan lebar masing-masing 15 cm serta tinggi 35 cm. Ukuran tersebut dipilih agar seluruh komponen seperti mikrokontroler, *driver motor*, servo, motor DC dengan *gearbox*, serta wadah pupuk dapat tertata dengan baik tanpa membuat alat menjadi terlalu besar untuk melewati deretan pot. Dimensi ini juga menjaga alat agar tetap stabil saat bergerak. Alat ini dilengkapi 4 Roda dengan diameter 6 cm untuk memberikan stabilitas saat digunakan. Selain itu, alat ini memiliki hopper untuk keluarnya pupuk dengan panjang 6 cm dan lebar 4 cm yang dirancang untuk memastikan aliran pupuk berjalan dengan lancar.



Gambar 3. Desain Kerangka Alat Pemupuk Otomatis Pada Tanaman Kangkung

Budidaya Tanaman Kangkung

Pembibitan kangkung dimulai dengan memilih benih berkualitas baik untuk memastikan pertumbuhan optimal. Rendam benih dalam air selama 6–12 jam untuk memisahkan benih yang tidak layak tanam (benih yang mengapung sebaiknya dibuang). Setelah itu, siapkan polybag berukuran 30–30 cm yang telah diisi dengan campuran tanah, pupuk kompos, dan sekam padi

dengan perbandingan 2:1:1. Benih ditanam pada kedalaman 1–2 cm dan disiram secukupnya untuk menjaga kelembapan. Pemeliharaan yang perlu dilakukan terutama adalah menjaga ketersediaan air pada kangkung darat. Apabila tidak turun hujan, harus segera dilakukan penyiraman. Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu pengendalian gulma pada waktu tanaman masih muda atau belum menutup tanah dan menjaga tanaman dari serangan hama dan penyakit. Kangkung membutuhkan penyiraman rutin agar pertumbuhannya optimal. Jika tumbuhan terlalu padat, lakukan penjarangan dengan memetik beberapa tanaman agar sisanya bisa tumbuh lebih baik.

Pemeliharaan selanjutnya yaitu dengan pemberian pupuk. Pemberian pupuk dilakukan dengan menggunakan alat pemupuk otomatis yang berjalan di lahan perkarangan rumah. Alat ini tersambung dengan WiFi dan Web server yang bekerja sebagai pengontrol alat. Pupuk yang dibutuhkan tanaman kangkung sendiri sebanyak 6,5g/tanaman menggunakan pupuk NPK. Pemberian pupuk dilakukan pada umur tanaman 7 hingga 30 hari setelah tanam menggunakan pupuk NPK. Saat tanaman mulai tumbuh daun sejati, ini adalah waktu yang tepat untuk memberikan nutrisi tambahan (Suroso et al., 2016). Pupuk diberikan seminggu sekali dan waktu pemupukan yang baik adalah pada pagi dan sore hari, suhu udara lebih sejuk, yang memungkinkan tanaman untuk menyerap nutrisi dengan lebih baik. Pada waktu ini, tanaman tidak mengalami stres akibat panas berlebihan yang dapat mengganggu proses penyerapan. Kangkung biasanya siap dipanen dalam waktu 3-4 minggu setelah penyemaian. Potong daun-daun kangkung dengan hati-hati dan pastikan batang utama tetap utuh agar tumbuhan bisa terus tumbuh. Setelah panen, cuci daun kangkung dengan air bersih dan simpan dalam lemari es.

Uji Fungsi

Uji fungsi dilakukan untuk mengetahui kerja masing-masing komponen serta alat secara keseluruhan. *Root Mean Squared Error* (RMSE) merupakan metode untuk menguji seluruh sistem agar mengetahui keakurasian yang telah didapat oleh komponen sensor sistem yang ditentukan dengan perintah yang diinginkan oleh pengguna. Untuk mengetahui keakurasian yang telah didapat oleh komponen sensor sistem yang ditentukan dengan perintah yang diinginkan oleh pengguna. Semakin kecil (mendekati 0) maka tingkat kesalahan dari hasil prediksi semakin akurat (Marian, 2022). Nilai RMSE dapat dihitung dengan Persamaan 1.

$$Error\ Sensor = \frac{Hasil\ Pengukuran\ Sensor - Hasil\ Pengukuran\ Asli}{Hasil\ Pengukuran\ Sensor} \times 100\% \quad [1]$$

Pengujian motor servo dilakukan untuk memastikan bahwa servo dapat membuka dan menutup penutup wadah pupuk sesuai nilai sudut yang dikirim dari mikrokontroler, sehingga mekanisme pemberian pupuk berjalan akurat dan konsisten. Pada pengujian ini, parameter yang diamati meliputi respons pergerakan servo terhadap perubahan sudut (misalnya 0°, 45°, 90°, hingga 180°), kecepatan dan kelancaran gerakan, serta ketepatan posisi sudut yang dicapai. Pengujian ini bertujuan memastikan servo bekerja tepat sesuai perintah dan dapat diintegrasikan dengan sistem pemupukan otomatis. Pengujian motor DC dilakukan untuk memastikan bahwa motor benar-benar menerima perintah dari mikrokontroler dan dapat berputar sesuai durasi yang ditetapkan. Parameter yang diamati pada pengujian ini meliputi respons motor terhadap sinyal perintah dan konsistensi putaran motor selama durasi yang diberikan.

Uji Kinerja Alat

Uji kinerja alat bertujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem pemupuk otomatis dalam mendeteksi pot dan mengeluarkan pupuk sesuai target. Pengujian dilakukan dengan menjalankan alat pada jalur yang telah disusun pot dengan jumlah 5 pot, kemudian mencatat jumlah pot yang berhasil menerima pupuk (Rofiansyah et al., 2025). Presentase keberhasilan alat dihitung menggunakan persamaan:

$$Persentase\ Keberhasilan = \frac{P_b}{P_t} \times 100\% \quad [2]$$

Keterangan:

p_b = jumlah pot yang menerima pupuk sesuai deteksi sensor.

p_t = jumlah total pot yang dilalui alat selama pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Rancangan Alat

Hasil dari rancangan sistem adalah prototype alat pemupuk tanaman otomatis yang terdiri dari beberapa unit, yaitu unit kontrol, unit motor dan unit pemupuk. Pada unit kontrol, terdapat papan sirkuit yang mengintegrasikan berbagai komponen elektronik, termasuk ESP32 sebagai mikrokontroler utama. ESP32 berfungsi untuk mengolah data dari sensor, mengendalikan motor Servo serta mengatur komunikasi dengan pengguna melalui *web server*. Selain itu, digunakan modul *driver motor* L298N yang terhubung ke ESP32 untuk mengontrol Motor DC sebagai pendorong pupuk dan Motor DC Gearbox sebagai penggerak roda, sehingga memungkinkan alat dapat bergerak maju atau mundur.

Hasil Perancangan Fungsional

Perangkat Lunak sistem kerja dibuat menggunakan bahasa pemrograman pada perangkat lunak Arduino IDE versi 2.3.6 pada windows 10. perangkat lunak Arduino IDE berfungsi untuk memprogram ESP32. adapun tampilan *coding* pada implementasi pemrograman perangkat lunak mikrokontroler pada Arduino IDE 2.3.6. Program yang ditulis dengan menggunakan Software Arduino IDE disebut sebagai *sketch*. *Sketch* ditulis dalam suatu editor teks dan disimpan dalam file dengan ekstensi *.ino*. Pada *Software* Arduino IDE, terdapat semacam *message box* berwarna hitam yang berfungsi menampilkan status, seperti pesan *error*, *compile*, dan *upload program*.

A. Sensor HCSR

Sensor HC-SR04 adalah sensor ultrasonik yang digunakan untuk mengukur jarak suatu objek. Sensor ini bekerja dengan memancarkan gelombang ultrasonik dari *transmitter* (Trig) dan menerima pantulan gelombang tersebut di *receiver* (Echo) (Khasanah, 2024). Pada alat ini sensor HCSR berfungsi sebagai pembaca pot. Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan bagian kritis dalam evaluasi kinerja alat pemupuk tanaman otomatis. Sensor ini berfungsi sebagai sistem deteksi utama yang memungkinkan alat mengenali keberadaan pot tanaman selama proses pemupukan berlangsung. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip ultrasonik, dengan transmitter yang memancarkan gelombang suara berfrekuensi tinggi 40 kHz untuk mendeteksi objek di sekitarnya (Hakim dan Alamsyah, 2023).

```
float measure_distance() {
    digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(PIN_TRIG, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(PIN_TRIG, LOW);
    float distance = pulseIn(PIN_ECHO, HIGH) *.0343/2;
    delay(5); // wajib
    return distance;
}
```

Gambar 4. Coding perintah untuk sensor ultrasonik

B. Motor Servo

Motor Servo merupakan perangkat atau *actuator* putar yang mampu bekerja dua arah (*Clockwise* dan *Counter Clockwise*) dan dilengkapi rangkaian kendali dengan sistem *closed feedback* yang terintegrasi pada motor tersebut (Fahmi et al., 2022). Motor servo digunakan sebagai pengendali buka dan tutup *valve* pada sistem pemupuk tanaman. Katup ini bertugas untuk mengontrol pupuk

keluar dari penyimpanan pupuk ke pendorong pupuk. Ketika motor servo diaktifkan oleh unit kontrol, servo akan memutar porosnya sesuai dengan sudut yang telah ditentukan.

```
bool setServo(float deg) {
    return ledcWrite(PIN_SERVO, map(deg, 0, 180, 11, 67));
}
```

Gambar 5. Coding perintah untuk motor servo

C. Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah jenis motor listrik yang beroperasi menggunakan arus searah yang masih ada sampai saat ini mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerakan rotasi, Mesin ini bekerja baik sebagai motor baik pula bekerja sebagai generator (T. Y. Candra dan Ta'ali, 2020). Motor ini bekerja berdasarkan prinsip gaya Lorentz, di mana arus listrik yang mengalir dalam medan magnet menghasilkan gaya mekanis. Dengan torsi yang kuat, motor DC mampu memutar baling-baling yang akan membantu pupuk menuju pot, seperti pada alat pemupukan otomatis yang digunakan untuk mendorong pupuk keluar dari saluran distribusi. Pengendalian kecepatan motor DC menggunakan sinyal PWM sebagai metode utama untuk merubah tingkat daya yang diberikan ke motor (Aqiqah, 2024) dan perangkat ESP32 sebagai otak pengendalian.

Motor DC Gearbox adalah gabungan antara motor DC dan gearbox yang dirancang untuk menghasilkan torsi lebih. Motor DC berfungsi mengubah energi listrik searah menjadi energi mekanik berupa gerakan rotasi, sedangkan *gearbox* berfungsi menurunkan kecepatan putaran motor dan sekaligus meningkatkan torsi. Hal ini sangat berguna dalam aplikasi yang memerlukan daya dorong atau angkat yang kuat namun tidak memerlukan kecepatan tinggi, seperti pada alat pemupukan otomatis, robot beroda, atau mekanisme penggerak beban. Motor DC gearbox ini umumnya hanya mampu bergerak dalam dua arah, yaitu maju (*forward*) dan mundur (*reverse*). Arah gerakan ini ditentukan oleh polaritas arus listrik yang diberikan, dan tidak mendukung gerakan berputar ke kiri atau ke kanan secara bebas seperti motor servo. Oleh karena itu, motor ini cocok digunakan untuk sistem penggerak linear atau pergerakan bolak-balik yang sederhana namun kuat dan stabil.

```
void setMovement(eDevice dev, eMovement movement) {
    uint8_t PIN_EN;
    uint8_t PIN_FORWARD;
    uint8_t PIN_BACKWARD;
    uint8_t pwm;
    uint8_t pin;

    if(dev == RODA) {
        PIN_EN = PIN_MOTOR_ENA;
        PIN_FORWARD = PIN_MOTOR_IN1;
        PIN_BACKWARD = PIN_MOTOR_IN2;
        pwm = map(setting.pwmRoda, 0, 255, 130, 511);
    } else {
        PIN_EN = PIN_MOTOR_ENB;
        PIN_FORWARD = PIN_MOTOR_IN3;
        PIN_BACKWARD = PIN_MOTOR_IN4;
        pwm = map(setting.pwmMotor, 0, 255, 130, 511);
    }
}

switch(movement) {
    case MAJU : {
        digitalWrite(PIN_FORWARD, HIGH);
        digitalWrite(PIN_BACKWARD, LOW);
        ledcWrite(PIN_EN, pwm);
    } break;

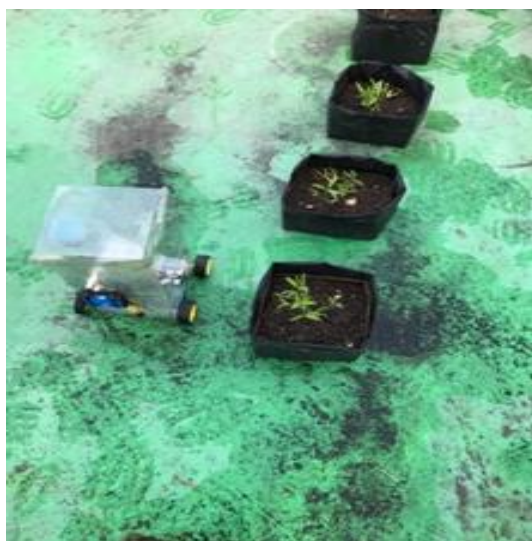
    case MUNDUR : {
        digitalWrite(PIN_FORWARD, LOW);
        digitalWrite(PIN_BACKWARD, HIGH);
        ledcWrite(PIN_EN, pwm);
    } break;

    case STOP : {
        digitalWrite(PIN_FORWARD, LOW);
        digitalWrite(PIN_BACKWARD, LOW);
        ledcWrite(PIN_EN, 0);
    } break;
}
```

Gambar 6. Coding perintah untuk motor servo

Hasil Perancangan Struktural

Unit pemupuk terdiri dari sensor HC-SR04 yang berfungsi untuk membaca objek atau pot tanaman. Sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengukur jarak dan mendeteksi keberadaan pot dengan akurasi yang baik. Pada unit motor, terdapat *driver* L298N yang digunakan untuk mengendalikan motor DC *gearbox* dan motor DC yang terdapat pada unit pemupuk. Motor DC *gearbox* dilengkapi dengan roda berdimensi 6 cm, yang memungkinkan alat bergerak dengan stabil dan efisien. Alat ini juga dilengkapi dengan empat roda untuk menjaga keseimbangan saat beroperasi. Unit pemupuk terdiri dari motor servo yang berfungsi sebagai pengendali buka dan tutup lubang penyimpanan pupuk. Motor DC akan berputar disertai baling-baling yang akan membantu pupuk keluar dari wadah penyimpanan ke dalam pot tanaman. Alat ini memiliki dimensi panjang dan lebar masing-masing 15 cm, serta tinggi 35 cm, sehingga cukup mudah untuk dipindahkan. Kerangka alat ini terbuat dari bahan mika dan akrilik, yang dipilih karena ringan dan mudah dibentuk, namun tetap memberikan kekuatan yang cukup untuk mendukung komponen di dalamnya.



Gambar 7. Dokumentasi Uji Coba Alat



Gambar 8. Hasil Rancangan Kerangka Alat Pemupuk Otomatis Pada Tanaman Kangkung

Pada penelitian (Ermawan dan Fadillah, 2022). menggunakan pendekatan berbeda meskipun memiliki tujuan yang sama yaitu penaburan pupuk secara otomatis. Alat tersebut dilengkapi dengan loadcell dan modul HX711 untuk menimbang pupuk, sehingga takaran yang diberikan lebih presisi berdasarkan berat. Pergerakan alat pada penelitian (Ermawan dan Fadillah, 2022). lebih kompleks karena mampu membaca lubang pada mulsa dan berbelok otomatis di ujung bedengan. Sistem IoT yang digunakan juga berbeda karena penelitian (Ermawan dan Fadillah, 2022). memanfaatkan aplikasi *Blynk* untuk kontrol jarak jauh, sedangkan pada alat ini pengaturan hanya dapat dilakukan melalui *web server* lokal yang terhubung pada jaringan WiFi yang sama.

Hasil Uji Fungsi

Pengujian sensor ultrasonic HC-SR04 bertujuan memverifikasi bahwa sensor mampu membaca jarak secara akurat dan mengirimkan nilai tersebut ke mikrokontroler sesuai kondisi sebenarnya. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan program yang menampilkan hasil pembacaan jarak pada monitor serial. Pengujian ini mengamati konsistensi data, stabilitas pembacaan, serta keandalan sensor dalam mendeteksi objek yang menjadi pemicu utama proses kerja sistem.

Tabel 1. Data Uji Fungsi Sensor Ultrasonik

Jarak Asli (cm)	Pembacaan sensor HC-SR04	Error (%)	Akurasi Sensor (%)
5	5	0	100
10	10	0	100

15	15	0	100
20	20	0	100
25	25	0	100
30	28	6,7	93,5
40	39	2,5	97,5
45	45	0	100
50	50	0	100
60	60	0	100
Rata-rata		0,92	99,08

Berdasarkan hasil pengukuran jarak yang dibandingkan dengan nilai acuan, sensor menunjukkan rata-rata error sebesar 0,92%, yang berarti penyimpangan pembacaan terhadap nilai sebenarnya relatif kecil. Nilai error yang rendah ini berbanding terbalik dengan tingkat akurasi, yang mencapai 99,08%, menunjukkan bahwa sensor mampu memberikan hasil pembacaan yang sangat dekat dengan jarak acuan pada sebagian besar titik pengujian. Secara keseluruhan, hasil ini menggambarkan bahwa sensor bekerja konsisten dan memiliki performa pembacaan yang baik pada uji fungsi yang dilakukan.

Tabel 2. Data Pengujian pada Motor Servo

No	Sudut Buka	Sudut tutup	Keterangan
1	45	45	Sesuai
2	90	90	Sesuai
3	180	180	Sesuai

Motor servo dalam sistem ini berfungsi untuk membuka dan menutup penutup saluran pupuk sesuai dengan sudut yang telah ditentukan. Berdasarkan pengujian pada sudut 45°, 90°, dan 180°, seluruh pergerakan servo dinyatakan "Sesuai", yang menunjukkan bahwa servo dapat merespons perintah dari sistem dengan akurat. Kinerja ini menunjukkan bahwa motor servo beroperasi dengan stabil dan presisi, yang sangat penting untuk memastikan bahwa pupuk hanya dikeluarkan saat alat mendeteksi keberadaan pot. Kinerja yang baik ini berkontribusi pada efisiensi pemupukan dan mengurangi pemborosan pupuk. Namun pada saat uji coba alat pada tanaman motor servo hanya menggunakan sudut 45°. Pengujian motor DC bersama *driver* L298N dilakukan untuk memastikan bahwa motor mampu merespons perintah dari mikrokontroler secara stabil, termasuk perubahan arah putaran, kecepatan, serta durasi kerja sesuai sinyal kendali yang diberikan. Melalui program pengujian, diamati bahwa motor dapat menerima dan mengeksekusi perintah dengan baik, yang menunjukkan bahwa L298N berfungsi normal sebagai penguat arus dan pengendali arah putaran motor.

Tabel 3. Data Uji Fungsi Motor

No	Logika	L298N	Motor DC
1	High	On	On
2	Low	Off	Off

Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor DC mampu mengikuti perintah logika yang diberikan mikrokontroler melalui *driver* L298N. Saat mikrokontroler mengirimkan logika *HIGH*, L298N mengaktifkan kanal keluarannya sehingga motor DC menyala dan berputar. Sebaliknya, ketika logika *LOW* diberikan, L298N memutus keluaran dan motor berhenti sepenuhnya. Respons motor selaras dengan perubahan sinyal yang diberikan, baik pada kondisi *ON* maupun *OFF*, sehingga dapat dipastikan bahwa rangkaian kendali sudah berfungsi dengan benar dan motor DC dapat bekerja sesuai instruksi yang diprogramkan.

Hasil Uji Kinerja Alat

Pengujian jumlah pupuk yang keluar dilakukan untuk mengetahui bagaimana respons mekanis alat ketika motor DC dan servo diaktifkan sesuai durasi yang telah ditetapkan. Pengujian ini tidak bertujuan untuk memperoleh takaran pupuk yang presisi, melainkan untuk melihat pola keluaran pupuk dari mekanisme putaran motor dan bukaan servo pada setiap percobaan. Melalui pengamatan ini, dapat diketahui apakah mekanisme penyaluran pupuk bekerja konsisten dalam menjalankan instruksi waktu operasional yang diberikan. Hasil pengujian tersebut disajikan dalam tabel berikut sebagai gambaran performa awal alat pada kondisi uji fungsi.

Tabel 4. Data Jumlah Pupuk yang Keluar.

No	Jumlah pupuk yang keluar
1	5.78
2	6.05
3	6.42
4	6.88
5	7.12
6	7.31
7	6.67
8	7.54
9	5.93
10	7.21
Rata rata	6.69

Berdasarkan hasil pengujian jumlah pupuk yang keluar selama sepuluh kali percobaan, nilai keluaran pupuk menunjukkan variasi yang berada pada kisaran 0,622gram. Rata-rata jumlah pupuk yang dihasilkan sebesar 6,69 gram, dengan fluktuasi yang masih wajar untuk mekanisme yang mengandalkan durasi putaran motor dan bukaan servo tanpa sensor pengukur massa. Variasi ini terjadi sebagai akibat dari sifat aliran pupuk yang tidak sepenuhnya stabil secara mekanis, seperti perubahan posisi butiran, gesekan antar material, serta kecepatan jatuh pupuk pada setiap percobaan. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme penyaluran pupuk bekerja konsisten dalam menjalankan instruksi durasi kerja, meskipun jumlah pastinya tidak dikontrol secara presisi.

Motor DC pada alat ini berfungsi untuk menggerakkan baling-baling yang akan berputar mendorong pupuk menuju pot. Nilai PWM memiliki rentang 0–255 untuk menentukan tingkat kecepatan putaran motor (Fauzan Azim, 2024). Dalam sistem ini, *driver motor* L298N menerima sinyal PWM dari ESP32 dan mengatur tegangan masuk ke motor DC sesuai nilai tersebut. Semakin besar nilai PWM, semakin cepat motor berputar, sehingga semakin besar pula daya dorong pupuk yang dihasilkan. Pengujian dilakukan dalam dua kali pengulangan dengan dua variasi kecepatan PWM, yaitu 145 dan 165. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas kecepatan motor dalam mengarahkan pupuk secara tepat ke dalam pot pada berbagai jarak.

Tabel 5. Uji Kinerja Motor DC

Kecepatan PWM	Pot	Jarak Pot (cm)	Ketepatan masuk
145	1	8	Berhasil
	2	10	Berhasil
	3	13	Tidak Berhasil
	4	15	Berhasil
	5	17	Berhasil
165	1	15	Kurang Akurat
	2	17	Berhasil
	3	19	Berhasil

4	20	Berhasil
5	22	Berhasil

Pada kecepatan PWM 145 pupuk berhasil masuk ke pot yang berada pada jarak 8 cm dan 10 cm (pot 1 dan pot 2). Namun, Pada pot 3 (13 cm) terjadi gagal karena sensor membaca objek (pot) lebih awal sehingga pelepasan pupuk terjadi sebelum nozzle sejajar dengan mulut pot. Akibatnya, lintasan jatuh tidak tepat dan pupuk tidak masuk. Pada pot 4 (15 cm) kembali berhasil. Hasil ini menunjukkan pada kecepatan 145, daya lontar cukup untuk jarak dekat–sedang, tetapi waktu pemicuan oleh sensor sangat menentukan. PWM 165 pupuk berhasil pada pot 2 (17 cm), pot 3 (19 cm) dan pot 4 (20 cm). Pot 1 (15 cm) tercatat kurang akurat, karena lontaran yang lebih kuat membuat sebaran pupuk melebar sehingga sebagian tercecer di luar pot. Artinya, kecepatan lebih tinggi meningkatkan capaian jarak, tetapi dapat mengurangi presisi pada jarak yang lebih pendek. Salah satu faktor tambahan yang memengaruhi keberhasilan pemupukan adalah bentuk dan posisi pot. Ketidakakuratan pada pot 3, baik pada kecepatan 165, disinyalir disebabkan oleh bentuk pot yang tidak datar. Permukaan pot yang melengkung atau tidak sejajar dengan arah lontaran pupuk dapat menyebabkan pupuk menyimpang dari sasaran, meskipun arah dorongan motor telah sesuai.

Tabel 6. Data Uji Kinerja Sensor Ultrasonik

Pengulangan	Pot	Jarak Pot (cm)	Status Pembacaan
Pertama	1	8	Berhasil
	2	10	Berhasil
	3	13	Tidak Akurat
	4	15	Berhasil
	5	17	Berhasil
Ke 2	1	15	Berhasil
	2	17	Berhasil
	3	19	Berhasil
	4	20	Berhasil
	5	22	Berhasil

Sensor HC-SR04 berfungsi sebagai alat deteksi keberadaan pot berdasarkan pengukuran jarak. Frekuensi kerja sensor ultrasonik HC-SR04 berada di daerah atas gelombang suara dari 40KHz – 400KHz. Prinsip kerja Sensor ultrasonik HC-SR04 adalah transmitter memancarkan seberkas sinyal ultrasonik yang berbentuk pulsa, kemudian jika didepan HC-SR04 terdapat objek padat maka receiver akan menerima pantulan sinyal ultrasonik tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor ini dapat mendeteksi pot dengan baik dalam rentang 7–20 cm. Namun, terdapat beberapa kasus di mana pembacaan sensor menunjukkan hasil “Tidak Akurat”, seperti pada pot 3 (13 cm) saat proses pengukuran. Ketidakakuratan ini kemungkinan besar disebabkan oleh ketidakrataan permukaan pot, yang mengakibatkan gelombang ultrasonik tidak dapat memantul kembali secara optimal ke sensor. Hal ini merupakan hal yang wajar, mengingat sensor ultrasonik sangat bergantung pada permukaan objek yang datar dan tegak lurus terhadap arah sensor agar pantulan dapat diterima dengan baik. Menurut (Putra et al., 2024). Pada permukaan yang tidak rata Sensor HCSR cenderung menghasilkan hasil yang lebih bervariasi dibandingkan dengan permukaan yang rata seperti tembok. Permukaan yang dinamis dan tidak rata menyebabkan pantulan gelombang ultrasonik yang tidak teratur, sehingga mempengaruhi hasil pengukuran. Pengujian kinerja alat pemupuk otomatis dilakukan sebanyak dua kali pengulangan dengan jumlah pot uji pada setiap pengulangan sebanyak lima pot. Pengulangan pertama dilakukan pada kecepatan 145 PWM, sedangkan pengulangan kedua dilakukan pada kecepatan 165 PWM.

Tabel 7. Data Uji Kinerja Alat

Ulangan	Kecepatan PWM	Pot	Jarak	Keterangan
1	145	1	8	Berhasil
		2	10	Berhasil

		3	13	Tidak
		4	15	berhasil
		5	17	Berhasil
2	165	1	15	Kurang akurat
		2	17	Berhasil
		3	19	Berhasil
		4	20	Berhasil
		5	22	Berhasil

Berdasarkan pengujian dua kali pengulangan dengan masing-masing lima pot, persentase keberhasilan alat pemupuk otomatis mencapai 80% pada kedua pengulangan. Dari total 5 pot yang diuji 2 kali, delapan pot berhasil terpupuk dengan tepat, sedangkan dua pot mengalami ketidaktepatan akibat pembacaan sensor dan sinkronisasi aktuator.

KESIMPULAN

Alat berhasil dirancang dan dibangun dengan sistem otomatisasi menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor ultrasonik HC-SR04, motor DC gearbox, motor servo, dan *driver motor* L298N. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pupuk yang dikeluarkan alat $\pm 0,62g$ dan mampu melakukan pemupukan dengan presentase keberhasilan 80%. Ketidaktepatan pada pot yang tidak rata atau melengkung muncul karena kondisi tersebut sengaja digunakan untuk menguji batas akurasi sensor ultrasonik, sekaligus merepresentasikan kondisi nyata di lapangan dimana polybag sering tidak seragam bentuk dan kekokohnya. Saran untuk penelitian berikutnya adalah menggunakan pot berbentuk datar dan rata serta mempertimbangkan penggunaan sensor jarak dengan akurasi lebih tinggi, yang lebih stabil dalam membaca objek berpermukaan melengkung atau tidak rata. Dengan sensor tersebut, deteksi pot dapat menjadi lebih konsisten sehingga mekanisme pemupukan dapat berjalan lebih tepat sasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansyari, F. (2022). Pemberian pupuk kompos terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kangkung darat (*Ipomea Reptans Poir*) sebagai pencegahan stunting. *Agrifor: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Kehutanan*, 21(1), 129-140.
- Aqiqah, A. H. (2024). Monitoring Pengendalian Kecepatan Motor DC. *Jurnal Eksitasi DTE-UH (JE-DTE-UH)*, 3 (2), 19-21.
- Asshiddiq, A. M., Ansar, A., & De Side, G. N. (2025). Pengembangan Alat Penanaman Benih Jagung Dan Pemupukan Dalam Satu Unit. *Jurnal Agritechno*, 68-79.
- Azim, F. (2024). Implementasi Kendali Pid Pada Kecepatan Motor Dc Sebagai Media Pembelajaran Berbasis Arduino Dan Labview. *Jtece Journal Of Telecommunication, Electronics And Control Engineering*, 6(2).
- Candra, T. Y. (2020). Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah Berbeban dengan Teknik Kontrol PWM Berbasis Arduino. *Jtev (Jurnal Teknik Elektro DanVokasional)*, 06 (01), 199–210. doi:<https://doi.org/https://doi.org/10.24036/jtev.v6i1.107877>
- Ermawan, D., Umi Fadlilah, S. T. (2022). Prototipe Alat Penabur Pupuk Otomatis di Areal Pertanian (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Fahmi, A., Saragih, Y., Sirait, W., Suroyo. (2022). Prototipe Atap Stadion Otomatis Berbasis Iot (Internet Of Thing) Dengan Aplikasi Blynk. *Jurnal Teknovasi*, 9(2), 93–100.

- Fauzan Azim, A. U. (2024). Implementation of PID Control on DC Motor Speed as Learning Media Based on Arduino and LabVIEW. *Journal Of Telecommunication, Electronics, And Control Engineering (JTECE)*, 139-151.
- Hakim, T. D., Alamsyah, N. (2023). Analisis Sistem Proteksi Penangkal Petir Eksternal Dengan Metode Bola Bergulir Pada Gedung Sopo Del Tower A Dan B-Jakarta Selatan. *Jurnal Elektro*, 11(1), 1.
- Iskandar, A. (2016). Optimalisasi Sekam Padi Bekas Ayam Petelur Terhadap Produktivitas Tanaman Kangkung Darat (*Ipomoea reptans*). 1(3), 245–252.
- Khasanah, U. N. (2024). Rancang Bangun Alat Ukur Volume Zat Cair Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04. *Journal of Science Nusantara*, 4(1), 1–6.
- Margareta, L. D., Munaldi. (2024). HTTPS Dibandingkan HTTP dalam Pengambilan Data Login Melalui Metode "Packet Sniffing." *Buletin Ilmiah Ilmu Komputer Dan Multimedia*, 2(4), 735–738. <https://doi.org/https://jurnalmahasiswa.com/index.php/biikma>
- Marian, P. 2022. Hc-sr04 Datasheet. <https://www.electroschematics.com/hc-sr04-datasheet/>
- Putra, R. A., Fatoni, G. A., Rifai, M. H., Ahsani, E. W., Danendra, R. D. (2024). Validasi Akurasi Pengukuran Terhadap Benda Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis NodeMCU 8266. *Mars: Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 2(3), 188–195. <https://doi.org/https://doi.org/10.61132/mars.v2i3.187>
- Rofiansyah, W., Zalianty, F. R., La Ito, F. A., Wijayanto, I., Ryanu, H. H., Irawati, I. D. (2025). IoT-based control and monitoring system for hydroponic plant growth using image processing and mobile applications. *PeerJ Computer Science*, 11, e2763.
- Safitri, E., Basriati, S., Soleh, M., Yulanda, R. (2023). Optimasi Biaya Pemupukan Tanaman pada Kelompok Tani Rambahan Sakato, Desa Nyiur Melambai Pelangai menggunakan Metode Kuhn Tucker. *KUBIK: Jurnal Publikasi Ilmiah Matematika*, 8(1), 1-11.
- Widodo, A. (2025). Prototipe Agretech berbasis Internet of Things (IoT) untuk Peningkatan Efisiensi dan Produktifitas Pertanian Modern. *Jurnal Sistem Komputer Dan Kecerdasan Buatan*, 8, 259–268.
- Yulyawan, E. K., Baihaqi, M. A., Misdiyanto, Prasetyo, D. H. T. (2022). Studi Peningkatan Unjuk Kerja Motor Dc Dengan Penggulungan Ulang Metode Memusat. *Electrices*, 4(1), 24–29.