



Jurnal Politeknik Caltex Riau

<https://jurnal.pcr.ac.id/index.php/elementer>

| ISSN : 2460 – 5263 (online) | ISSN : 2443 – 4167 (print)

Desain dan Evaluasi Robot *Cleaner Solar* Photovoltaics Menggunakan Komunikasi *Nirkabel* Berbasis Komunikasi Radio Frekuensi

Y.B. Adyapaka Apatya¹- Oktavianus Ardhian Nugroho²¹ Politeknik Industri ATMI, Program Studi Rekayasa Teknologi Mekatronika, email: apatya@polinatmi.ac.id² Politeknik Industri ATMI, Program Studi Mesin Industri, email: ardhianatmi@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi robotika dewasa ini telah berkembang dengan cepat. Banyak jenis pekerjaan yang dilakukan bisa dilakukan dengan robot, terutama jika pekerjaan tersebut memiliki tingkat keakuratan tinggi. Salah satu pekerjaan yang membutuhkan tingkat kepresisian dan keakuratan tinggi adalah pekerjaan membersihkan modul solar cell. Untuk mendapatkan tingkat energi maksimum dan terus menerus dari matahari maka tingkat kebersihan dari modul solar cell harus selalu terjaga. Partial shading seperti berlumpur dan berdebu mengakibatkan berkurangnya tingkat daya listrik yang dihasilkan. Oleh sebab itu sangat penting untuk menjaga panel surya tetap bersih. Dalam penelitian ini, telah dirancang sebuah robot pembersih modul solar cell yang dirancang dan diuji secara langsung di lapangan. Tujuan dirancangnya Robot ini adalah untuk memastikan kebersihan modul solar cell dari partial shading. Desain yang dibuat menggunakan dua motor penggerak kanan kiri dilengkapi dengan motor brush untuk sistem pembersihan. Tambahan lain adalah robot ini dikontrol dengan sistem pengendali nirkabel berbasis komunikasi radio frekuensi (RF) dan dilengkapi sensor untuk mengetahui level air, serta sensor yang dapat menjaga pergerakan robot solar cleaner tetap di atas modul solar cell ketika bekerja.

Kata kunci: Robot, Solar, Cleaner, Nirkabel, Radio Frekuensi, Sensor, Partial shading

Abstract

The development of robotics technology today has developed rapidly. Many types of work that are done can be done with robots, especially if the work has a high level of accuracy. One of the jobs that require a high level of precision and accuracy is the work of cleaning the solar cell module. To get the maximum and continuous energy level from the sun, the cleanliness level of the solar cell module must always be maintained. Partial shading such as muddy and dusty results in a reduced level of electrical power generated. That's why it's important to keep solar panels clean. In this study, a solar cell module cleaning robot has been designed and tested directly in the field. The purpose of designing this robot is to ensure the cleanliness of the solar cell module from partial shading. The design created using two left-right drive motors is equipped with a brush motor for the cleaning system. Another addition is that this robot is controlled with a Wireless control system based on radio frequency (RF) communication and is equipped with sensors to determine the water level, as well as sensors that can keep the movement of the solar cleaner robot above the solar cell module when working.

Keywords: Robot, Solar, Cleaner, Wireless, Radio Frequency, Sensor, Partial shading

1. Pendahuluan

Teknologi robotika saat ini telah mengalami banyak sekali perkembangan, dimana perkembangan ini berdampak dalam beberapa segi kehidupan manusia [1]. Perkembangan ini erat kaitannya dengan adanya kebutuhan akan suatu sistem yang dapat membantu manusia dalam menyelesaikan pekerjaan yang membutuhkan tingkat keakuratan tinggi. Proses perawatan modul *solar cleaner* merupakan salah satu proses yang membutuhkan tingkat keakuratan tinggi dalam proses perawatan modul. *Partial shading* (PS) merupakan kondisi tertutupnya beberapa bagian cell dari panel surya. Pada kondisi ini panel surya mengalami penurunan nilai daya keluaran sehingga menyebabkan efisiensi *solar photovoltaics* (PV) menjadi kecil. Efek negatif dari PS terhadap karakteristik tegangan arus sel PV pernah dipelajari secara experiment beberapa peneliti [2-4]. Dalam hasil experimentnya terdapat beberapa hasil daya yang berbeda ketika PV dikenai berbagai jenis PS. Menurut studi yang dilakukan oleh H Jiang [5] dan M Dida [6] menyebutkan bahwa akumulasi debu pada *solar PV* menyebabkan penurunan 32% dalam kinerja PV surya dalam jangka waktu beberapa bulan. Penelitian lain oleh SA Sulaiman [2] juga menyebutkan bahwa partikel pasir dengan jumlah 73 g.m^{-2} menyebabkan penurunan signifikan voltase PV sebesar 80%. Dari penelitian [7] sebelumnya menunjukkan dampak element PS benar mempengaruhi tingkat efisiensi dari modul PV di mana sifat dari masing unsur PS tersebut mempengaruhi kinerja PV. Banyak cara dalam mengatasi menurunnya tingkat efisiensi *solar PV* oleh PS salah satunya dengan merancang sebuah robot pembersih *solar PV*.

Penelitian sebelumnya untuk mengatasi masalah menurunnya efisiensi modul *solar PV* seperti disebutkan sebelumnya, adalah dengan merancang sistem pembersih modul panel surya secara otomatis menggunakan robot [8]. Beberapa sistem pembersihan otomatis yang pernah dibuat seperti robot Jaradat MA dengan keunggulan kapasitas pembersihan tinggi, peningkatan keamanan dan penanganan yang mudah [9] tetapi mempunyai kelemahan di ukuran modul yang bisa dibersihkan terbatas. Selain itu menurut *review* yang dilakukan oleh Patil P A [10] mempertimbangkan metode yang berbeda dari cara pembersihan panel surya dengan robot seperti kelebihan dan keterbatasan masing-masing. Dari penelitiannya jenis sikat yang dipasang pada robot bisa mempengaruhi tingkat kebersihan PV, kondisi ketika terdapat air yang banyak atau sedikit air ketika proses pembersihan mempengaruhi tingkat pembersihan PV terhadap debu. Selain semua hal tersebut besarnya total daya yang dikonsumsi untuk menghilangkan debu, persentase debu yang berkurang, frekuensi pengoperasian robot, kecepatan mekanisme penghilang debu, nilai ekonomi, daya tahan, keandalan, diperlukan dalam pengujian robot *solar cleaner*.

Sistem *control* yang dipakai untuk robot *solar cleaner PV* pada prototype sebelumnya masih menggunakan kabel sebagai penghubung sumber dayanya. Oleh karena itu sistem *control* pada robot menggunakan *Wireless* merupakan pilihan utama dalam perancangan robot *solar cleaner* yang akan dibuat. Sistem *Wireless* sebelumnya pernah dibuat pada penelitian widiasari [11] pada penelitiannya *smartphone* digunakan sebagai pengontrol NodeMCU yang terdapat pada modul WiFi ESP8266 lalu dengan menggunakan koneksi internet yang disambungkan dengan aplikasi blynk. Relay digunakan sebagai switch yang akan memerintahkan motor untuk berputar ketika mendapat perintah dari NodeMCU. Sistem *control* lain adalah teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) [12]. Sistem ini merupakan suatu sistem komunikasi data *nirkabel* yang terdiri dari beberapa node yang ditempatkan di area tertentu. Tetapi sistem ini paling cocok untuk area yang luas sedangkan yang dibutuhkan untuk mengontrol robot *solar cleaner PV* ini tidaklah terlalu luas.

Melihat berbagai permasalahan yang muncul dalam proses pembersihan *solar PV* dirancnglah sebuah robot *cleaner* yang bisa membersihkan *solar PV*. Robot yang dirancang dapat mengurangi resiko operator untuk bekerja di tempat yang tinggi. Selain itu nantinya robot dapat bekerja pada ketinggian yang sulit diakses dan beroperasi lebih lama. Desain robot *solar cleaner* yang dibuat dirancang dapat berjalan di atas panel surya dengan menggunakan motor dan proses pembersihan

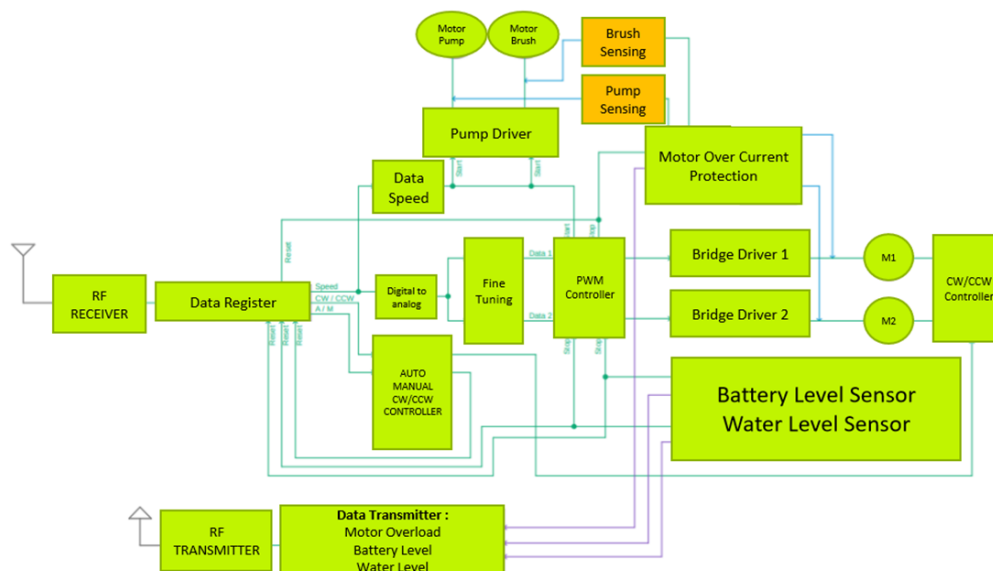
dilakukan dengan menggosok *solar* PV menggunakan brush yang dilengkapi dengan nosel air untuk meningkatkan tingkat pembersihan *solar* PV. Sistem *control* robot ini menggunakan sistem pengendali *nirkabel* berbasis komunikasi radio frekuensi (RF) dan dilengkapi sensor untuk mengetahui level air, serta sensor yang dapat menjaga pergerakan robot *solar cleaner* tetap di atas modul *solar* cell ketika bekerja. Nantinya robot pembersih ini menjadi salah satu cara alternatif yang baik untuk membersihkan *solar* PV di dunia *industry solar* PV.

2. Metode

Dalam penelitian ini, proses pembersihan debu pada permukaan panel PV menggunakan robot pembersih *solar* PV yang sudah dibuat. Kontrol perangkat akan dijelaskan secara rinci di bagian perangkat lunak. Perangkat robot yang dirancang akan dapat menyelesaikan proses pembersihan secara otomatis karena pada sistem sudah dipasang sensor yang mengatur gerakan robot. Sumber daya robot menggunakan baterai yang dapat diisi ulang, yang selalu siap untuk proses pencucian berikutnya. Sistem pergerakan yang dibuat menggunakan 2 motor yang dipasang di roda kiri dan kanan mesin yang dapat bergerak secara bersamaan, sistem ini memberikan transmisi yang mulus ketika robot ini berjalan. Profil mesin juga menggunakan bahan aluminium [13] bertujuan untuk mengurangi berat beban dari robot *solar cleaner*. Dengan mengurangi berat maka besarnya daya listrik yang dipakai untuk menggerakkan robot berkurang.

2.1 Blok Diagram Rangkaian Elektrik Robot Solar PV Cleaner

Dalam sistem elektrik robot *solar cleaner* pertama adalah membuat diagram block. Diagram blok adalah representasi bergambar singkatan dari hubungan sebab dan akibat antara input dan output dari sistem fisik [14, 15]. Blok diagram sama-sama berguna dalam ilmu manajemen, peradilan pidana dan ekonomi untuk pemodelan dan analisis sistem. Dalam sistem elektrik robot *solar cleaner* dapat dilihat urutan kerja sesuai dengan diagram blok rangkaian elektrik. Gambar 1 menunjukkan bentuk diagram block rangkaian elektrik robot *solar* PV cleaner (main board).

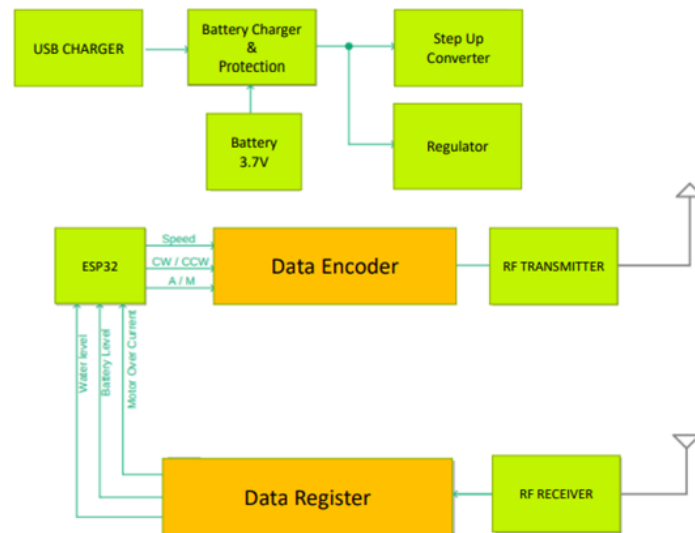


Gambar 1. Block Rangkaian Elektrik Robot Solar PV Cleaner (Main Board)

2.2 Block Rangkaian Elektrik

Setelah block rangkaian elektrik robot dibuat langkah selanjutnya adalah merancang block rangkaian elektrik *control* pada pendant untuk robot *solar* PV cleaner. Tujuannya adalah memperkirakan sistem *control* dari data encoder ke RF transmitter. Penggunaan RF transmitter juga pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya Gambar 2 menunjukkan diagram block rangkaian elektrik *control* pendant robot *solar* PV cleaner menggunakan ESP 32 [1, 16] sebagai

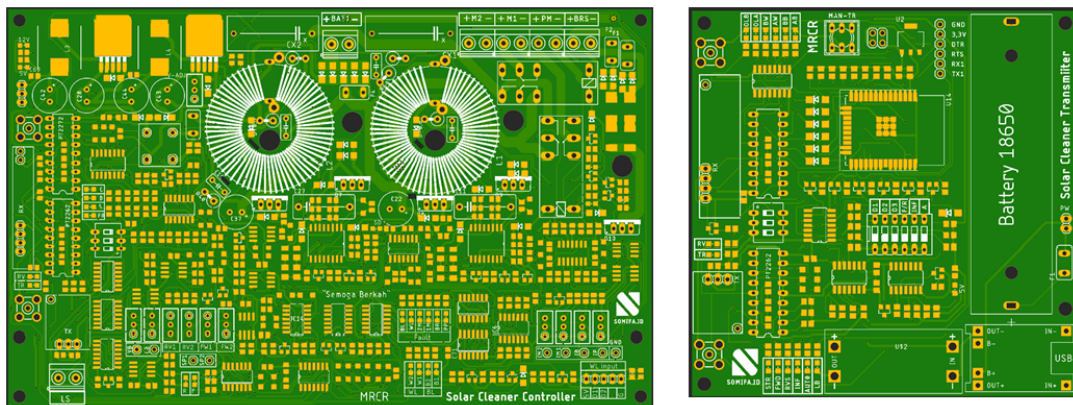
komponen dasar untuk sistem *control Wireless connection*. *Controler* robot nantinya dapat diakses dengan menggunakan ip address yang didapatkan dari acces point yang terhubung pada modul ESP32. Ip address ini selanjutnya dapat diakses melalui *web browser* pada perangkat laptop atau *smartphone* sehingga robot dapat dikontrol dengan jarak jauh. Blok diagram menjelaskan tentang sistem kendali dalam bentuk rangkaian elektronika dan juga program kendalinya [1].



Gambar 2. Diagram Block Rangkaian Elektrik *Control Pendant Robot Solar PV Cleaner*

Dilihat dari sisi pengendalian, robot ini dikembangkan berbasis *nirkabel*. Terdapat dua model pengendalian, yakni dapat menggunakan pendant berbasis komunikasi RF dengan opsi bisa dikendalikan secara *web based* maupun aplikasi menggunakan *smartphone*.

2.3 PCB Board Robot *Solar PV*



Gambar 3. Robot *Solar PV Cleaner* Gambar PCB bagian Main Board Robot *Solar PV Cleaner* dan Gambar PCB bagian Pendant *Control Robot Solar PV Cleaner*

Dengan dua mode pengendalian yang telah disebutkan sebelumnya, robot ini memberikan alternative dalam pengendaliannya baik dari sisi jarak pengendalian maupun kehandalan komunikasinya. Gambar 6 menunjukkan gambar PCB yang dibuat untuk bagian main board robot *solar PV cleaner* dan PCB bagian pendant *control* robot *solar PV cleaner*. Dari sistem *control* menggunakan pendant tersebut membuat mesin dapat dikontrol menggunakan media tab ataupun hand phone sebagai pengontrolnya dan aplikasinya dapat didownload. Pada gambar 7

menunjukkan bentuk tampilan sistem aplikasi web based yang dipakai untuk mengontrol robot PV *cleaner*.

2.4 Desain Tampilan Kontroler Robot

Pada gambar 4 menunjukkan desain dari kontroler robot *solar cleaner* pada perangkat *smartphone* dimana fungsinya adalah untuk mengoperasikan robot. Fungsi dari sistem ini berfungsi untuk pengontrol robot maju, mundur, kanan dan kiri. Status water level, baterai level juga tertera pada kolom status di layar android. Keterangan tambahan seperti sistem berjalan normal dan status ketika sedang running seperti speed, direction, dan cycle juga di tampilkan pada tampilan sistem *solar panel cleaner*. Pada sistem *control*nya terdapat tujuh kecepatan yang dapat dipilih. Begitu pula pergerakan dari *solar panel* bisa maju dan mundur. Sistem pergerakan juga dibuat untuk daper dikontrol pergerakannya secara manula ataupun secara auto.

Solar Panel Cleaner

Status (update in 2s)

Cleaner ID	: 0001
Water Level	: 1-25%
Battery Level	: 1-25%
Alert	: NORMAL
Running Command	: speed : 4 direction : F cycle : M

Control (click RUN to apply parameters)

Speed: 1 2 3 **4** 5 6 7

Direction: **Forward** Reverse

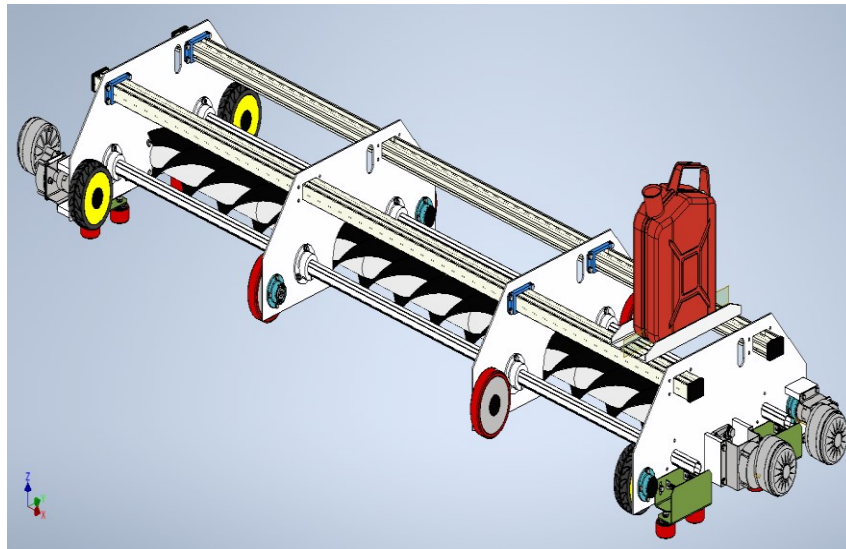
Cycle: Auto **Manual**

RUN **STOP**

Gambar 4. Tampilan *control* robot PV *cleaner*

2.5 Desain robot *solar cleaner*

Bentuk robot *solar cleaner* yang dibuat dan dikembangkan menggunakan program desain 3D. Desain ini telah ditingkatkan untuk memenuhi beberapa fitur yang diperlukan selanjutnya dibuat dan diuji dilapangan untuk di cari tingkat keefektivitas robot *solar cleaner* yang sudah dibuat. Gambar 5 menunjukkan desain robot pembersih 3D yang dirancang.



Gambar 5. Tampilan 3D dari robot PV cleaner

Pada gambar 6 menunjukkan bentuk robot *solar cleaner* yang sudah dibuat dan akan diuji di lapangan. Berat dari robot sendiri setelah dibuat sekitar 75 kg dengan kondisi tangka air terisi penuh.



Gambar 6. Bentuk robot solar PV cleaner

3. Hasil dan Pembahasan

Eksperimen dan pengujian dengan batasan fungsi dan efisiensi robot pembersih PV dalam kondisi berbeda.

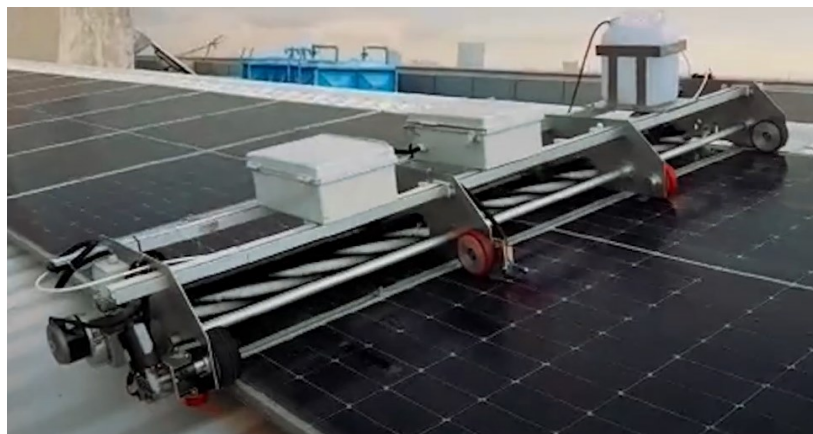
3.1 Pengujian pergerakan robot

Pengujian pergerakan pada robot dilakukan untuk menemukan kecepatan dan kemampuan bergerak robot pada sudut bidang datar hingga 15 derajat seperti pada penelitian sebelumnya [17]. Dari hasil pengujian yang dilakukan pergerakan robot berjalan dengan lancar sesuai dengan kemampuan robot *solar cleaner* yang dirancang, baik ketika kecepatan minimal $0,2 \text{ ms}^{-1}$ dan maksimal $0,45 \text{ ms}^{-1}$. Gambar 7 menunjukkan posisi robot ketika bergerak di atas *solar cell* pada bidang datar dan gambar 8 menunjukkan proses pengujian di atap sebuah gedung dengan bidang miring sebesar 15 derajat.



Gambar 7. Pengujian pergerakan robot *solar cleaner*

Dari hasil pengujian didapatkan kecepatan ketika pengujian tidak berubah walaupun tingkat kemiringannya berbeda.



Gambar 8 Proses pengujian kecepatan gerakan robot pada sudut kemiringan 15 derajat

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian fungsi performa dari mesin robot *solar cleaner* ini. pengujian dilakukan selama 4 jam dan dilakukan dengan panjang total *solar cell* 350 m.

Tabel 1. Tabel hasil pengujian fungsi performa

Tipe pengujian	Keterangan	Hasil
Fungsi	Brus berputar normal .	berhasil
	Nozel air berfungsi maksimal.	berhasil
	Mesin berjalan maju sesuai desain	berhasil
	Sensor bekerja dengan normal.	berhasil
	Dapat dikendalikan dengan remote.	berhasil

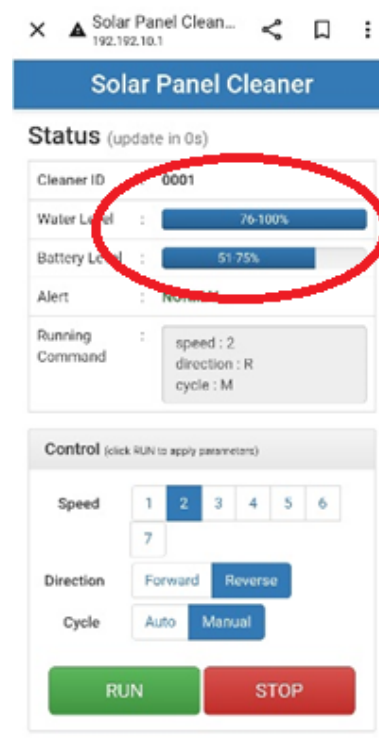
3.2 Pengujian kemampuan sensor

Dalam proses pengujian ini kemampuan sensor ketika bekerja di lapangan juga dilakukan. Bentuk pengujian seperti, pengujian sensor gerakan kanan kiri untuk mengecek apakah robot tetap bergerak di atas *solar* PV dilakukan, hasilnya robot *solar* PV tetap berada di jalurnya.



Gambar 8 Proses pengujian sensor pada robot melalui sistem aplikasi web base pada pendant

Pengujian sensor untuk monitoring baterai dan sensor untuk memonitoring kapasitas air berjalan apakah berjalan baik atau tidak ditunjukkan pada gambar 9. Pada gambar 9 menunjukkan tampilan kapasitas baterai dan air ketika robot beroperasi.



Gambar 9. Tampilan water level dan baterai level pada aplikasi ketika robot berjalan

Tabel 2 menunjukkan kondisi sistem motor, pompa, baterai, *control*, dan sistem alarm ketika robot *solar cleaner* ini bekerja dari situ didapatkan hasil bahwa semua sistem berjalan baik ketika proses pengujian dilapangan.

Tabel 2. Hasil pengujian fungsi motor, pompa, baterai dan alarm pada robot *solar cleaner*.

Motor dan Pompa	Semua bekerja secara optimal tanpa ada masalah.	berhasil
Baterai	perjam konsumsi baterai 5.2 Ah, dan dapat bekerja 4 jam tanpa masalah.	berhasil
<i>Control</i>	Pengontrol <i>Nirkabel</i> berupa RF Communication dapat berfungsi.	berhasil
Alarm System	Sistem alarm untuk Battery & Water Capacities bekerja dengan baik.	berhasil

3.3 Pengujian tingkat kebersihan PV menggunakan robot *solar cleaner*

Dalam proses pengujian ini *solar PV* dibuat dalam kondisi kotor dengan bentuk PS berupa debu dan pasir. Pada waktu pengujian menggunakan media tambahan air yang disemprotkan oleh nozel, pada waktu diberikan PS voltasenya diukur dari sebelum dibersihkan dan setelah bersih. Gambar 10 menunjukkan proses pengujian untuk mendapatkan tingkat kebersihan dari *solar PV*.



Gambar 10. Proses pembersihan *solar PV* ketika robot berjalan

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian fungsi pembersihan. Data yang diambil menggunakan tiga kecepatan minimal, rata-rata, dan kecepatan maksimal.

Tabel 3. Tabel hasil pengujian fungsi pembersih

Jenis PS	Media Pembersih	Kecepatan (ms^{-1})		
		0.2	0.35	0.45
Powder	Water Spray & Brush (Work/Not)	Bersih/tidak	Bersih/tidak	Bersih/tidak
Debu	Water Spray & Brush (Work/Not)	Bersih/tidak	Bersih/tidak	Bersih/tidak

Pada tabel 4 menunjukkan hasil pengujian beban voltase *solar* PV ketika dalam kondisi kotor karena PS dan kondisi bersih. Selain itu tabel 3 juga menunjukkan arus yang muncul ketika robot berfungsi dan berjalan.

Tabel 4. Tabel hasil pengujian beban dilapangan

Testing Loads	Voltage 2 Modul PV			Rata-rata Arus Pada Robot		
	Clean	Dust	Powder	Awal	Berjalan	Keterangan
Tanpa beban	82 Volt	75 Volt	74.4 Volt	8.7 A	4.6 A	Safe

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini, telah berhasil membuat sebuah robot *cleaner solar* PV dengan menggunakan *control* komunikasi *nirkabel* berbasis komunikasi radio frekuensi berbasis mikrokontroler yang berfungsi dalam membersihkan dan ringan. Robot *solar cleaner* ini dapat mengurangi efek debu pada panel PV yang dapat mempengaruhi daya keluaran panel PV. Gambar 11 menunjukkan kondisi sebelum dan setelah *solar* PV dibersihkan.



Gambar 11. Proses pembersihan *solar* PV ketika robot berjalan

Kedepannya diperlukan beberapa perbaikan dan pengembangan untuk memberikan waktu *cleaining* terpendek, kebutuhan penyimpanan air dan listrik minimum sudah dapat diatasi pada robot *solar cleaner* ini. Tetapi waktu pembersihan dapat ditingkatkan dengan mengubah jenis *brush* yang dipakai. Pengembangan lain untuk versi selanjutnya bisa dengan menambahkan, sensor pendeteksi cahaya untuk mendeteksi siang dan malam. Selain itu penambahan sistem *charger* baterai otomatis juga bisa dijadikan salah satu pengembangan dalam mendesain robot *solar cleaner* PV ini.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. N. Utama and O. V. J. J. T. Putra, "Rancang Bangun Robot Pemotong Rumput Otomatis Menggunakan *Wireless* Kontroler Modul ESP32-CAM Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 15, no. 1, pp. 45-55, 2021.
- [2] S. A. Sulaiman, A. K. Singh, M. M. M. Mokhtar, and M. A. J. E. P. Bou-Rabee, "Influence of dirt accumulation on performance of PV panels," vol. 50, pp. 50-56, 2014.
- [3] I. R. Balasubramanian, S. Ilango Ganesan, and N. J. I. p. E. Chilakapati, "Impact of *Partial shading* on the output power of PV systems under *Partial shading* conditions," vol. 7, no. 3, pp. 657-666, 2014.
- [4] J. Bai, Y. Cao, Y. Hao, Z. Zhang, S. Liu, and F. J. S. E. Cao, "Characteristic output of PV systems under *Partial shading* or mismatch conditions," vol. 112, pp. 41-54, 2015.

- [5] H. Jiang, L. Lu, and K. J. A. e. Sun, "Experimental investigation of the impact of airborne dust deposition on the performance of *solar* photovoltaic (PV) modules," vol. 45, no. 25, pp. 4299-4304, 2011.
- [6] M. Dida, S. Boughali, D. Bechki, H. J. R. Bouguettaia, and S. E. *Reviews*, "Output power loss of crystalline silicon photovoltaic modules due to dust accumulation in Saharan environment," vol. 124, p. 109787, 2020.
- [7] S. A. Sulaiman, H. H. J. N. L. Hussain, E. o. D. o. t. P. o. P. P. i. W. A. o. S. Mohd SI Razali, Engineering, and Technology, "Nik Siti H," pp. 588-593, 2011.
- [8] N. Hashim, M. Mohammed, R. A. Selvarajan, S. Al-Zubaidi, and S. Mohammed, "Study on *solar* panel cleaning robot," in *2019 IEEE international conference on automatic control and intelligent systems (I2CACIS)*, 2019, pp. 56-61: IEEE.
- [9] M. A. Jaradat *et al.*, "A fully portable robot system for cleaning *solar* panels," in *2015 10th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA)*, 2015, pp. 1-6: IEEE.
- [10] P. Patil, J. Bagi, and M. Wagh, "A review on cleaning mechanism of *solar* photovoltaic panel," in *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 2017, pp. 250-256: IEEE.
- [11] C. Widiyari, P. A. Sianipar, and M. J. J. E. d. M. T. Diono, "Sistem Kontrol Otomatis Pagar Rumah Berbasis Internet of Things (IoT)," vol. 8, no. 2, pp. 162-174, 2022.
- [12] M. D. Syamsiar, M. Rivai, and S. J. J. T. I. Suwito, "Rancang bangun sistem irigasi tanaman otomatis menggunakan *Wireless* sensor network," vol. 5, no. 2, pp. A261-A266, 2016.
- [13] H. G. Astrianto, O. A. Nugroho, and A. K. J. J. I. Yanti, "PERANCANGAN DAN SIMULASI RANGKA DUDUKAN *SOLAR* PANEL GUNA MENAHAN MESIN ROBOT *SOLAR CLEANER* DENGAN BOBOT TOTAL 64 KG," vol. 6, no. 2, 2022.
- [14] Y. Rahmanto, A. Burlian, and S. J. J. T. D. S. T. Samsugi, "Sistem Kendali Otomatis Pada Akuaponik Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO R3," vol. 2, no. 1, pp. 1-6, 2021.
- [15] N. A. Pratama and C. J. J. P. D. F. Hermawan, "Aplikasi Pembelajaran Tes Potensi Akademik Berbasis Android," vol. 6, no. 1, 2016.
- [16] M. Babiuch, P. Foltýnek, and P. Smutný, "Using the ESP32 microcontroller for data processing," in *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 2019, pp. 1-6: IEEE.
- [17] N. Ronnaronglit and N. Maneerat, "A cleaning robot for *solar* panels," in *2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*, 2019, pp. 1-4: IEEE.