

Rancang Bangun Robot Pembersih *Solar* PV Dengan Sistem Pengendali Nirkabel

Oktavianus Ardhian Nugroho^{1*}, Y.B. Adyapaka Apatya², Fransiskus Octario Sanctos Perdana Tukan³,
Yoannes Fredy Sakti⁴

¹Program Studi Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI

^{2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Industri ATMI

⁴PT Trimitra Nusantara Sakti

^{1,2,3}Jl. Kampus Hijau No. 3, Jababeka Education Park, Lemahabang, Simpangan, Cikarang Utara, Bekasi, Jawa Barat 17520

⁴Jl. Mutiara Gading City Blok C-10 No. 37, Babelan, Kab. Bekasi, Jawa Barat 17610

E-mail: ardhianatmi@gmail.com¹, apatya@polinatmi.ac.id², sanctos@polinatmi.ac.id³,
yoannesfredy.sakti@gmail.com⁴

Abstrak

Info Naskah:

Naskah masuk: 21 Des 2022

Direvisi: 19 Juni 2023

Diterima: 20 Juni 2023

Salah satu jenis sumber energi terbarukan yang mulai banyak dipakai pada saat ini adalah jenis pembangkit listrik tenaga surya. Sistem ini menggunakan efek *photovoltaic* (PV) dimana cahaya matahari diubah menjadi listrik. Sebuah *solar cell* biasanya terdiri dari susunan sel semikonduktor yang sering disebut modul *solar* PV. Kendala muncul ketika modul PV ini kotor, karena daya listrik yang dihasilkan oleh modul menjadi menurun. Cara untuk mengembalikan daya pada PV ini adalah dengan melakukan pembersihan secara manual. Pada penelitian ini telah dirancang dan dibuat sebuah mesin robot pembersih yang dapat membersihkan modul *solar* PV secara otomatis. Tujuan penelitian adalah mempermudah proses perawatan modul, memastikan keselamatan dan keamanan pekerja, mengurangi kerusakan modul, dan memastikan kebersihan modul. Metode perancangan dipakai dalam membuat robot pembersih ini. Dari perancangan telah berhasil dibuat sebuah mesin robot untuk membersihkan modul *solar* PV. Selain itu dari hasil perbandingan berat mesin menunjukkan adanya reduksi beban mesin robot dari prototype pertama dengan robot *solar* PV *cleaner* terbaru sebesar 1,56% dari beban prototype awal.

Abstract

Keywords:

design;

module;

solar PV;

cleaners;

robot;

One type of renewable energy source that is starting to be widely used at this time is the type of solar power generation. This system uses a photovoltaic effect where sunlight is converted into electricity. A solar cell usually consists of an arrangement of semiconductors cells often called solar PV modules. Obstacles arise when this PV module is dirty because the electrical power generated by the module becomes decreased. Manual cleaning is one of the ways to restore power to this PV. In this study, a cleaning robot machine has been designed and made that can clean solar PV modules automatically. The purpose of the study is to simplify the module maintenance process, ensure the safety and security of workers, reduce module damage, and ensure the cleanliness of the module. The design method has successfully made a robotic machine to clean solar PV modules. The test results also prove that the tool made can clean the module quickly and safely.

*Penulis korespondensi:

Oktavianus Ardhian Nugroho

E-mail: ardhianatmi@gmail.com

1. Pendahuluan

Jenis energi yang merupakan salah satu jenis energi yang paling dibutuhkan dan menjadi salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia adalah jenis energi listrik. Saat ini Indonesia sedang mulai bergerak dari pemanfaatan energi berbasis fosil seperti minyak bumi dan batu bara menjadi energi terbarukan. Salah satu jenis sumber energi terbarukan yang mulai banyak dipakai pada saat ini adalah jenis pembangkit listrik tenaga surya. Sistem ini menggunakan efek *photovoltaic* (PV) di mana cahaya matahari diubah menjadi listrik [1]. Sebuah *solar cell* biasanya terdiri dari susunan sel semikonduktor yang sering disebut modul *solar PV*.

Pada era revolusi industri saat ini telah mengubah banyak hal dan kebiasaan dalam bekerja. Salah satunya adalah proses pembersihan sel surya. Penelitian yang dilakukan oleh Gaofa [2] misalnya, merancang sebuah *solar array* yang dapat membersihkan sendiri tetapi teknologi ini masih jarang dipakai. Cara yang biasanya dilakukan pada umumnya dapat membersihkan secara manual dengan tenaga manusia, bahkan sekarang bisa dilakukan oleh mesin robot pembersih sel surya.

Robot *solar cell* juga pernah dibuat dan dirancang oleh Nawat Ronnaronglit [3] dan Nurhasliza Hashim [4] pada penelitiannya dikatakan bahwa debu menjadi hal utama yang menyebabkan efisiensi *solar panel* menurun. Pada penelitiannya berhasil membuat mesin *solar cleaner* dapat membersihkan *solar modul*. Tetapi kelemahannya adalah di bentuk robot yang kecil sehingga membutuhkan waktu yang lama ketika membersihkan.

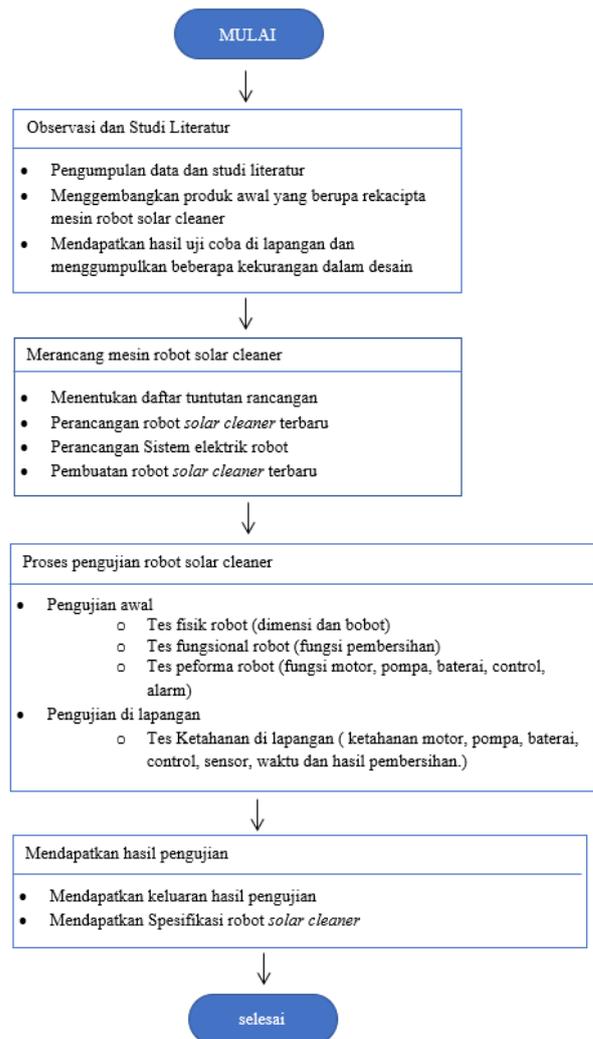
Studi yang dilakukan oleh Patil P.A [5] misalnya, dalam penelitiannya dia mereview mesin *cleaner* untuk *solar photovoltaic panel*. Dengan menggunakan robot pembersih dalam melakukan pembersihan dapat membuat 25% peningkatan keluaran energi listrik. Dari berbagai macam robot yang dia review kebanyakan masih menggunakan air sebagai media pembersih dan bentuk dari brush menentukan tingkat kebersihan dari *solar panelnya*.

Politeknik Industri ATMI bersama PT. Trimitra Nusantara Sakti bekerja sama dalam proyek Matching Fund. Bersama kedua belah pihak merancang dan membuat suatu alat pembersih *solar modul* yang dapat dikontrol secara nirkabel. Adapun tujuan pembuatan robot pembersih sel surya tersebut adalah mempermudah pekerjaan untuk merawat sel surya, memastikan keselamatan dan keamanan pekerja, mengurangi kerusakan dari sel surya dari beban tubuh manusia dan memastikan kebersihan dari sel surya. Alat ini juga nantinya dapat dipergunakan sebagai peluang usaha dalam bidang pembersihan sel surya baik skala perorangan maupun skala industri.

Dalam tulisan ini telah berhasil dirancang dan dibuat sebuah robot pembersih *solar modul PV* yang dapat dikendalikan tanpa menggunakan kabel atau nirkabel. Robot ini memiliki bobot sebesar 65 kg, kecepatan laju pembersihan dapat diatur sesuai keinginan, dan mudah dioperasikan. Hasil di lapangan juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan robot ini proses pembersihan *solar PV* menjadi lebih cepat, aman, dan mudah.

2. Metode

Pada dasarnya, robot dirancang sedemikian rupa sehingga mengurangi kesalahan manusia ketika berada pada lingkungan kerja [6]. Sehingga dengan robot yang proses yang tidak aman dapat dikurangi. Perancangan dilakukan dari proses observasi dan studi literatur, hasil dari keduanya kemudian diubah menjadi sebuah bentuk perancangan [7]. Dari hasil tersebut kemudian dilakukan sebuah proses eksperimen dalam bentuk pengujian alat untuk mendapatkan hasilnya. Gambar 1 menunjukkan alur *flowchart* penelitian yang dilakukan dari perancangan sampai dengan uji coba robot *solar cleaner*.



Gambar 1. Pengujian *prototype* pertama robot *solar cleaner*

2.1 Observasi dan Studi Literatur

Sebelumnya PT. Trimitra Nusantara Sakti memiliki pelanggan yang membutuhkan teknologi robot pembersih sel surya. Oleh sebab itu Politeknik Industri ATMI bekerja sama dengan PT. Trimitra Nusantara Sakti dalam program Matching Fund 2022 bersama mengembangkan produk robot yang berupa rekacipta mesin robot *solar cleaner*. Sebelumnya proses pembuatan *prototype* sudah pernah dilakukan oleh PT. Trimitra Nusantara Sakti. Gambar 2 menunjukkan proses uji coba *prototype* oleh PT Trimitra Nusantara Sakti di sebuah perusahaan multinasional di

Cikarang. Dari hasil uji coba di lapangan seperti pada Gambar 2 terdapat beberapa kekurangan dalam desainnya. Pada tabel 1 menunjukkan beberapa kekurangan dari *prototype* 1 yang nantinya akan dipakai untuk pengembangan mesin robot *solar PV cleaner* yang baru.



Gambar 2. Pengujian *prototype* pertama robot *solar cleaner*

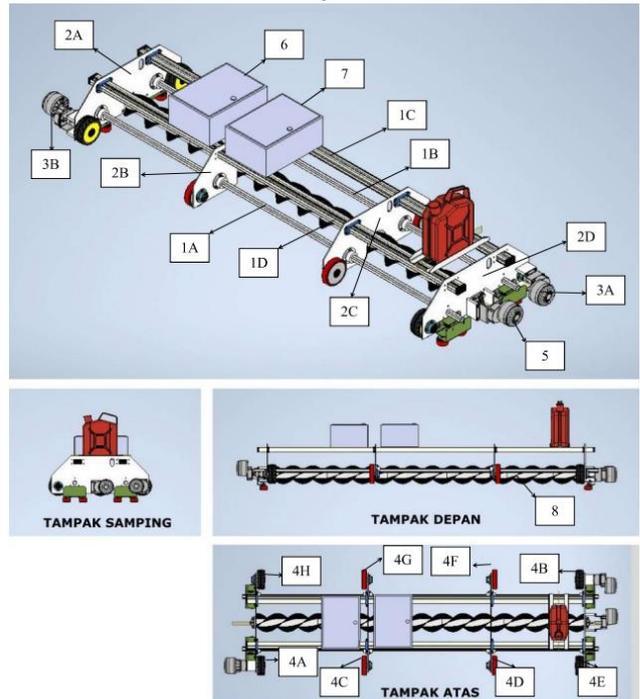
Tabel 1. Detail kekurangan *prototype* pertama

No	Kekurangan <i>Prototype</i> Pertama
1	Masih memiliki pengontrol yang terhubung dengan kabel dengan panjang yang terbatas
2	Ketika beroperasi masih harus selalu melalui proses pendampingan alat
3	Masih belum adanya sistem monitoring untuk melihat kapasitas baterai dan air
4	Masih belum bisa diatur panjang dari robot (tidak mudah mengikuti panjang <i>solar PV</i> yang berbeda-beda)

Solar PV yang dipakai memiliki dimensi panjang 191 cm, lebar 113 cm, dan tebal 5 cm. Dari hasil studi literatur pada penelitian yang dilakukan oleh Martin Sander [8] dan Nurhasliza Hashim [4] beban maksimum yang boleh diterima oleh modul *solar PV* sebesar 2,5 sampai dengan 5,4 MPa. Dengan tipe pembebanan perpendicular. Dari hasil tersebut maka berat mesin yang akan dibuat harus lebih kecil dari yang sudah ditentukan.

2.2 Desain Robot *Solar Cleaner*

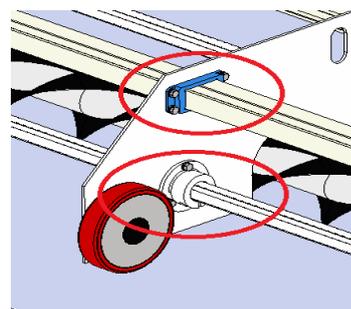
Sesuai dengan kekurangan yang ada pada tabel 1 maka proses desain dibuat berdasarkan kekurangan yang sudah ada. Bentuk desain dari robot *solar cell* dapat dilihat pada gambar 3. Dimensi utama alat robot *cleaner* yang dibuat 200 x 500 x 40 cm dengan berat 63 kg tanpa air.



Gambar 3. Desain robot *cleaner* yang akan dibuat

Keterangan: 1. Rangka utama (1A, 1B, 1C, 1D), 2. Slider plate (2A, 2B, 2C, 2D), 3. Motor DC (3A, 3B), 4. Roda penggerak (4A, 4B), Roda support (4C, 4D, 4E, 4F, 4g, 4H), 5. Motor DC, 6. Box baterai, 7. Box control, 8. Sikat brush dan penyiram air.

Untuk poin *adjustment* pada rancangan didapat dengan mengubah *Plate slider* seperti pada gambar 3. Dengan mengubah posisi *Plate slider* maka ukuran panjang dari robot *cleaner* dapat diubah sesuai dengan ukuran *solar panel* yang ada. Bagian yang dilingkari pada gambar 4 merupakan bearing house dan plate bracket dibuat mudah dilepas dan diatur berguna untuk memodifikasi panjang mesin robot *cleaner* guna menyesuaikan panjang modul *solar PV*.



Gambar 4. *Plate slider* robot

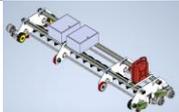
2.3 Perancangan Robot *Solar Cleaner*

Perancangan dimulai dengan pembuatan *prototype* 1 robot *solar cleaner*. *Prototype* pertama dibuat untuk mendapatkan data tentang pembersihan *solar PV* menggunakan media air. Pada Gambar 5 menunjukkan bentuk alat robot *cleaner prototype* pertama. Dari tabel 1 diketahui beberapa kekurangan dalam perancangan *prototype* pertama maka dari itu dibuatlah beberapa upgrade pada rancangannya.



Gambar 5. Bentuk *Prototype* robot *cleaner* pertama

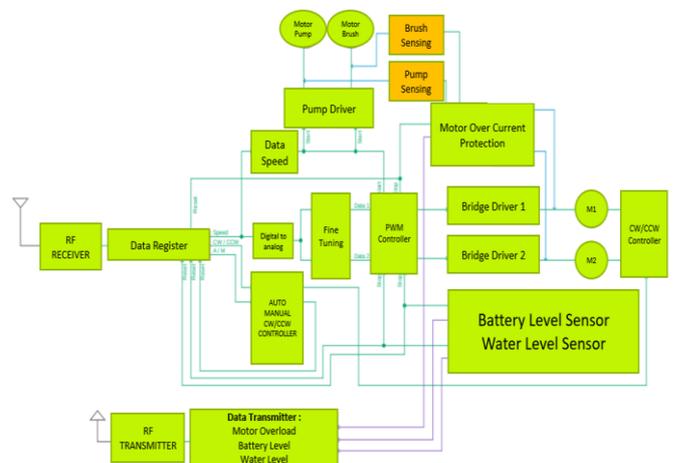
Tabel 2. Diagram engineering *prototype* dengan robot terbaru

No	Keterangan	<i>Prototype</i> Pertama	Robot Terbaru
1	Bentuk Desain		
2	Berat Alat	64 Kg tanpa air 74 Kg dengan air	63 kg tanpa air 73 kg dengan air
3	Jangkauan Lebar	190 cm	190 – 220 cm
4	Sumber Daya Robot	Baterai LiFePO4 DC 24V 42Ah	Baterai LiFePO4 DC 24V 42Ah
5	Sistem kontrol	Menggunakan remote dengan pengendali kabel	Menggunakan Sistem Nirkabel berbasis Radio Frequency yang digunakan sebagai media komunikasi antara robot dan pendant operator. Dan dilengkapi sistem web based
6	Sistem monitoring	Tidak diberikan	Sistem monitoring kapasitas baterai dan isi air di tangki
7	Kecepatan	Hanya bekerja di kecepatan 0.2 ms ⁻¹	bekerja di kecepatan 0,2 ms ⁻¹ ; 0.35 ms ⁻¹ ; 0.4 ms ⁻¹
8	Bearing	Normal bearing	SKF Sealed Bearing
9	Sistem kontrol	 Dengan kabel	 Tanpa kabel

Mesin robot *cleaner* kedua dibuat menggunakan program Inventor, di mana berat dari mesin direduksi dengan mengganti material pada beberapa part di bagian rangka alat [15]. Perubahan material dilakukan pada *Plate slider* yang sebelumnya dari material baja S45C diubah ke material Aluminium *alloy* 6061. Perubahan ini membuat berat mesin yang sebelumnya berbobot 64 kg menjadi 63 kg. perubahan pada berat tidak terlalu besar karena pada perancangan kedua ditambahkan baterai pada mesin robotnya. Tabel 2 menunjukkan diagram engineering *prototype* 1 dengan mesin robot *cleaner* terbaru. Dari tabel 2 diketahui bahwa ada beberapa perubahan mayor yang dirancang pada robot terbaru misalnya seperti proses *adjustment* jangkauan robot yang menjadi hal utama, hal tersebut berkaitan dengan panjang modul PV yang berbeda pada setiap merek modul PVnya. Panjang kabel yang terbatas juga menjadi permasalahan utama ketika proses pengoprasian *prototype* pertama. Hal tersebut dapat dihilangkan dengan mengubah sistem pengendali kabel menjadi nirkabel pada rancangan terbaru.

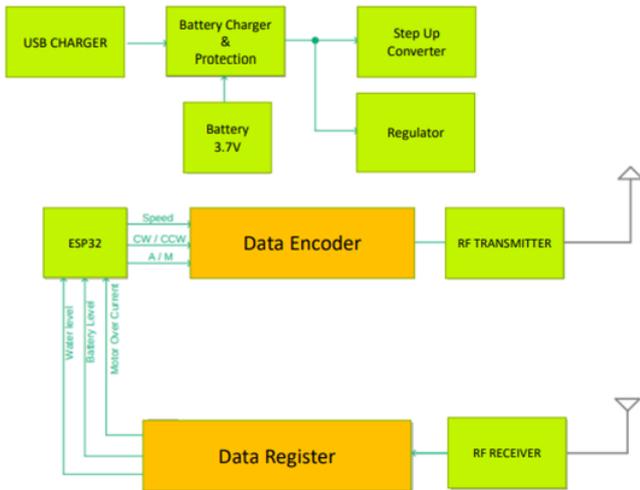
2.4 Perancangan Sistem Elektrik

Langkah pertama dalam perancangan sistem elektrik robot *solar cleaner* adalah membuat diagram *block*. Diagram *blok* adalah representasi bergambar singkatan dari hubungan sebab dan akibat antara input dan output dari sistem fisik. *Blok* diagram sama-sama berguna dalam ilmu manajemen, peradilan pidana dan ekonomi untuk pemodelan dan analisis sistem [9] [10]. Gambar 6 menunjukkan bentuk diagram *block* rangkaian elektrik robot *solar PV cleaner* (main board).



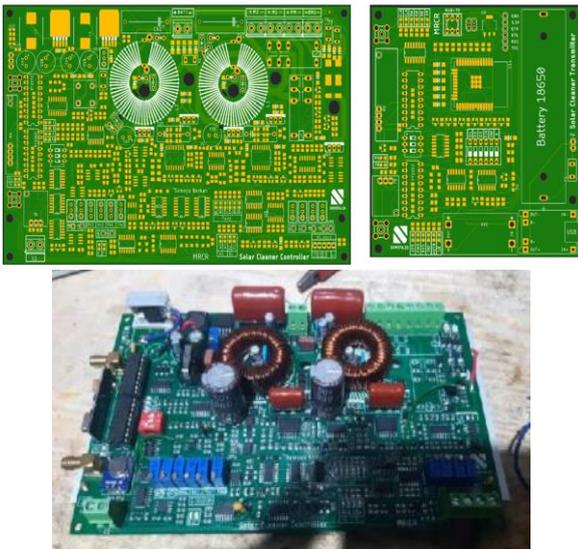
Gambar 6. *Block* Rangkaian Elektrik Robot *Solar PV Cleaner* (Main Board)

Selain *block* rangkaian elektrik robot dibuat juga *block* rangkaian control pendant untuk robot *solar PV cleaner*. Gambar 7 menunjukkan diagram *block* rangkaian elektrik control pendant robot *solar PV cleaner*



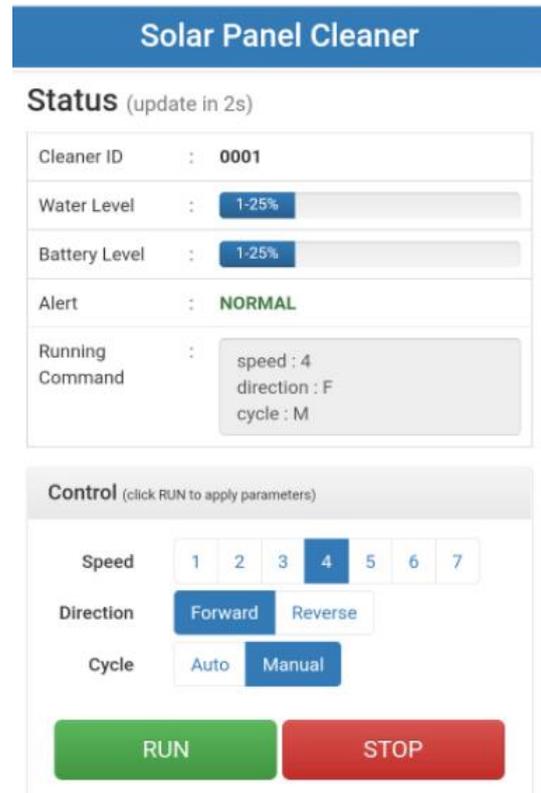
Gambar 7. Diagram *Block Rangkaian Elektrik Control Pendant Robot Solar PV Cleaner*

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*.



Gambar 8. 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 tersebut, alat ini memberikan alternatif dalam pengendaliannya baik dari sisi jarak pengendalian maupun kehandalan komunikasinya. Gambar 8 menunjukkan gambar PCB yang dibuat untuk bagian mainboard robot *solar PV cleaner* dan PCB bagian pendant *control robot solar PV cleaner* [11] [12]. Dari sistem kontrol menggunakan pendant tersebut membuat mesin dapat dikontrol menggunakan media tab ataupun handphone sebagai pengontrolnya dan aplikasinya dapat di-download. Pada gambar 9 menunjukkan bentuk tampilan sistem aplikasi *web based* yang dipakai untuk mengontrol robot *PV cleaner*.



Gambar 9. Tampilan control robot *PV cleaner*

3. Hasil dan Pembahasan

Sebelumnya menurut Jelani [13] pada hasil pengujian awalnya harus dilakukan tes kemampuan mesin. Tes ini dilakukan terhadap *prototype* pertama robot *solar PV cleaner*. Jenis tes dipakai kualitas untuk mengetahui kemampuan *prototype* pertama dalam memenuhi standar kualifikasi yang ditentukan di awal. Setelah itu dilakukan juga proses yang sama pada mesin robot *solar PV cleaner* supaya alat ini dapat dipakai dan bisa diproduksi. Beberapa langkah ini perlu dilakukan seperti pada penelitian sebelumnya oleh O A Nugroho [14], pada penelitiannya dilakukan beberapa langkah yang sama diikuti dalam hasil perancangan robot *solar PV cleaner* ini, bentuk tes tersebut seperti: 1. Tes fisik, meliputi berat alat, ukuran/ dimensi alat, 2. Tes fungsional, meliputi pengecekan apakah alat berfungsi dengan baik ketika digunakan dan mencapai target pembersihan ketika digunakan, 3. Tes performa meliputi speed, torsi, fungsi sistem kontrol nirkabel, dan jumlah pemakaian daya baterai ketika dipakai. 4. Tes ketahanan, tes ini dilakukan untuk mengetahui daya tahan robot yang sudah dibuat, kekuatan part-part pada robot baik dalam keadaan kering maupun basah dan juga mencapai target pembersihan ketika digunakan oleh operator lapangan.

Pengujian yang dilakukan di Politeknik Industri ATMI dilakukan di dua area. Pengujian tes fisik dan fungsional dilakukan di area bengkel Politeknik Industri ATMI sedangkan Tes performa dan ketahanan dilakukan pada *solar PV* yang dipasang di atap gedung. Gambar 10 menunjukkan

salah satu pengujian fisik dan performa dari mesin robot *cleaner* PV terbaru di tempat pengujian.



Gambar 10. Pengujian Fisik Robot *Solar PV Cleaner*

Tabel 3. Perbandingan properties fisik desain robot PV *cleaner*

Jenis	Dimensi (cm)	Bobot (kg)	
		Tanpa air	Dengan air
Prototype pertama	Panjang	190	74
	Lebar	70	
	Tinggi	48	
Robot solar PV <i>cleaner</i> terbaru	Panjang	190 – 270	73
	Lebar	77	
	Tinggi	50	

Tabel 4. Hasil tes fungsional mesin desain robot PV *cleaner*

Jenis Kotoran	Media Pembersih	Kecepatan (ms ⁻¹)		
		0.2	0.35	0.45
Debu	Water Spray	Bersih	Bersih	Kurang
Daun - daunan	Water Spray	Bersih	Bersih	Bersih

3.1 Hasil Tes Fisik Robot Terbaru

Perbandingan *properties* fisik desain dilakukan untuk mengubah bentuk dimensi dan berat dari *prototype* sebelumnya. Dengan mengubah beberapa bagian seperti *plate slider* dan *Pipe connector* rangka beban dari robot hasil desain terbaru dapat berkurang. Tabel 3 menunjukkan perbandingan properties fisik antara *prototype* 1 dengan mesin robot *cleaner* PV terbaru.

3.2 Hasil Tes Fungsional Robot *Cleaner* PV

Tes fungsional dipakai untuk mengetahui apakah robot hasil desain bekerja dengan baik. Tes yang dilakukan meliputi kecepatan gerakan robot ketika bekerja dan tingkat kebersihan, bentuk pengujian yang dilakukan ditampilkan pada gambar 8. Tabel 4 menunjukkan hasil pengujian fungsional robot *cleaner* terbaru dari hasil pada tabel 4 menunjukkan robot ini siap diuji di lapangan.

3.3 Hasil Tes Performa

Hasil tes performa robot *cleaner* juga dilakukan untuk menunjukkan kualitas dari alat yang telah dibuat. Tabel 5 menunjukkan hasil kualitas robot ketika proses pengujian.

Tabel 5. Hasil tes performa kualitas robot terbaru

Tipe pengujian	Hasil	Keterangan
Fungsi	Berhasil	<i>Brush</i> berputar normal, <i>Nozzle</i> air berfungsi maksimal. Mesin berjalan maju sesuai desain dan normal. Sensor bekerja dengan normal. Dapat dikendalikan dengan <i>remote</i> .
Motor dan Pompa	Motor Penggerak Motor <i>Brush</i> Pompa Air	Semua bekerja secara optimal tanpa ada masalah.
Baterai	Performa Baterai Bagus	per jam konsumsi baterai 5.2 Ah, dan dapat bekerja 8 jam tanpa masalah.
Kontrol	Board dan <i>Remote</i> berhasil	Pengontrol Nirkabel berupa RF <i>Communication</i> dapat berfungsi tetapi ada kelemahan di baterai yang dipakai untuk <i>remote</i> tidak bertahan lama.
Alarm System	Berhasil	Sistem alarm untuk <i>Battery & Water Capacities</i> bekerja dengan baik

3.4 Hasil Tes Ketahanan

Tahap berikutnya adalah tes ketahanan ketika beroperasi. Tes yang dilakukan di atap gedung dilakukan di atas modul *solar* PV. Modul *solar* PV yang akan diuji memiliki panjang 260 cm dengan lebar 120 cm. Dengan total modul sebanyak 30 modul *solar* PV. Gambar 11 menunjukkan kondisi tempat pengujian robot PV *cleaner* di atap sebuah gedung asrama mahasiswa di Cikarang.



Gambar 11. Lokasi pengujian di atap gedung di Cikarang

Tabel 6 menunjukkan hasil tes ketahanan dari robot *solar* PV *cleaner*. Tes ketahanan meliputi ketahanan part, ketahanan part elemen mesin, ketahanan suplai air. Selain tes ketahanan dilakukan juga perbandingan simulasi antara cara membersihkan dengan cara manual yang selama ini dilakukan dengan cara membersihkan dengan menggunakan

robot PV *cleaner* terbaru. Tabel 7 menunjukkan perbandingan estimasi biaya antara cara manual dengan menggunakan robot PV *cleaner*.

Tabel 6. Hasil tes ketahanan robot *solar PV* terbaru

Tipe pengujian	Hasil	Keterangan
Daya tahan motor	Berhasil	Motor dapat berputar sejauh 360 m tanpa mengalami kendala
Daya tahan pompa dan air media pembersih	Performa baik	Selama pembersihan brush berjalan dengan baik, untuk air pada tangki berisi 10 lt bisa dipakai untuk 2x proses pembersihan dengan total jarak pembersihan 360 m
Baterai	Performa Baterai Bagus	Berjalan lancar tanpa ada proses isi ulang daya baterai.
Control	Berfungsi	Baterai sering mati sehingga perlu bantuan charger. Proses bisa digantikan menggunakan handphone dengan menginstal aplikasi terlebih dahulu
System Sensor	Berhasil	Semua sistem untuk mendeteksi <i>Battery & Water Capacities</i> berjalan dan bekerja dengan baik
Waktu pembersihan	Cepat	Untuk jarak 180 m membutuhkan waktu 10 menit
Hasil pembersihan	Bersih	 <p>Bagian yang dilingkari menunjukkan perbedaan kondisi setelah dibersihkan dan sebelum dibersihkan.</p>

Tabel 7. Perbandingan proses pembersihan antara robot prototype pertama dengan robot PV *cleaner* terbaru

Keterangan	Metode	
	Prototype 1	Robot Cleaner
Waktu pembersihan 360 meter	1 jam	20 menit + persiapan
Operator	3 orang	1 orang
Biaya Operasi (UMR) perjam	Rp 30.000,-	Rp 10.000,-

Dari hasil pengujian sebelumnya didapatkan spesifikasi dari alat robot *solar PV cleaner* seperti pada tabel 8. Tabel 8 menunjukkan spesifikasi akhir dari robot PV *cleaner* yang

didapat mulai dari beban, jangkauan, control, hingga alarm sistemnya.

Tabel 8. Spesifikasi robot PV *cleaner*

Parameter	Spesifikasi
<i>Working Length</i>	: 900 – 2200 mm (<i>adjustable</i>)
<i>Travel Speed</i>	: 0,2 – 0,4 ms ⁻¹ (<i>adjustable</i>)
<i>Pump Motor</i>	: 70 Psi
<i>Brush Motor Design</i>	: <i>Rotated Brush</i>
<i>Metode</i>	: <i>Wet & Dry Cleaning</i>
<i>Battery Pack</i>	: LiFePO4 24 V 42 Ah – <i>Weight</i> : 6,3 kg
<i>Operating Time</i>	: <i>5 hours per battery pack</i>
<i>Side Frame</i>	: 7 Series Aluminium plate 6061 : 4 mm <i>thickness</i>
<i>Transmission</i>	: <i>Flexible Coupling</i>
<i>Cleaning Method</i>	: 120 mm 6 Flute Nylon Brush : <i>Water Spray with 2 side wiper</i>
<i>Tank Capacities</i>	: 10 L
<i>Weight</i>	: 63 kg including <i>battery</i>
<i>Control Methods</i>	: Nirkabel (<i>RF Communication, Web Based, Aps</i>)
<i>Monitoring System</i>	: <i>Water & Battery</i>
<i>Alarm System</i>	: <i>Battery & Water Capacities</i>

4. Kesimpulan

Proses pembersihan sel surya yang biasanya dilakukan secara manual dengan tenaga manusia, sekarang bisa dilakukan oleh mesin robot pembersih sel surya. Adapun tujuan pembuatan robot pembersih sel surya tersebut dalam mempermudah pekerjaan untuk merawat sel surya berhasil dengan baik. kemudian memastikan keselamatan dan keamanan pekerja menjadi terwujud karena mesin tidak perlu dioperasikan secara langsung oleh operator tetapi dapat dikontrol dari jarak jauh. Selain itu dengan menggunakan robot *solar PV cleaner* ini dapat mengurangi kerusakan dari sel surya dari beban tubuh manusia. Yang terakhir adalah dengan menggunakan alat ini kebersihan dari sel surya dapat dicapai.

Hal lain yang bisa didapatkan adalah alat ini juga dapat dipergunakan sebagai peluang usaha dalam bidang pembersihan sel surya baik skala perorangan maupun skala industri. Dari hasil ujicoba robot *solar PV cleaner* ini mampu menjawab kekurangan pada *prototype* pertama seperti sistem kontrol berbasis nirkabel sehingga operator tidak perlu mengiringi pergerakan robot, sistem monitoring untuk melihat kapasitas baterai dan air, dan bisa diatur panjangnya mengikuti panjang *solar PV* yang ada. Dari hasil perbandingan berat mesin juga menunjukkan adanya reduksi beban mesin robot dari *prototype* pertama dengan robot *solar PV cleaner* terbaru sebesar 1,56% dari beban *prototype* awal.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih yang ditujukan kepada pihak Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi melalui skema

pendanaan Matching Fund 2022 sehingga penelitian robot *cleaner* PV ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- [1] A. J. T. J. P. S. T. M. Yani, "Pengaruh Penambahan Alat Pencari Arah Sinar Matahari Dan Lensa Cembung Terhadap Daya Output *Solar Cell*," vol. 5, no. 2, 2017.
- [2] G. He, C. Zhou, and Z. J. P. E. Li, "Review of self-cleaning method for *solar cell* array," vol. 16, pp. 640-645, 2011.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] H. Rustan, H. J. J. o. A. M. Haryansyah, and A. System, "Rekayasa Perangkat Kendali Tangan Robot Menggunakan Modul Wireless NRF," vol. 3, no. 1, pp. 38-46, 2017.
- [7] H. Assiddiq and P. J. I. Hermanto, "Rancang Bangun Mesin Pencacah Rumput dan Pelepah Kelapa Sawit dengan Penggerak Motor Bensin Sebagai Pakan Ternak," vol. 13, no. 2, pp. 212-218, 2022.
- [8] M. Sander, S. Dietrich, M. Pander, M. Ebert, J. J. S. E. M. Bagdahn, and S. Cells, "Systematic investigation of cracks in encapsulated *solar* cells after mechanical loading," vol. 111, pp. 82-89, 2013.
- [9] A. Ismanto, "Sistem Monitoring pH AIR Pada Aquaponik Menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno Water pH Monitoring System On Aquaponics Using Arduino Uno Microcontrollers," Universitas Teknokrat Indonesia, 2019.
- [10] N. A. Pratama and C. J. J. P. D. F. Hermawan, "Aplikasi Pembelajaran Tes Potensi Akademik Berbasis Android," vol. 6, no. 1, 2016.
- [11] B. S. J. S. K. O. C. D. W. C. M. S. A. D. T. L. B. A. Sejati, "Sistem Kendali Overhead Crane Dengan Wireless Control Menggunakan Smartphone Android Dan Tampilan LCD Berbasis Arduino," 2019.
- [12] J. Purwanto, K. Suhada, R. Jayawiguna, A. Hananto, and A. Y. J. S. Rahman, "Design and Development of Automation System for Measurement of Flow Nozzle Robot Spray Based on Programmable Logic Controller and Human Machine Interface at PT ADM Casting Plant," vol. 2, no. 2, pp. 58-64, 2020.
- [13] A. R. Jelani, M. I. H. Azaman, and M. R. J. J. o. O. P. R. Ahmad, "The effect of vibration isolator on the magnitude of hand-arm vibration (HAV) of the oil palm motorised cutter (CANTAS)," vol. 31, no. 1, pp. 86-94, 2019.
- [14] O. A. Nugroho, A. R. K. Widhi, and S. J. J. P. K. S. Kumbarasari, "Rancang Bangun Alat Panen Portabel Sawit Bermotor Menggunakan Flexible Shaft," vol. 30, no. 2, pp. 83-94, 2022.
- [15] 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.