

RANCANG BANGUN ROBOT PEMOTONG RUMPUT MENGGUNAKAN WIRELESS KONTROLER DAN SOLAR CELL BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

Oleh:

Bintang Kesaktian Sang Nararya¹⁾, Didik Notosudjono²⁾, Agustini Rodiah Machdi³⁾

ABSTRAK

Proses pemotongan rumput yang masih bergantung pada pekerja manusia atau mesin konvensional memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Oleh karena itu, dalam era teknologi yang terus berkembang, ada potensi untuk mencari alternatif yang lebih efisien dalam pemeliharaan rumput. Dalam era perkembangan teknologi yang cepat, sistem *Internet of Things* telah menjadi model inovatif yang mengubah cara kita berinteraksi dengan lingkungan di berbagai sektor. Alat yang sangat relevan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah robot pemotong rumput menggunakan *wireless* kontroler dan *solar cell* berbasis IoT. Tujuan perancangan ini adalah mengembangkan robot pemotong rumput yang bisa terhubung secara nirkabel ke jaringan IoT untuk pengontrolan jarak jauh serta mengintegrasikan *solar cell* ke dalam robot pemotong rumput sehingga robot dapat menghasilkan dan menyimpan energi matahari dengan efisiensi tinggi. Pada saat pemotongan rumput pada lokasi tidak ada bebatuan, robot pemotong rumput dapat bekerja dengan baik dan berhasil melakukan pemotongan rumput karena rumput yang tidak terlalu tinggi dan dapat dijangkau oleh mata potong robot pemotong rumput untuk melakukan pemotongan rumput. Sedangkan pada lokasi yang sedikit berbatu, rumput masih dapat terpotong karena robot pemotong menggunakan mata potong dengan senar nylon yang masih efektif untuk memotong rumput dengan kondisi sedikit berbatu. Robot dapat dikendalikan pergerakannya oleh *smartphone* dengan maksimal jarak ± 50 meter. Daya paling tinggi yang dihasilkan panel surya yaitu pada hari pertama sebesar 11,28 Watt, dan daya paling rendah yang dihasilkan panel surya yaitu pada hari kedua sebesar 3,39 Watt. Didapatkan efisiensi sesaat dari pada panel surya yaitu 11,28%.

Kata Kunci : *Solar Cell, Robot, Pemotong Rumput, Internet of Things, Smartphone*

ABSTRACT

Lawn mowing processes that still rely on human workers or conventional machines have several disadvantages that need to be considered. Therefore, in an era of ever-evolving technology, there is potential to find more efficient alternatives in lawn maintenance. In the era of rapid technological development, the Internet of Things system has become an innovative model that changes the way we interact with the environment in various sectors. A very relevant tool to overcome these problems is a robot lawn mower using wireless controllers and solar cells based on IoT. The purpose of this design is to develop a robot lawn mower that can connect wirelessly to the IoT network for remote control and integrate solar cells into the robot lawn mower so that the robot can generate and store solar energy with high efficiency. When mowing the grass at a location where there are no rocks, the robot mower can work well and successfully mow the grass because the grass is not too high and can be reached by the cutting edge of the robot mower to mow the grass. While in a slightly rocky location, the grass can still be cut because the cutting robot uses a cutting edge with a nylon string that is still effective for cutting grass with slightly rocky conditions. The robot can be controlled by a smartphone with a maximum distance of ± 50 meters. The highest power generated by solar panels is on the first day of 11.28 Watts, and the lowest power generated by solar panels is on the second day of 3.39 Watts. The instantaneous efficiency of the solar panel is 11.28%.

Keywords: *Solar Cell, Robot, Lawn Mower, Internet of Things, Smartphone*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemeliharaan area berumput yang meliputi taman, lapangan olahraga, dan halaman rumah, memiliki peran penting dalam menjaga keindahan dan kualitas lingkungan sekitar. Salah satu aspek yang tak dapat diabaikan dalam pemeliharaan ini adalah pemotongan rumput secara teratur. Pemotongan ini tidak hanya memberikan tampilan yang rapi dan indah, tetapi juga menghindarkan pertumbuhan rumput liar yang dapat mengganggu estetika serta fungsi area tersebut. Namun, metode pemotongan rumput konvensional yang masih banyak digunakan, seperti mesin pemotong yang dioperasikan secara manual atau dengan tenaga manusia, seringkali menjadi tugas yang memakan waktu dan menguras tenaga. Proses pemotongan rumput yang masih bergantung pada pekerja manusia atau mesin konvensional memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Pertama, pekerjaan manual ini menghabiskan waktu yang cukup lama terutama jika daerah yang harus dipotong cukup luas. Kedua, pemotongan rumput secara manual atau dengan mesin gendong seringkali melelahkan dan membebani pekerja fisik, yang dapat mengakibatkan kelelahan, cedera, atau ketidaknyamanan [1].

Pada Rancang Bangun Robot Pemotong Rumput Menggunakan *Wireless* Kontroler Dan *Solar Cell* Berbasis *Internet of Things*, dilakukan perancangan sebuah alat yang sangat relevan untuk mengatasi permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya. Alat yang akan dikembangkan adalah robot pemotong rumput menggunakan *wireless* kontroler dan *solar cell* berbasis IoT. Integrasi IoT dalam alat ini untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh melalui perangkat pintar seperti *smartphone* atau tablet. Pengguna dapat dengan mudah mengontrol robot sesuai kebutuhan, tanpa harus berada di dekatnya. Selain itu, penambahan *solar cell* pada robot dengan penggunaan sumber energi matahari yang terbarukan untuk mengisi daya robot. Ini akan mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional, membuat operasional robot lebih ekonomis dan ramah lingkungan. *Solar cell* berperan dalam memberikan daya kepada beban,

dengan bantuan arus dari baterai untuk menjaga keluaran daya yang diproduksi oleh panel surya serta baterai tetap stabil dan kecepatan motor yang dihasilkan oleh sistem bisa memotong rumput dengan efisien. Dengan penggunaan solar cell, diharapkan robot dapat beroperasi dengan waktu yang lebih lama tanpa perlu sering diisi ulang. Dengan perancangan alat ini, diharapkan permasalahan terkait pemeliharaan rumput yang melibatkan waktu dan tenaga manusia dapat diatasi secara efektif. Penggunaan teknologi ini juga akan memberikan solusi inovatif dalam pemeliharaan area berumput yang lebih efisien, menghemat waktu, dan memiliki dampak positif pada pelestarian lingkungan [2].

II. DASAR TEORI

2.1 Solar Cell (Sel Surya)

Modul pengubah energi surya menjadi energi listrik merupakan sel surya. Teknologi photovoltaic memungkinkan konversi langsung dari radiasi matahari ke listrik. Umumnya, PV disatukan dalam unit yang dikenal sebagai modul. Modul surya berisi rangkaian sel surya yang dapat tersusun seri atau paralel. Sel surya yang merupakan semi konduktor, mengkonversi energi matahari menjadi listrik berdasarkan efek photovoltaic. Karena berkurangnya sumber energi fosil dan masalah pemanasan global, popularitas sel surya semakin meningkat. Kelebihannya, energi yang diproduksi biayanya rendah sebab sumbernya yaitu matahari dapat diperoleh tanpa biaya [3].

2.2 Efisiensi Panel Surya

Efisiensi panel surya adalah seberapa efektifnya panel surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Faktanya, kinerja panel surya juga terbatas oleh beberapa faktor negatif seperti refleksi, cahaya berlebihan, debu, hambatan dalam sambungan seri atau paralel, dan perubahan suhu. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya yang dinyatakan dalam efisiensi. Persamaan 1 menunjukkan cara menghitung efisiensi dari panel surya. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada saat pengambilan data [4].

$$\eta = \frac{P}{E x A} x 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- P = Daya keluaran maksimal dari sel surya (Watt)
- E = 1000 Watt/m² (Standar rata-rata radiasi sinar matahari)
- A = Luas permukaan yang menerima radiasi (m²)
- η = Efisiensi panel surya (%)

2.3 Perhitungan Kebutuhan Jumlah Panel Surya

Dalam menentukan jumlah modul panel surya yang digunakan, hal yang harus dilakukan pertama adalah menentukan lama waktu radiasi, dengan menggunakan persamaan 2 [5]:

$$t_r = \frac{\text{radiasi total harian } (\frac{wh}{m^2})}{\text{intensitas radiasi modul surya } (\frac{w}{m^2})} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- t_r = Lama waktu radiasi
- Radiasi total harian = 4.760 Wh/m²
- Intensitas Radiasi = 1.000 W/m²

Setelah diketahui waktu radiasi matahari, kemudian dilakukan perhitungan energi listrik rata-rata yang dihasilkan oleh modul surya. Adapun energi yang dihasilkan oleh modul panel surya dapat dihitung dengan persamaan 3 [5]:

$$E_{\text{modul}} = P_N \times t_r \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- E_{modul} = Energi listrik rata-rata setiap modul (Wh)
- P_N = Kapasitas panel surya (Wp)
- t_r = Lama waktu radiasi (Jam)

Setelah itu menentukan jumlah modul surya yang digunakan, yaitu dengan menggunakan regenerasi baterai (pengisian baterai saat tanpa beban). Adapun untuk menghitung jumlah modul panel surya dengan menggunakan persamaan 4 [5]:

$$\text{Jumlah modul surya} = \frac{E_{\text{total}} \times t_{\text{otonomi}}}{E_{\text{modul}} \times t_{\text{regenerasi}}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- E_{total} = Total beban (Watt)
 - T_{otonomi} = Kemampuan mensuplai beban tanpa ada cahaya matahari (Jam)
 - E_{modul} = Energi listrik rata-rata setiap modul (Wh)
 - t_{regenerasi} = Waktu penyinaran matahari (Jam)
- Diasumsikan bahwa waktu yang diperlukan

sistem untuk mengisi ulang baterai (pengisian baterai saat tidak ada beban) adalah satu hari [5].

2.4 Baterai

Dalam sistem energi surya, fungsi baterai adalah menyuplai daya listrik ke sistem saat panel surya tidak aktif atau tidak menerima sinar matahari. Baterai juga berperan sebagai media penyimpanan daya tambahan yang dihasilkan oleh panel surya saat produksi daya melebihi kebutuhan beban. Jika tidak ada sinar matahari, baterai menyediakan daya listrik sesuai dengan kebutuhan [5].

Kemampuan pada baterai ditentukan dari kapasitasnya yang dihitung dalam satuan Ah dengan persamaan 5 di bawah ini [5]:

$$Ah = I \times t \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- Ah = Kapasitas baterai (Ampere-hour)
- I = Kuat arus (Ampere)
- t = Waktu (Jam/detik)

2.5 Perhitungan Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai yang dipakai pada rancangan sistem PLTS harus diperhitungkan dengan baik. Dalam perhitungan kapasitas baterai, langkah pertama adalah menghitung muatan baterai, yang dapat ditentukan menggunakan persamaan 6 [5].

$$Q_{\text{baterai}} (Ah) = \frac{Wh}{V_{op}} = Ah \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- Q_{baterai} = Muatan baterai (Ah)
- V_{op} = Tegangan operasi baterai (Volt)
- Wh = Kebutuhan energi listrik per hari (Wh)

Setelah mengetahui muatan baterai, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan kapasitas baterai. Persamaan 7 dapat digunakan untuk menentukan kapasitas baterai [5].

$$C_{\text{baterai}} (Ah) = Q_{\text{baterai}} \frac{t_{\text{otonomi}}}{DOD \text{ baterai}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

- Q_{baterai} = Muatan baterai (Ah)
- C_{baterai} = Kapasitas baterai (Ah)
- t_{otonomi} = Kemampuan mensuplai beban tanpa ada cahaya matahari (Jam)
- DOD = Tingkat pengosongan baterai (%)

Tingkat penggunaan atau kedalaman pemakaian baterai DoD yang umumnya digunakan adalah

sekitar 75%. Untuk memperkirakan waktu yang diperlukan agar baterai berkapasitas 7,5 Ah dengan tegangan 12 VDC terisi penuh, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 [5].

$$Estimasi\ charge = \frac{Kapasitas\ baterai}{Efisiensi\ x\ arus\ panel} \dots\dots\dots(8)$$

Seiring penggunaan baterai untuk menyediakan daya ke beban, kapasitas energi di dalam baterai akan berkurang. Oleh karena itu, untuk menentukan durasi proses *discharge*, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9 [5].

$$Discharge = \frac{Kapasitas\ baterai\ x\ V_{baterai}}{Efisiensi\ x\ beban} \dots\dots\dots(9)$$

2.6 Solar Charge Controller

Dalam mengontrol arus listrik searah yang bergerak masuk dan keluar baterai, dibutuhkan sebuah SCC yang berfungsi sebagai alat elektronik utamanya. Tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi sistem dan memperpanjang durabilitas baterai. Dengan alat ini, *overcharging* serta kelebihan tegangan dari panel surya dapat dicegah. Baterai akan memiliki risiko usia yang lebih pendek jika mengalami *overcharging* [6].

2.7 Motor DC

Motor DC merupakan perangkat yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor DC disebut juga sebagai motor arus searah. Untuk berfungsi, motor ini membutuhkan tegangan DC yang dihubungkan ke dua terminalnya. Kinerjanya diukur dalam putaran per menit atau RPM. Bentuk umum persamaan 10, 11, dan 12 merupakan persamaan tegangan pada motor DC [7].

$$V_t = E_b + I_a \times R_a \dots\dots\dots(10)$$

$$E_b = K \times n \times \phi \dots\dots\dots(11)$$

$$V_f = I_f \times R_f = V_t \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan:

- V_t = Tegangan terminal (Volt)
- E_b = EMF (GGL) lawan (Volt)
- I_a = Arus jangkar (Ampere)
- R_a = Tahanan jangkar (Ohm)
- K = Konstanta motor
- n = Kecepatan motor (RPM)
- ϕ = Fluks pada magnet
- V_f = Tegangan penguat (Volt)
- I_f = Arus medan (Ampere)
- R_f = Tahanan medan (Ohm)

Untuk kecepatan putaran motor DC dapat ditentukan menggunakan persamaan 13 [7].

$$n = \frac{V_t - I_a \times R_a}{K \phi} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan:

- n = Kecepatan motor (RPM)
- V_t = Tegangan terminal (Volt)
- I_a = Arus jangkar (Ampere)
- R_a = Tahanan jangkar (Ohm)
- K = Konstanta motor
- ϕ = Fluks pada magnet

2.8 Gearbox Motor DC

Gearbox motor DC berfungsi untuk mengatur torsi dan kecepatan motor melalui serangkaian roda gigi yang terletak di dalamnya. Melalui mekanisme roda gigi, *gearbox* mampu menyesuaikan output motor sesuai kebutuhan, biasanya untuk meningkatkan torsi sambil menurunkan kecepatannya. *Gearbox* motor DC ini bisa berjalan pada kisaran tegangan 3V sampai 12V. *Gearbox* tidak hanya berfungsi untuk meningkatkan torsi tapi juga menurunkan kecepatan motor [8].

2.9 L298N Motor Driver

Modul pengendali motor DC L298N merupakan komponen yang paling sering digunakan dan memiliki peran penting dalam mengontrol arah dan kecepatan putaran motor. Keunggulan dari modul ini terletak pada akurasi pengendalian motor, yang membuat pengendalian motor menjadi lebih mudah. Dengan mengontrol level *high* pada PWM yang diberikan mikrokontroler, kecepatan motor bisa dikendalikan melalui pin *enable* [9].

2.10 ESP32 DevKit v1

ESP32 yang dirilis pada tahun 2016, merupakan mikrokontroler *System on a Chip* (SoC) dengan gabungan BLE, WiFi, dan beragam *peripheral*. Mikroprosesor 32 bit Xtensa LX6 dual-core terdapat dalam *chip* ini. Data dan instruksi memiliki ruang alamat sebesar 4 GB, sementara 512 kB merupakan kapasitas ruang alamat yang dimiliki *peripheral*. Memori memiliki komposisi 448 kB ROM, 520 kB SRAM, dua slot RTC *memory* dengan kapasitas 8kB, beserta *flash memory* yang berkapasitas 4 MB. Terdapat 18 pin ADC 12-bit, ditambah dengan empat SPI dengan dua I2C di dalam *chip*. Keistimewaan dari

mikrokontroler ini yaitu cara pemrograman yang mudah, jumlah I/O yang memadai, serta hadirnya WiFi bagian dalam untuk akses internet [10].

2.11 Sensor Ultrasonik HC-SR04

Sensor ini memiliki fungsi sebagai pengukur jarak antara sensor dengan penghalang, memiliki kemampuan mengukur dalam rentang mulai dari 2 cm hingga 4 m. Bagian utama dari sensor ultrasonik HC-SR04 meliputi bagian pengirim (*transmitter*) dan bagian penerima (*receiver*) ultrasonik. Tugas pengirim dalam sensor ultrasonik adalah untuk menghasilkan gelombang ultrasonik pada frekuensi 40 kHz, sedangkan tugas penerima pada sensor ini adalah mendeteksi pantulan gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh objek tertentu [11].

2.12 Sensor Tegangan

Sensor ini adalah sebuah modul konversi tegangan DC yang berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan, mampu mengukur tegangan hingga 25 Volt. Modul ini memiliki presisi pengukuran sebesar 0,00489 Volt dan memiliki dimensi sekitar 25 x 13 mm [12].

2.13 Sensor INA219

Sensor INA219 merupakan komponen yang dilengkapi dengan kemampuan pengukuran untuk melacak sumber beban hingga 26 VDC dan arus hingga 3,2 Ampere. Modul ini mampu mengukur daya hingga lebih dari 75 watt. INA219 merupakan sensor yang memungkinkan dapat memonitoring tegangan dan arus dalam sebuah rangkaian listrik. Modul ini menggunakan antarmuka I2C atau SMBUS-COMPATIBLE yang memungkinkan pemantauan tegangan shunt dan pasokan tegangan bus, dilengkapi dengan konversi waktu program dan penyaringan (*filtering*) [13].

2.14 LM2596 Step Down

LM2596 merupakan sebuah modul *step down* yang berperan menjadi *step down* DC konverter dengan *current rating* 3A. *Buck converter* atau konverter DC-DC merupakan suatu rangkaian elektronika daya yang bertugas mengubah tegangan searah tetap menjadi tegangan searah yang dapat diubah-ubah tergantung pada perubahan siklus tugas pada rangkaian kontrolnya. Salah satu keunggulan dari LM2596 adalah kemampuannya menjaga tegangan

keluaran tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan masukan [14].

2.15 Relay

Relay adalah elemen elektronika yang berfungsi sebagai saklar listrik, yang diaktifkan melalui sumber listrik. Komponen ini dapat diatur melalui sistem elektronik lain dengan tenaga listrik sebagai sumber dayanya. Ketika kumparan (induktor) mendapat aliran listrik, akan timbul induksi magnet yang menyebabkan kontaktor tertutup (aktif) atau terbuka (non-aktif). NO (*Normally Open*) menunjukkan kondisi awal kontaktor dalam keadaan terbuka, sementara NC (*Normally Closed*) mengindikasikan kondisi awalnya dalam keadaan tertutup [15].

2.16 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah sebuah perangkat elektronik yang digunakan untuk menampilkan informasi atau pesan yang diberikan oleh mikrokontroler. LCD bekerja berdasarkan prinsip bahwa saat arus listrik diberikan kepada molekul kristal cair, molekul tersebut akan mengalami perubahan orientasi. Hal ini mengakibatkan perubahan pada sudut polarisasi cahaya yang melintasi molekul tersebut. Sebagai hasilnya, hanya sejumlah kecil cahaya yang dapat melewati bagian terpolarisasi kaca di area tertentu pada LCD [16].

2.17 *Internet of Things (IoT)*

Internet of Things atau biasa disingkat IoT, merupakan suatu ide untuk memperlebar keuntungan dari ketersediaan koneksi internet yang konstan tersedia. Gagasan di balik ini adalah memungkinkan mesin-mesin menghimpun data, mengendalikan tugas-tugasnya, berinteraksi, dan melakukan tindakan sesuai informasi otomatis yang didapatkan. Komponen IoT dilengkapi dengan sensor untuk pengambilan data, koneksi internet untuk berkomunikasi, serta server yang menjadi pusat penyimpanan dan analisis informasi yang diperoleh dari sensor [17].

2.18 Arduino IDE

Arduino IDE adalah sebuah *software* yang dapat dipergunakan untuk menulis, mengkompilasi, dan mentransfer program ke papan arduino. *Integrated Development Environment* yaitu kepanjangan dari IDE. "*Sketch*" adalah istilah untuk program yang dibuat melalui arduino IDE.

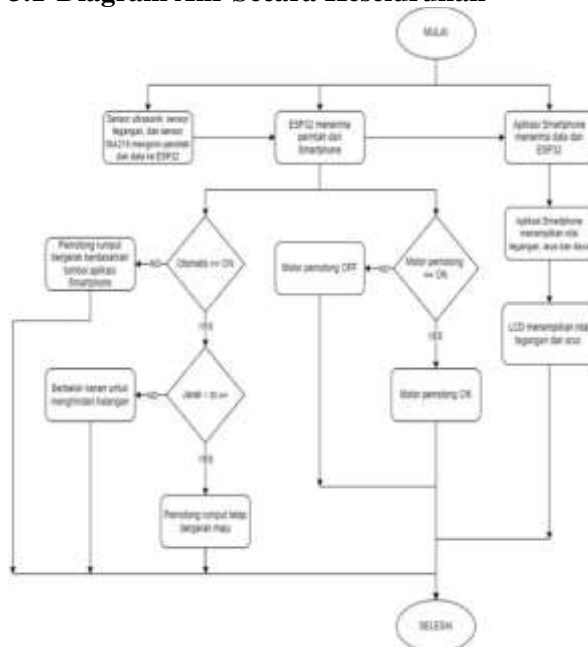
Sketch dikelola melalui editor teks dan disimpan dalam format file berekstensi .ino [18].

2.19 Firebase

Firestore adalah suatu platform yang memungkinkan aplikasi untuk beroperasi secara real-time. Ketika terjadi perubahan data, aplikasi yang terhubung dengan Firestore secara otomatis akan meng-update langsung pada setiap perangkat yang terhubung, baik itu melalui website maupun aplikasi mobile [19].

III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Diagram Alir Secara Keseluruhan



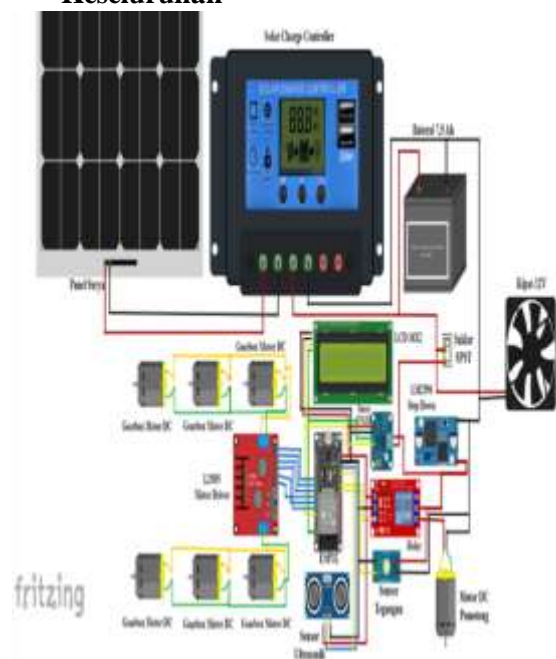
Gambar 1. Diagram Alir Robot Pemotong Rumput Menggunakan Wireless Kontroler dan Solar Cell Berbasis Internet of Things (IoT)

Dari diagram alir secara keseluruhan sistem alat ini pada gambar 1, dapat dijelaskan bahwa robot pemotong rumput bergerak dengan pengontrolan otomatis dan pengontrolan manual. Pada saat pengontrolan otomatis, robot bergerak sesuai arahan dari sensor ultrasonik, apabila sensor ultrasonik tidak mendeteksi adanya halangan, maka robot akan bergerak maju. Namun apabila terdapat halangan yang di mana jarak halangan dengan robot dalam rentang 0-30 cm, maka robot akan menghindari halangan tersebut. Pengendalian otomatis dan manual ini dikontrol melalui aplikasi *smartphone*, sehingga apabila pada aplikasi *smartphone* pengontrolan otomatis

diaktifkan, maka robot akan bergerak secara otomatis, dan apabila pengontrolan otomatis dimatikan, maka robot akan bergerak secara manual. Pada saat pengontrolan manual, robot akan bergerak apabila aplikasi pada *smartphone* mengirimkan perintah, perintah tersebut berupa anak panah yang menunjukkan arah atas untuk maju, bawah untuk mundur, kiri untuk berbelok ke kiri, kanan untuk berbelok ke kanan, dan tombol tengah untuk berhenti.

Motor DC yang digunakan sebagai pemotong rumput akan menyala apabila diberikan perintah untuk menyala, yang di mana perintah tersebut terdapat pada aplikasi *smartphone* yaitu sebuah tombol untuk menyalakan dan mematikan. Selain mengirim perintah, aplikasi kontrol pada *smartphone* juga digunakan untuk menerima data sensor yang berasal dari ESP32, yang di mana data tersebut merupakan data pembacaan tegangan dan arus pada sensor yang terhubung di ESP32. Data tersebut dikirim ESP32 ke server dan dibaca oleh *smartphone* sehingga nilai yang terbaca pada sensor dapat ditampilkan pada *smartphone*. Selain ditampilkan pada *smartphone*, nilai tersebut ditampilkan juga pada LCD I2C yang terpasang pada robot pemotong rumput ini.

3.2 Perancangan Rangkaian Secara Keseluruhan



Gambar 2. Perancangan Rangkaian Keseluruhan

Robot pemotong rumput bergerak menggunakan 6 motor DC yang mana ke 6 motor ini dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu motor DC bagian kanan dan bagian kiri, keenam motor ini dikendalikan menggunakan L298N motor *driver*. Motor *driver* terhubung dengan ESP32 yang mana ESP32 ini yang akan memberikan perintah kepada motor *driver* untuk menggerakkan keenam motor DC untuk bergerak maju, mundur, kanan ataupun kiri. Selain itu robot pemotong rumput ini menggunakan relay sebagai komponen yang mengontrol hidup atau matinya motor DC pemotong rumput. Selain motor *driver* dan relay, bagian input yang lain adalah LCD I2C yang mana LCD ini digunakan sebagai penampil nilai tegangan dan arus yang ada pada baterai.

Bagian input yang terdapat pada alat ini antara lain yaitu sensor ultrasonik, sensor INA219 dan sensor tegangan. Sensor ultrasonik digunakan sebagai pendeteksi objek pada bagian depan robot yang mana sensor ini akan berjalan apabila robot digunakan pada mode pengontrolan otomatis. Sensor tegangan dan sensor INA219 digunakan untuk membaca nilai tegangan dan nilai arus pada baterai.

Sumber tegangan yang digunakan pada alat ini yaitu berasal dari baterai 12V 7,5Ah yang mana baterai ini terhubung dengan *solar charge controller* dan panel surya 10WP sehingga apabila alat ini digunakan di bawah sinar matahari maka baterai pun akan ikut terisi. Tegangan baterai yang memiliki spesifikasi 12V ini membutuhkan modul penurun tegangan sehingga tegangan baterai tersebut bisa aman pada saat menjalankan ESP32 dan komponen lain, sehingga digunakan modul DC *step down* LM2596 yaitu untuk menurunkan tegangan baterai 12V ke 5V sehingga aman untuk komponen lain.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian dan Analisis Panel Surya

Gambar 3 menampilkan grafik perbandingan daya dari hasil pengujian pada panel surya yang telah dilakukan pada hari pertama dengan cuaca cerah berawan dan pada hari kedua dengan cuaca mendung.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Daya Yang Dihasilkan Panel Surya

Dari hasil pengukuran hari pertama dan hari kedua yang dilakukan pada pukul 10.00 sampai pukul 15.00, daya yang paling tinggi dihasilkan oleh panel surya yaitu pada hari pertama pada pukul 12.30 yaitu sebesar 11,28 Watt, hal ini dikarenakan langit sedang dalam keadaan cerah berawan dan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya tinggi. Dan daya paling rendah yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada hari kedua pada pukul 10.00 yaitu sebesar 3,39 Watt, hal ini dikarenakan langit sedang dalam kondisi mendung sehingga intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya menjadi redup karena tertutup awan.

Dalam kenyataannya kinerja panel surya juga dibatasi oleh beberapa kerugian seperti kerugian refleksi, cahaya berlebih, debu, hambatan seri atau paralel dan suhu. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja dari sel surya yang dinyatakan dalam efisiensi. Dari gambar 4, diketahui daya maksimal yang dihasilkan panel surya dalam dua hari pengujian yaitu 11,28 Watt. Dalam menghitung efisiensi dari panel surya, dapat menggunakan persamaan 1. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data.

$$\eta = \frac{11,28}{1000 \times 0,10} \times 100\%$$

$$\eta = 11,28\%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi panel surya, didapatkan efisiensi sesaat dari panel surya yaitu 11,28%.

4.2 Perhitungan Kapasitas Baterai dan Pengisian Baterai

Tabel 1 menampilkan data beban yang digunakan pada saat pengujian.

Tabel 1. Beban Terpasang Pada Robot Pemotong Rumput

Komponen	Beban (Watt)	t (jam)	Energi (Wh)
ESP32	0,36	2 jam	0,72
L298N Motor Driver	0,36		0,72
Motor DC Gearbox Kiri	10,05		20,10
Motor DC Gearbox Kanan	10,05		20,10
Motor DC Pemotong 12V	9,64		19,28
Kipas 12V	2,42		4,84
Sensor Ultrasonik	0,11		0,22
Sensor Tegangan	0,03		0,06
Sensor INA219	0,13		0,26
LCD	0,11		0,22
Total	33,26 Watt		66,52 Wh

Untuk mengetahui berapa kapasitas baterai yang digunakan untuk menghidupkan beban yang terpasang seperti yang ditampilkan pada tabel 1 dengan penggunaan beban selama 2 jam pada siang hari dengan total kebutuhan energi sebesar 66,52 Wh, perlu dicari muatan baterai dengan menggunakan persamaan 6.

$$Q_{\text{baterai}} = \frac{Wh}{V_{op} \text{ (nominal baterai)}}$$

$$Q_{\text{baterai}} = \frac{66,52}{12}$$

$$Q_{\text{baterai}} = 5,54 \text{ Ah}$$

Dari hasil persamaan 6 diperoleh muatan baterai sebesar 5,54 Ah dengan waktu otonomi 1 hari. Saat menetapkan kapasitas baterai, penting untuk mempertimbangkan dan merencanakan waktu otonomi yang dimiliki oleh baterai. Pada analisis ini, baterai hanya dapat bertahan 1 hari (otonomi 1 hari). Pemakaian daya dalam 1 hari digunakan selama 2 jam, besarnya daya total pada alat yaitu 33,26 Watt. Sedangkan besarnya beban adalah 33,26 x 2 jam sehingga total kebutuhan daya sebesar 66,52 Wh setiap harinya.

Baterai tidak akan dikosongkan sampai habis 100%, tingkat pengurasan baterai atau biasa disebut dengan istilah DoD (*Depth of Discharge*) yang biasanya dipakai yaitu 75%, tidak sampai

dikuras hingga 100% dari kapasitas baterai tersebut. Hal ini dilakukan agar tidak merusak baterai yang akan memperpendek masa pakai baterai. Menentukan kapasitas baterai yang digunakan dapat ditentukan menggunakan persamaan 7.

$$C_{\text{baterai}} = \frac{Q_{\text{baterai}} \times t_{\text{otonomi}}}{DOD \text{ baterai}}$$

$$C_{\text{baterai}} = \frac{5,54 \text{ Ah} \times 24 \text{ jam}}{0,75}$$

$$C_{\text{baterai}} = 177,28 \text{ Ah}$$

Jumlah baterai yang diperlukan untuk mensuplai beban 33,26 Watt dengan ditambah waktu otonomi selama satu hari maka sistem membutuhkan baterai dengan kapasitas 177,28 Ah. Namun pada robot pemotong rumput ini jenis baterai yang dipilih adalah jenis baterai VRLA *deep cycle* 7,5 Ah 12 Volt DC yang berjumlah satu buah.

Lama waktu untuk mengisi baterai memiliki beberapa faktor diantaranya yaitu dari kapasitas baterai yang digunakan. Dengan menggunakan kapasitas baterai 7,5 Ah dengan efisiensi 80% dan spesifikasi panel surya yang dipakai yaitu mampu menghasilkan arus maksimum sebesar 0,57 A. Persamaan 8 dapat digunakan untuk mengetahui perkiraan waktu yang diperlukan untuk mengisi baterai.

$$\text{Estimasi Charge} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{Efisiensi} \times \text{arus panel surya}}$$

$$\text{Estimasi Charge} = \frac{7,5 \text{ Ah}}{80\% \times 0,57 \text{ A}} = 16 \text{ Jam}$$

Lama waktu yang dibutuhkan untuk mengisi daya pada baterai dengan kapasitas 7,5 Ah adalah 16 jam. Cepat atau lambatnya pengisian baterai tergantung pada arus yang dihasilkan oleh panel surya, semakin besar arus yang dihasilkan, maka akan semakin cepat juga pengisian pada baterai.

Dikarenakan baterai digunakan untuk menyuplai energi ke beban, maka seiring berjalannya waktu daya pada baterai akan habis. Persamaan 2.8 dapat digunakan untuk mengetahui perhitungan estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menghidupkan beban dari kondisi baterai dalam keadaan penuh sampai kosong.

$$\text{Discharge} = \frac{\text{Kapasitas baterai} \times V_{\text{baterai}}}{\text{Efisiensi} \times \text{beban yang digunakan}}$$

$$\text{Discharge} = \frac{7,5 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}}{80\% \times 33,26 \text{ W}} = 2,39 \text{ Jam}$$

Dari hasil perhitungan yang didapat dari setiap perhitungan bahwa baterai dengan tegangan 12 Volt dan kapasitas 7,5 Ah yang terpasang beban sebesar 33,26 Watt, maka baterai tersebut bisa bertahan dari baterai terisi penuh sampai baterai kosong selama 2,39 jam.

Diperlukan tujuh buah baterai cadangan dengan kapasitas 7,5 Ah untuk menangani jeda waktu pengisian yang bisa mencapai 16 jam. Baterai cadangan ini dapat digunakan sebagai pengganti untuk menyediakan daya ke robot pemotong rumput saat baterai utamanya habis, sehingga robot pemotong rumput yang sudah dirancang bisa langsung digunakan tanpa perlu menunggu pengisian ulang baterai.

4.3 Menentukan Jumlah Modul Panel Surya

Pada perhitungan menentukan jumlah modul panel surya, dapat ditentukan dengan berapa beban yang akan digunakan melalui tabel 1. Untuk mengetahui total daya yang digunakan pada beban, maka harus diketahui terlebih dahulu lama waktu radiasi rata-rata dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 2, dengan radiasi total rata-rata harian diasumsikan sebesar 4.760 Wh/m^2 .

$$t_r = \frac{\text{radiasi total matahari} \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{\text{intensitas radiasi modul surya} \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}$$

$$t_r = \frac{4.760 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}}{1.000 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}} = 4,76 \text{ jam setiap harinya}$$

Untuk mengetahui kebutuhan jumlah panel surya yang akan digunakan, dari spesifikasi panel surya yang digunakan, modul panel surya mampu menyuplai energi listrik rata-rata dengan menggunakan persamaan 3.

$$E_{\text{modul}} = P_N \times t_r$$

$$E_{\text{modul}} = 10 \text{ WP} \times 4,76 \text{ Jam} = 47,6 \text{ Wh per hari}$$

Sistem memerlukan waktu 16 jam untuk mengisi ulang baterai hingga penuh. Dengan kebutuhan beban sebesar 66,52 Wh per hari dan waktu otonomi satu hari, banyaknya modul panel surya yang diperlukan untuk memasok kebutuhan ini dapat dihitung menggunakan persamaan 4.

$$\text{Jumlah Modul (N)} = \frac{E_{\text{total}} \times t_{\text{otonomi}}}{E_{\text{modul}} \times t_{\text{regenerasi}}}$$

$$\text{Jumlah Modul (N)} = \frac{66,52 \text{ Wh} \times 24 \text{ jam}}{47,6 \times 16 \text{ jam}}$$

$$= 2,09 \approx 2$$

Untuk memenuhi kebutuhan dari total beban yang terpasang yaitu sebesar 33,26 Watt dengan total energi 66,52 Wh dan waktu otonomi selama satu hari, maka sistem membutuhkan dua modul panel surya dengan kapasitas 10 WP.

Namun robot pemotong rumput hanya menggunakan satu modul panel surya. Pemilihan panel surya berkapasitas 10 WP ini bergantung pada bentuk konstruksi alat yang sudah dirancang.

4.4 Pengujian dan Analisis Motor DC Pemotong

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran kecepatan menggunakan tachometer pada motor DC pemotong. Pengujian ini dilakukan untuk melihat kinerja kecepatan motor DC pemotong apakah sudah maksimal atau belum maksimal dalam melakukan pemotongan rumput. Hasil pengukuran kecepatan pada motor DC pemotong dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kecepatan Motor DC Pemotong

Pengujian	Pengujian Kecepatan (RPM)	Tegangan Motor DC (Volt)
Percobaan ke-1	6971	12,05
Percobaan ke-2	7009	12,09
Percobaan ke-3	7327	12,16
Percobaan ke-4	7466	12,16
Percobaan ke-5	7550	12,18

Berdasarkan pengujian kecepatan pada motor DC pemotong, dapat dianalisis bahwa semakin tinggi tegangan pada motor DC pemotong, maka kecepatan putaran motor DC pemotong rumput yang dihasilkan akan semakin cepat juga. Kinerja motor DC pemotong bekerja dengan efisien karena kecepatan putaran motor DC yang dihasilkan oleh sistem dapat digunakan untuk memotong rumput.

4.5 Pengujian dan Analisis 6 Gearbox Motor DC

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengukuran kecepatan pada 6 *gearbox* motor DC. Hasil pengukuran kecepatan menggunakan tachometer pada 6 *gearbox* motor DC dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kecepatan 6 Gearbox Motor DC

Pengujian	Pengujian Kecepatan (RPM)						Tegangan Gearbox (Volt)					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M1	M2	M3	M4	M5	M6
1	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
2	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	159,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
3	159,7	159,7	159,7	159,7	159,7	159,7	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
4	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
5	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	159,8	10	10	10	10	10	10

Berdasarkan pengujian kecepatan menggunakan tachometer pada 6 *gearbox* motor DC, dapat dianalisis bahwa tegangan yang ada pada 6 *gearbox* motor DC yaitu konstan dengan jumlah yang sama, maka kecepatan putaran yang dihasilkan 6 *gearbox* motor DC juga akan bergerak secara konstan.

Hal ini dikarenakan 6 *gearbox* motor DC hanya menggunakan satu buah motor *driver* yang dikontrol oleh ESP32, sehingga 6 *gearbox* motor DC bergerak secara konstan tanpa ada perubahan kecepatan karena input yang ada pada 6 *gearbox* motor DC telah diprogram secara konstan dan tidak berubah-ubah.

4.6 Pengujian dan Analisis Sensor Ultrasonik

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan pengujian sistem kerja sensor ultrasonik dalam mode kontrol alat otomatis. Pengujian dilakukan dengan melakukan pengujian jarak halangan dengan robot pemotong rumput oleh sensor ultrasonik. Hasil pengujian jarak halangan oleh sensor ultrasonik dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Jarak Halangan Oleh Sensor Ultrasonik

Pengujian	Jarak Halangan	Keterangan
Percobaan ke-1	10 cm	Alat merespons dan berbelok
Percobaan ke-2	20 cm	Alat merespons dan berbelok
Percobaan ke-3	30 cm	Alat merespons dan berbelok
Percobaan ke-4	40 cm	Alat tidak merespons dan tetap berjalan
Percobaan ke-5	50 cm	Alat tidak merespons dan tetap berjalan
Percobaan ke-6	60 cm	Alat tidak merespons dan tetap berjalan





Setelah dilakukan 6 kali pengujian jarak halangan oleh sensor ultrasonik, dapat dianalisis bahwa dalam mode kontrol otomatis sensor ultrasonik akan merespons dan menghindari berbelok dari halangan pada jarak 10, 20, dan 30 cm apabila terdapat suatu halangan di depan alat tersebut yang menghalangi kinerja alat. Tetapi jika jarak halangan masih lebih dari 30 cm, alat tidak akan merespons tindakan apapun dan akan tetap berjalan lurus.

Jarak respons dari sensor ultrasonik ini dapat ditentukan melalui program *coding* alat yang telah dibuat, dengan maksimal jarak robot dengan halangan yaitu 4 meter. Jarak ini sesuai dengan rentang maksimal sensor ultrasonik dapat mengukur terhadap suatu halangan.

4.7 Pengujian Pemotongan Rumput

Pengujian ini dilaksanakan dengan tujuan mengevaluasi kinerja robot pemotong rumput, apakah sudah optimal atau belum optimal dalam pengoperasiannya. Proses pengujian mencakup dua kali percobaan, serta dalam kondisi area yang berbeda. Tabel 5 menampilkan hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Pemotongan Rumput

Lokasi	Gambar Hasil (Sebelum Pemotongan)	Gambar Hasil (Sesudah Pemotongan)
Tidak Ada Bebatuan		
Sedikit Berbatu		

Setelah dilakukan pengujian pemotongan rumput, didapatkan kinerja robot yang berbeda-beda karena kinerja robot akan semakin menurun apabila lokasi semakin sulit untuk melakukan pemotongan rumput.

Pada saat pemotongan rumput pada lokasi tidak ada bebatuan, robot pemotong rumput dapat bekerja dengan baik dan berhasil melakukan pemotongan rumput karena rumput yang tidak terlalu tinggi dan dapat dijangkau oleh mata potong robot pemotong rumput untuk melakukan pemotongan rumput.

Sedangkan pada lokasi yang sedikit berbatu, rumput masih dapat terpotong karena robot pemotong menggunakan mata potong dengan senar nylon yang masih efektif untuk memotong rumput dengan kondisi sedikit berbatu.

Dan pada lokasi yang penuh bebatuan, robot pemotong rumput tidak dapat melakukan pemotongan rumput karena terdapat banyak bebatuan yang menghalangi jalannya alat.

4.8 Pengujian Jarak Kendali Robot

Pada tahap pengujian ini, dilakukan lima kali uji coba untuk mengukur jarak kendali robot yang dapat diatur oleh pengguna. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi efektivitas jangkauan WiFi

yang dapat diterima oleh robot melalui *hotspot* pada *handphone* yang telah dikonfigurasi sebelumnya. Melalui pengujian ini, dapat teridentifikasi pada jarak berapa meter robot mulai mengalami penurunan respons terhadap perintah yang diberikan oleh pengguna. Tabel 6 menampilkan data hasil pengujian jarak kendali robot.

Tabel 6. Hasil Pengujian Jarak Kendali Robot

Jarak	Status	Keterangan
10-20 meter	Terkoneksi	Robot dapat dikontrol oleh <i>smartphone</i>
20-30 meter	Terkoneksi	Robot dapat dikontrol oleh <i>smartphone</i>
30-40 meter	Terkoneksi	Robot dapat dikontrol oleh <i>smartphone</i>
40-50 meter	Terkoneksi	Robot dapat dikontrol oleh <i>smartphone</i>
> 50 meter	Terputus	Robot sudah tidak dapat dikontrol oleh <i>smartphone</i>

Dari hasil pengujian pada tabel 6, dapat dianalisis bahwa robot pemotong rumput ini memiliki konektivitas sejauh ± 50 meter. Pengujian ini dilaksanakan bertahap dengan pengukuran jarak setiap 10 meter.

Robot dapat dikendalikan pergerakannya oleh *smartphone* dengan maksimal hingga jarak ± 50 meter. Memasuki jarak lebih dari 50 meter, robot sudah tidak dapat dikendalikan oleh *smartphone* lagi. Hal ini disebabkan koneksi WiFi antara *smartphone* dengan robot pemotong rumput telah terputus.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilaksanakan beberapa pengujian pada robot pemotong rumput menggunakan *wireless* kontroler dan *solar cell* berbasis *internet of things*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya yang paling tinggi dihasilkan oleh panel surya yaitu pada hari pertama pada pukul

- 12.30 yaitu sebesar 11,28 Watt, hal ini dikarenakan langit sedang dalam keadaan cerah berawan dan intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya tinggi. Dan daya paling rendah yang dihasilkan oleh panel surya yaitu pada hari kedua pada pukul 10.00 yaitu sebesar 3,39 Watt, hal ini dikarenakan langit sedang dalam kondisi mendung sehingga intensitas cahaya matahari yang diterima oleh panel surya menjadi redup karena tertutup awan. Dan didapatkan efisiensi sesaat pada panel surya yaitu 11,28%.
2. Panel surya 10 WP dapat mengisi baterai berkapasitas 7,5 Ah 12 Volt (DoD 75%) dari keadaan kosong hingga terisi penuh yang membutuhkan waktu sekitar 16 jam. Sedangkan waktu pemakaian baterai dari keadaan penuh hingga habis dengan beban terpasang 33,26 Watt dapat bertahan hingga 2,39 jam.
 3. Untuk memenuhi kebutuhan dari total beban yang terpasang yaitu sebesar 33,26 Watt dengan total energi 66,52 Wh dan waktu otonomi selama satu hari, maka sistem membutuhkan dua modul panel surya dengan kapasitas 10 WP.
 4. Semakin tinggi tegangan pada motor DC pemotong, maka kecepatan putaran motor DC pemotong rumput yang dihasilkan akan semakin cepat juga. Kinerja motor DC pemotong bekerja dengan efisien karena kecepatan putaran motor DC yang dihasilkan oleh sistem dapat digunakan untuk memotong rumput.
 5. Tegangan yang ada pada 6 *gearbox* motor DC yaitu konstan dengan jumlah yang sama, maka kecepatan putaran yang dihasilkan 6 *gearbox* motor DC juga akan bergerak secara konstan. Hal ini dikarenakan 6 *gearbox* motor DC hanya menggunakan satu buah motor *driver* yang dikontrol oleh ESP32.
 6. Jarak respons dari sensor ultrasonik ini dapat ditentukan melalui program *coding* alat yang telah dibuat, dengan maksimal jarak robot dengan halangan yaitu 4 meter. Jarak ini sesuai dengan rentang maksimal sensor ultrasonik dapat mengukur terhadap suatu halangan.
 7. Pada saat pemotongan rumput pada lokasi tidak ada bebatuan, robot pemotong rumput

dapat bekerja dengan baik dan berhasil melakukan pemotongan rumput karena rumput yang tidak terlalu tinggi dan dapat dijangkau oleh mata potong robot pemotong rumput untuk melakukan pemotongan rumput. Sedangkan pada lokasi yang sedikit berbatu, rumput masih dapat terpotong karena robot pemotong menggunakan mata potong dengan senar nylon yang masih efektif untuk memotong rumput dengan kondisi sedikit berbatu.

8. Robot dapat dikendalikan pergerakannya oleh *smartphone* dengan maksimal hingga jarak \pm 50 meter. Memasuki jarak lebih dari 50 meter, robot sudah tidak dapat dikendalikan oleh *smartphone* lagi. Hal ini disebabkan koneksi WiFi antara *smartphone* dengan robot pemotong rumput telah terputus.

5.2 Saran

Setelah dilakukan penelitian, ditemukan beberapa informasi yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut, yakni:

1. Diperlukan koneksi internet atau WiFi yang stabil dan cepat agar tidak mengganggu kinerja alat saat dioperasikan.
2. Disarankan untuk melakukan modifikasi pada desain dan jarak kendali robot pemotong rumput agar dapat digunakan di lokasi yang terdapat banyak rintangan dan juga dapat dikendalikan lebih jauh.
3. Rancangan alat ini masih membutuhkan operator untuk mengawasi kinerja alat saat waktu operasionalnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. W. Kristianto and E. H, "Strategi Peningkatan Kualitas Ruang Terbuka Hijau di Hutan Kota Pakal Surabaya" *Soetomo Administration Reform Review* , vol. 1, no. 2, pp. 325–346, 2022
- [2] W. Ramadhan, Y. Saragih, R. Rahmadewi, and R. Hidayat, "Rancang Bangun Alat Pemotong Rumput dengan Memanfaatkan Photovoltaic Menggunakan Motor DC," *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, no. 2, pp. 83–87, 2023
- [3] F. I. Pasaribu, and M. Reza, "Rancang

- Bangun Charging Station Berbasis Arduino Menggunakan Solar Cell 50 WP,” *RELE : Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 46-55, 2021
- [4] Asrul, R. K. Demak, and R. Hatib, “Komparasi Energi Surya Dengan Lampu Halogen Terhadap Efisiensi Modul Photovoltaic Tipe Multicrystalline,” *Jurnal Mekanikal*, vol. 7, no. 1, pp. 625-633, 2016
- [5] D. Notosudjono and F. Adzikri, “Teknologi Energi Terbarukan,” Bogor : UNPAK Press, 2018
- [6] W. Kusuma, A. D. Novfowan, and H. M. K, “Penerapan Charger Controller type PWM pada Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro,” *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, pp. 194-197, 2022
- [7] Z. Pelawi, R. Nasution, and Armansyah, “Pengaruh Pengaturan Tahanan Medan Seri Pada Motor DC Shunt Terhadap Effisiensi,” *Journal of Electrical Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 75-80, 2020
- [8] A. Abrar, S. Akbar, and Tukino, “Rancang Bangun Sistem Kontrol Motor Listrik Berbasis Raspberry Pi,” *Jurnal Ilmiah Informatika (JIF)*, vol. 11, no. 1, pp. 48-53, 2023
- [9] D. Setiawan, A. F. Boy, A. Hafidz, and Ishak, “Implementasi Teknik PWM Pada Rancang Bangun Alat Deteksi Kecepatan Kendaraan Berdasarkan Perputaran Roda Berbasis Mikrokontroller,” *Jurnal SAINTIKOM (Jurnal Sains Manajemen Informatika dan Komputer)*, vol. 19, no. 1, pp. 40-52, 2020
- [10] A. Wagya, Rahmat, “Prototipe Modul Praktik Untuk Pengembangan Aplikasi Internet of Things (IoT),” *Jurnal Ilmiah Setrum*, vol. 8, no. 1, pp. 238-247, 2019
- [11] I. K. Missa, L. A. S. Lapono, and A. Wahid, “Rancang Bangun Alat Pasang Surut Air Laut Berbasis Arduino Uno Dengan Menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04,” *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, vol. 3, no. 2, pp. 102-105, 2018
- [12] A. Imron, T. Andromeda, and B. Setiyono, “Perancangan Akuisisi Data Pada Panel RTU PT. PLN (Persero) Berplatform Android,” *TRANSIENT*, vol. 7, no. 2, pp. 665-670, 2018
- [13] D. A. N. K. Suhermanto and W. Aribowo, “Rancang Bangun Kendali Adaptif Motor DC Berdasar Suhu Menggunakan Wemos D1 R1 dan LoRa,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 74-83, 2023
- [14] F. R. Utami, M. A. Riyadi, and Y. Christyono, “Perancangan Catu Daya Arus Searah Keluaran Ganda Sebagai Penggerak Robot Lengan Artikulasi,” *Transient*, vol. 9, no. 3, pp. 418-427, 2020
- [15] A. D. Tantowi and Y. Kurnia, “Simulasi Sistem Keamanan Kendaraan Roda Dua Dengan Smartphone dan GPS Menggunakan Arduino,” *JURNAL ALGOR*, vol. 1, no. 2, pp. 9-15, 2020
- [16] Sunardi, G. Toldo, and A. Triyanto, “Rancang Bangun Mesin Listrik Pemotong Rumput Menggunakan Control Arduino,” *OKTAL: Jurnal Ilmu Komputer dan Science*, vol. 1, no. 3, pp. 271-282, 2022
- [17] Y. Efendi, “Internet of Things (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Mobile,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, pp. 19–26, 2018
- [18] J. W. Leksono, H. K. W, E. Indahwati, N. Yanuansa, and I. Ummah, “Modul Belajar Arduino Uno,” 1st ed., Jombang : Universitas Hasyim Asy’ari, 2019
- [19] E. A. W. Sanadi, A. Achmad, and Dewiani, “Pemanfaatan Realtime Database di Platform Firebase Pada Aplikasi E-Tourism Kabupaten Nabire,” *Jurnal JPE*, vol. 22, no. 1, pp. 20-26, 2018

PENULIS

- [1] **Bintang Kesaktian Sang Nararya, S.T.** Alumni (2024) Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan bintangkesaktiansn@gmail.com
- [2] **Prof. Dr. rer. pol. Ir. H. Didik Notosudjono, M.Sc., IPU., ASEAN. Eng.** Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan
- [3] **Agustini Rodiah Machdi, S.T., M.T.** Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan