

PERKEMBANGAN RISET DAN PRODUK KOMERSIAL SISTEM PEMBERSIH PANEL SURYA

Muhammad Malik Al Falah¹, I Nyoman Satya Kumara², Wayan Gede Ariastina³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : muhammadmalik@unud.ac.id¹

ABSTRAK

Kebersihan panel surya merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi produksi energi suatu Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Pembersihan panel surya merupakan solusi untuk menjaga panel surya tetap dalam keadaan bersih sehingga produksi energi bisa optimal. Artikel ini meninjau perkembangan riset dan produk komersial untuk pembersihan panel surya. Hasil telaah menunjukkan terdapat berbagai teknik dan produk komersial untuk membersihkan panel surya. Teknik yang digunakan dalam pembersihan panel surya terbagi menjadi dua yaitu manual dan otomatis. Metode pembersihan manual merupakan metode yang membutuhkan tenaga manusia untuk mengoperasikan sistem tersebut. Sedangkan metode pembersihan otomatis merupakan metode yang dikontrol langsung oleh sistem tanpa membutuhkan tenaga manusia. Produk komersial pembersih panel surya antara lain berbentuk *telescopic pole* yang dilengkapi dengan sikat dan *water pump*, robot yang terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya yang dilengkapi dengan metode *dry clean* dan *water clean*, robot dengan sistem portabel menggunakan sikat rol panjang, robot portabel yang dilengkapi dengan penyedot debu dengan sistem *remote*, hingga sistem pembersih *mobile* menggunakan lengan robot.

Kata kunci: Unjuk kerja PLTS, Kebersihan panel surya, Pembersihan manual, Pembersihan otomatis

ABSTRACT

The cleanliness of the solar panels is one of the factors that affect the energy production of a solar power plant. Solar panel cleaning is a solution to keep solar panels clean so that energy production can be optimal. This article reviews research developments and commercial products for solar panel cleaning, with the result showing various applicable techniques and commercial products for solar panel cleaning purposes. There are two distinct techniques used in solar panel cleaning, manual and automatic. The manual cleaning method is a method that conducts any action to operate the system manually by humans. The automatic cleaning method is a method that is controlled directly by the system without the need for human interference. Commercial solar panel cleaning products include telescopic poles equipped with brushes and water pumps, a robot that is permanently attached to the solar panel support construction equipped with dry clean and water clean methods, a robot with portable systems using long roller brushes, a convenient robot which has a remote vacuum cleaner system, to a mobile cleaning system using a robotic arm.

Key Words: PLTS performance, Solar panel cleanliness, Manual cleaning, Automatic cleaning

1. PENDAHULUAN

Energi surya diprediksikan akan menjadi sumber energi utama di dunia menjelang tahun 2050 berdasarkan pada laporan Dewan Energi Nasional (DEN) tahun 2014 [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) telah berkembang pesat sejak tahun 2015 hingga dalam satu dekade terakhir di dunia. Pada tahun 2018 penambahan kapasitas PLTS terjadinya stagnasi akibat perlambatan di beberapa negara, seperti Tiongkok. Data dari IRENA (2018 dan 2019) menunjukkan bahwa kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) atap terpasang kumulatif *global* meningkat dari 14,7 GW pada akhir tahun 2008 menjadi 480,4 GW pada akhir tahun

2018. Hal ini mewakili sekitar 466 GW penambahan kapasitas energi bersih *global* selama sepuluh tahun terakhir. Penambahan energi surya dalam periode tahunan hanya sekitar 17 GW lebih banyak dari penambahan kapasitas energi angin (baik pemasangan di daratan ataupun di lepas pantai) pada periode yang sama. Namun PLTS kembali tumbuh pesat di tahun-tahun setelahnya [2], [3]. Pada tahun 2020, penambahan kapasitas tahunan PLTS mencapai 127 GW dan kapasitas kumulatif *global* telah mencapai 713 GW [4]. Pertumbuhan ini mencapai 30% lebih tinggi dari tahun 2019, yaitu 98 GW [5]. Dalam lima tahun ke depan, PLTS diprediksikan akan meningkat menjadi 1.500 GW dan pada tahun

2050 PLTS diproyeksikan menyuplai sepertiga kebutuhan energi listrik di dunia [6].

Indonesia telah merencanakan pembangunan PLTS sebesar 7% dari potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan pembangunan hampir mencapai 50%. Indonesia tercatat memiliki potensi energi surya sebesar 207.989 MW atau 4,8 kWh/m²/hari. Pemerintah Indonesia telah memberikan target dalam pembangunan PLTS mencapai 6,5 GW pada tahun 2025 [7]. Sedangkan berdasarkan Rencana Umum Energi Daerah (RUED) yang telah disusun oleh 34 Pemerintah Provinsi mengindikasikan bahwa total kapasitas EBT dapat mencapai 48 GW pada tahun 2025 [8]. Jumlah ini menunjukkan potensi yang cukup besar dalam pembangunan energi surya di Indonesia. Namun, target ini belum diikuti dengan kebijakan dan strategi yang dapat mempercepat pengembangan energi surya di Indonesia. Hingga kuartal 1 pada tahun 2021, kapasitas terpasang PLTS di Indonesia baru mencapai 191 MW, dimana 82 MW berasal dari pembangkit *off-grid* yang dibangun dengan dana APBN dan PLN, 63 MW dari PLTS skala besar skema pembangkit listrik swasta (IPP) dan sisanya dari PLTS atap [9]. Pencapaian pemasangan kumulatif PLTS per tahun 2020 sendiri masih cukup jauh dari target pemodelan RUEN di 2020 yaitu 900 MW [8].

PLTS merupakan suatu pembangkit listrik yang menggunakan cahaya matahari melalui sel surya (*photovoltaic*) untuk mengubah radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik. PLTS sendiri memiliki beberapa faktor yang dapat mempengaruhi unjuk kerja diantaranya iradiasi matahari, suhu panel surya, *shading*, tingkat kebersihan panel surya dan sudut kemiringan serta orientasi pemasangan panel surya tersebut [10]. Kebersihan panel surya merupakan perhatian khusus yang harus dijaga, dimana deposisi debu dan kotoran pada panel surya akan mempengaruhi penyinaran iradiasi matahari pada panel surya, sehingga dapat mengakibatkan produksi energi yang dihasilkan tidak optimal.

Alat pembersih panel surya merupakan solusi untuk menjaga panel surya tetap dalam keadaan bersih dengan melakukan pembersihan secara berkala. Alat pembersih panel surya sendiri telah banyak dibuat dengan berbagai jenis alat untuk mengoptimalkan strategi pembersihan [11]. Alat pembersih tersebut terbagi menjadi dua metode pembersihan yaitu secara manual

yang membutuhkan tenaga manusia untuk pengoperasian sistemnya dan secara otomatis dengan menggunakan mesin dalam pengoperasian sistemnya, sehingga tidak membutuhkan tenaga manusia untuk melakukan pembersihan panel surya tersebut. Seiringnya perkembangan teknologi di dunia telah banyak alat pembersih panel surya yang dikembangkan ataupun prototipe yang dipasang secara tetap pada kerangka panel surya dan secara portabel yang dapat dipindahkan dengan dilengkapi berbagai alat pembersih tambahan seperti *wiper* dan sikat yang memiliki gerakan bervariasi serta *water pump* sebagai penyemprotan air melalui selang ke panel surya.

Alat pembersih panel surya cukup penting untuk dikembangkan dari riset ataupun produk-produk komersial yang inovatif sebagai pendukung perkembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dimasa depan. Dimana pembangunan PLTS tersebut akan bertambah dengan jumlah yang cukup banyak baik karena target pemerintah dalam mengembangkan energi bersih dan beranjaknya kesadaran masyarakat terhadap penggunaan PLTS serta harga PLTS yang menjadi murah.

Berdasarkan latar belakang diatas artikel ini mencoba mengamati perkembangan riset dan produk komersial sistem pembersih panel surya yang tersedia di pasar *global*. Telaah ini diharapkan bisa mendapatkan informasi tentang bagaimana perkembangan alat pembersih dan sistem pembersih panel surya.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Blok Penelitian

Langkah pertama adalah membahas tentang faktor-faktor unjuk kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Tujuan dari *review* ini untuk mengetahui faktor apa saja yang dapat mempengaruhi unjuk kerja PLTS, sehingga dapat diperoleh informasi tentang unjuk kerja PLTS.

Langkah kedua adalah tinjauan metode pembersihan panel surya. Tujuan dari *review* cara pembersihan panel surya untuk mengetahui berbagai cara yang diusulkan oleh penelitian terdahulu.

Langkah ketiga adalah tinjauan terhadap produk komersial yang tersedia di *market global*. Tujuan dari *review* alat atau sistem yang tersedia di pasar adalah untuk mengetahui alat atau sistem yang sudah tersedia di *market global*.

Langkah keempat adalah tinjauan metode pembersihan secara otomatis. Tujuan dari *review* ini adalah untuk mengetahui perkembangan alat pembersih otomatis di dunia. Tinjauan ini akan menghasilkan spesifikasi alat pembersih otomatis yang telah dikembangkan dari penelitian sebelumnya.

Langkah selanjutnya adalah mengolah data dan menganalisis data dari studi literatur untuk memperoleh status metode pembersihan panel surya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Faktor Unjuk Kerja Panel Surya

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi produksi energi listrik antara lain tingkat intensitas iradiasi matahari, suhu panel surya, *shading*, tingkat kebersihan panel surya dan sudut kemiringan serta orientasi pemasangan panel surya [12]. Energi yang dihasilkan panel surya akan menurun seiring menurunnya iradiasi matahari. Peningkatan suhu di atas standar koefisien suhu pada panel surya akan mempengaruhi penurunan produksi energi sekitar 0,4% setiap peningkatan 1°C [13],[14]. Selain itu kenaikan suhu berlebih dapat mengakibatkan kerusakan pada panel surya [15]. Penurunan produksi energi dari panel surya juga dipengaruhi oleh *shading*, dimana terjadi penutupan penyinaran matahari pada panel surya oleh bayangan sehingga energi yang dihasilkan tidak maksimal [16].

Deposisi debu yang disebabkan oleh kotoran yang menempel pada panel surya juga dapat mengurangi iradiasi matahari yang diterima oleh panel surya. Sujana dkk melakukan percobaan pengaruh kebersihan panel surya terhadap unjuk kerja panel surya yang dilakukan di Bali, Indonesia. Pada percobaan ini digunakan dua panel surya

yang identik 14,1 Wp dengan satu panel surya dibersihkan secara berkala dan satu panel surya lainnya dibiarkan terkena dampak kotoran oleh lingkungan sekitar. Hasil dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa panel surya yang dibersihkan menghasilkan daya yang lebih tinggi sebesar 13,63 W dibandingkan dengan panel surya yang tidak dibersihkan sebesar 13,45 W. Penurunan produksi daya pada panel surya yang tidak dibersihkan sebesar 5,48%, menunjukkan bahwa tingkat kebersihan panel surya mempengaruhi persentase produksi daya [17]. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Gunawan dkk menunjukkan hasil simulasi perbandingan produksi energi akibat *shading* dan kebersihan panel surya. Didapatkan bahwa perbedaan produksi energi riil sebesar 4.107,4 kWh per tahun atau 9,53% dari produksi energi yang dihasilkan pada simulasi sebesar 43.055,4 kWh per tahun [18].

Pengaruh debu dan cuaca terhadap unjuk kerja photovoltaik di Doha, Qatar juga dilakukan oleh Guo dkk. Hasil dari percobaan tersebut menunjukkan bahwa rata-rata indeks penurunan unjuk kerja PV yang disebabkan oleh kotoran sebesar 0,0042 (standar deviasi 0,0080) atau -0,52% per hari untuk panel surya "*Low wash*" dan 0,0045 (standar deviasi 0,0091) atau -0,55% per hari untuk panel surya "*Medium wash*" [19],[20]. Tingkat kekotoran selama enam tahun mencapai rata-rata 75%, sedangkan 25% terjadi resuspensi tingkat kekotoran yang disebabkan oleh angin kencang. Dampak badai debu di Qatar pada musim dingin akan menyebabkan tingkat kotoran yang lebih tinggi dibandingkan dengan musim panas [20],[21]. Secara keseluruhan badai debu dapat menyebabkan 8% penurunan penyinaran matahari pada permukaan panel surya dengan rata-rata tingkat kekotoran tahunan sebesar 23% [21]. Penelitian pengaruh dampak debu lainnya yang dilakukan oleh Salimi dkk di Tehran, Iran dengan melakukan percobaan menggunakan dua panel surya. Dimana satu panel surya dibersihkan setiap hari dan satu panel surya dibiarkan terkena kotoran selama 45 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa daya keluaran pada panel surya tidak dibersihkan terjadinya penurunan sebesar 8% sampai dengan 12% dan hasil dari prediksi perubahan indeks kebersihan harian menunjukkan bahwa deposisi debu yang memiliki dampak paling besar yaitu sebesar 21,56% [22].

Sudut kemiringan panel surya juga mempengaruhi proses penyerapan sinar matahari. Setiap lokasi memiliki sudut

kemiringan optimal yang berbeda-beda untuk mencapai produksi daya maksimal oleh panel surya. Daya optimum panel surya tercapai jika sudut sinar matahari terhadap panel surya selalu 90° . Sedangkan kemiringan sumbu rotasi bumi sekitar $23,45^\circ$ terhadap bidang orbit bumi terhadap matahari [23].

3.2 Teknik Pembersihan Panel Surya

Teknik pembersihan panel surya terbagi menjadi 2 yaitu manual dan otomatis. Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak melakukan pembersihan panel surya secara manual yang menggunakan selang untuk penyemprotan air dengan tekanan yang kuat pada permukaan panel surya [24]. Pembersihan secara manual lainnya menggunakan penyemprot air bertekanan tinggi, alat penyemprot cairan, *squeegee*, *spons* lembut sebagai alat pembersih tambahan pada panel surya [17]. Terdapat beberapa jenis teknik pembersihan panel surya secara otomatis antara lain, robot yang menyerupai mobil dilengkapi dengan *wiper* sebagai alat pembersih yang bergerak secara vertikal maupun horizontal dan *water pump sprayer* untuk penyemprotan air melalui selang air ke panel surya, robot yang menyerupai mobil dilengkapi dengan sikat yang bergerak secara berputar vertikal maupun horizontal mengikuti lajur alat pembersih dan *water pump sprayer* untuk penyemprotan air melalui selang air ke panel surya serta robot yang menyerupai mobil dilengkapi dengan alat pembersih menggunakan kain panel yang bergerak secara vertikal maupun horizontal dan *water pump sprayer* untuk penyemprotan air melalui selang air ke panel surya [25-28].

Selain menggunakan robot yang menyerupai mobil, adapun robot pembersih panel surya secara otomatis yang terpasang tetap pada kerangka panel surya yang telah dikembangkan dengan teknologi canggih antara lain, robot pembersih yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dilengkapi dengan *wiper* yang bergerak secara vertikal maupun horizontal dan pompa air sebagai penyemprotan air melalui selang air ke panel surya, robot pembersih yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dilengkapi dengan *wiper* yang bergerak secara vertikal dengan kerangka penyangga yang mampu bergerak horizontal dan pompa air sebagai penyemprotan air melalui selang air ke panel surya, robot pembersih yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dilengkapi dengan sikat yang bergerak

secara vertikal maupun horizontal dan pompa air sebagai penyemprotan air melalui selang air ke panel surya, robot pembersih yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dilengkapi dengan pompa air saja sebagai penyemprotan air melalui selang air ke panel surya serta robot pembersih yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dilengkapi dengan kemoceng yang bergerak horizontal [29-39].

3.3 Produk Pembersih Panel Surya

Alat pembersih panel surya telah banyak dibuat dari berbagai negara dengan alat yang berbeda-beda. Berikut ini merupakan alat pembersih panel surya yang tersedia di pasar *global*.

1. Sapu *telescopic extentool*

Desain alat ini cukup sederhana, dimana bentuk alat tersebut seperti sapu dengan menggunakan bahan aluminium *telescopic handle* yang dilengkapi dengan *water pump*. Alat ini menggunakan teknik pembersihan secara manual dengan melakukan penyemprotan air dari tanki air melalui selang menuju ujung sikat *telescopic*. Alat pembersih panel surya sapu *telescopic extentool* ditunjukkan pada Gambar 2 [40].



Gambar 2. Sapu Manual dengan Air dan Sikat *Extentool* [40]

2. Sapu *telescopic HQ Mount*

Desain alat ini cukup sederhana, dimana bentuk alat ini seperti sapu yang dilengkapi dengan dua sikat dan *water pump*. Teknik pembersihan pada alat ini secara manual, dua sikat tersebut akan bergerak secara berputar horizontal yang digerakkan oleh motor dan *water pump* akan memompa air melalui selang dari tanki air menuju ujung kedua sikat *telescopic*. Alat pembersih panel surya sapu *telescopic HQ mount* ditunjukkan pada Gambar 3 [41].



Gambar 3. Sapu dengan Air & Sikat Berputar Horizontal HQ Mount [41]

3. Sapu *telescopic gold dasion*

Desain alat ini cukup sederhana menyerupai kuas rol, dimana bentuk alat ini seperti sapu dengan menggunakan bahan material *telescopic pole* yang dilengkapi sikat dan *water pump*. Teknik pembersihan alat ini secara manual, alat sikat pembersih ini bergerak secara berputar vertikal yang digerakkan oleh motor, kemudian *water pump* akan memompa air melalui selang dari tanki air menuju ujung sikat *telescopic*. Alat pembersih panel surya sapu *telescopic gold dasion* ditunjukkan pada Gambar 4 [42].



Gambar 4. Sapu dengan Air & Sikat Berputar Vertikal Gold Dasion [42]

4. Robot mobil *cop rose*

Desain robot ini berukuran 24 cm x 24 cm dengan sistem portabel yang dapat dipindahkan. Robot ini menggunakan penyedot debu sebagai pembersih pada permukaan panel surya yang terletak di bagian bawah konstruksi robot. Robot ini dapat bergerak secara linier. Mode kontrol pada robot ini menggunakan *remote control*. Kecepatan robot ini mencapai 2,4 menit/meter persegi. Berikut merupakan robot menyerupai mobil *cop rose* yang ditunjukkan pada Gambar 5 [43].



Gambar 5. Robot Mobil dengan Penyedot Debu *Cop Rose* [43]

5. Robot ekskavator *soeasy*

Desain robot ini menyerupai ekskavator dengan sistem portabel yang dapat dipindahkan. Robot ini menggunakan sikat rol panjang, sikat ini bergerak secara berputar vertikal. Teknik pembersihan pada robot ini yaitu *dry clean*. Operasi robot ini menggunakan *remote control* yang dapat dikendalikan dari jarak jauh. Kecepatan berjalan robot ini mencapai 2,5-3,5 km/h dengan kecepatan kerja alat yaitu 1,5-2,5 km/h. Sedangkan kecepatan rotasi sikat mencapai 400-500 rpm dengan diameter sikat 700 mm dan panjang 3600-4200 mm. Berikut merupakan robot ekskavator *soeasy* yang ditunjukkan pada Gambar 6 [44].



Gambar 6. Robot Ekskavator dengan Sikat Rol Panjang Berputar Vertikal *Soeasy* [44]

6. Robot *bluesun solar*

Robot ini didesain terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya. Robot ini menggunakan sikat kering yang terletak di bawah konstruksi sebagai pembersih panel surya. Teknik pembersihan yang digunakan yaitu *dry cleaning*. Kecepatan gerak robot ini mencapai 12 meter/menit dengan lebar pembersihan 2-6 meter. Maksimum pembersihan mencapai 400 meter. Berikut merupakan robot *bluesun solar* yang ditunjukkan pada Gambar 7 [45].



Gambar 7. Robot Terpasang Secara Tetap pada Panel Surya dengan Penyedot Debu & Sikat *Bluesun Solar* [45]

7. Robot *multifit*

Robot ini didesain terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya. Robot ini menggunakan sikat yang terletak dibagian bawah konstruksi robot sebagai pembersih panel surya. Teknik pembersihan pada robot ini terbagi menjadi 2 yaitu *dry clean* dan *water clean*. Kecepatan gerak robot ini mencapai 15 meter/menit dengan maksimum pembersihan mencapai 800 meter. Berikut merupakan robot *multifit* yang ditunjukkan pada Gambar 8 [46].



Gambar 8. Robot Terpasang Secara Tetap pada Panel Surya dengan Sikat dan Penyedot Debu Serta Penyemprotan Air *Multifit* [46]

3.4 Alat Pembersih Panel Surya Otomatis

Alat pembersih dengan sistem kontrol otomatis merupakan seperangkat alat mekanik atau elektronik yang dapat di kontrol langsung oleh sistem tanpa membutuhkan tenaga manusia untuk pengoperasiannya. Alat pembersih secara otomatis pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya telah banyak dibuat dengan berbagai macam jenis alat yang digunakan dari penelitian terdahulu.

Penelitian yang dilakukan pada tahun 2018 oleh Riawan dkk yang membuat sebuah alat pembersih dengan desain robot menyerupai mobil. Komponen mekanik robot pembersih ini menggunakan bahan akrilik. Robot ini memiliki tiga roda dengan dua tumit dibagian belakang sebagai penggerak robot dan satu roda di posisi depan sebagai pendukung. Robot ini memiliki satu lapisan bagian tengah yang digunakan untuk penempatan sikat pembersih dan penyimpanan air. Cara operasi robot ini yaitu motor servo akan menggerakkan sikat secara horizontal dan pompa air akan menyala untuk memompa air melalui selang ke permukaan panel surya untuk membersihkan kotoran. Robot tersebut menggunakan navigasi yang sudah dikontrol mikrokontroler arduino dan dijalankan sesuai dengan keinginan sistem kendali pada permukaan panel surya tersebut. Robot mobil tersebut ditunjukkan pada Gambar 9 [25].



Gambar 9. Robot Mobil dengan Gerak Sikat Horizontal & Penyemprotan Air [25]

Tahun 2019 Hashim dkk membuat sebuah robot pembersih dengan desain menyerupai mobil. Robot ini memiliki 4 roda dengan 2 roda di posisi depan dan 2 roda di posisi belakang serta kamera mini yang diletakkan pada konstruksi bagian depan robot. Robot ini dilengkapi dengan sikat dan *water pump sprayer* sebagai pembersih panel surya. Cara operasi robot ini bergerak secara otomatis maju-mundur yang dikendalikan oleh mikrokontroler arduino, dimana pada saat robot bergerak maju *water pump* dan sikat akan menyala. Sikat tersebut bergerak secara berputar yang digerakkan oleh motor servo. Setelah robot tersebut mencapai titik terakhir permukaan panel surya yang dideteksi oleh sensor jarak, robot akan bergerak mundur dan akan membersihkan panel surya kembali. Percobaan ini dilakukan pada panel surya ukuran yang kecil dan tidak memiliki sudut kemiringan tertentu. Robot mobil tersebut ditunjukkan pada Gambar 10 [27].



Gambar 10. Robot Mobil dengan Gerak Sikat Vertikal & Penyemprotan Air [27]

Tahun 2020 Kusuma dkk membuat sebuah robot pembersih otomatis yang terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya. Desain robot ini menggunakan rangka dari bahan kayu dan sebagai dindingnya menggunakan bahan dari kardus 3 layer. Komponen yang digunakan sebagai pembersih panel surya yaitu *wiper* dengan rangka dari bahan melamin, untuk pembersihan airnya menggunakan bahan busa padat. Operasi robot ini menggunakan mikrokontroler arduino sebagai sistem kontrol, robot ini akan bekerja apabila kondisi kadar debu $> 0,04 \text{ mg/m}^3$ serta waktu yang ditentukan yaitu pukul 06:00 dan pukul 18:00, kemudian sistem kontrol akan menyalakan pompa terlebih dahulu selama 10 detik, selanjutnya servo akan menyala dan menggerakkan *wiper* untuk membersihkan panel surya. Pada sistem kendali ini terdapat umpan balik, berupa sensor debu yang akan membandingkan kadar debu saat setelah pembersihan dengan kadar debu referensi. Berikut merupakan robot pembersih panel surya yang terpasang secara tetap tersebut ditunjukkan pada Gambar 11 [14].



Gambar 11. Robot Terpasang Secara Tetap pada Panel Surya dengan Gerak *wiper* Horizontal dan Penyemprotan Air [14]

Robot CRISP merupakan sebuah robot pembersih otomatis yang terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga yang dibuat pada tahun 2020 oleh Anilkumar dkk. Desain

robot ini secara modular dengan gerakan dua sumbu arah X dan Y di permukaan panel surya. Robot pembersih ini menggunakan aluminium sebagai konstruksi modular tersebut. Robot tersebut memiliki 1 set roda *dummy* yang terletak dua di bagian atas dan dua dibagian bawah yang digerakkan oleh motor. CRISP ini menggunakan satu set sikat mikrofiber dan *water* sebagai alat pembersih pada permukaan panel surya. Operasi robot ini secara horizontal pada permukaan panel surya dan akan berhenti dalam waktu yang sudah ditentukan, kemudian alat pembersih yang membawa sikat mikrofiber akan bergerak secara vertikal turun-naik untuk membersihkan panel surya tersebut. Selanjutnya konstruksi penyangga robot pembersih akan bergerak melakukan perpindahan pada panel surya lainnya dan robot pembersih akan bekerja kembali. Setelah melakukan pembersihan pada panel surya konstruksi penyangga robot akan kembali ke tempat parkir konstruksi yang sudah disediakan. Berikut merupakan robot pembersih panel surya yang terpasang secara tetap tersebut ditunjukkan pada Gambar 12 [36].



Gambar 12. Robot Terpasang Secara Tetap pada PLTS dengan Gerak Sikat Vertikal dan Gerak Penyangga Horizontal Serta Penyemprotan Air (CRISP) [36]

Tahun 2020 Alshlian dkk membuat robot pembersih otomatis yang terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya. Desain robot ini menggunakan *stainless steel* dan konstruksi penyangga panel surya ini menggunakan aluminium serta sebagai rel robot pembersih. Robot ini hanya dilengkapi dengan *water pump* sebagai pembersih panel surya. Robot tersebut akan beroperasi pada waktu yang telah ditentukan, dimana robot akan bergerak secara naik-turun yang digerakkan oleh motor DC, kemudian pompa air akan menyala dan melakukan penyemprotan air ke panel surya. Berikut

merupakan robot pembersih panel surya yang terpasang secara tetap tersebut ditunjukkan pada Gambar 13 [37].



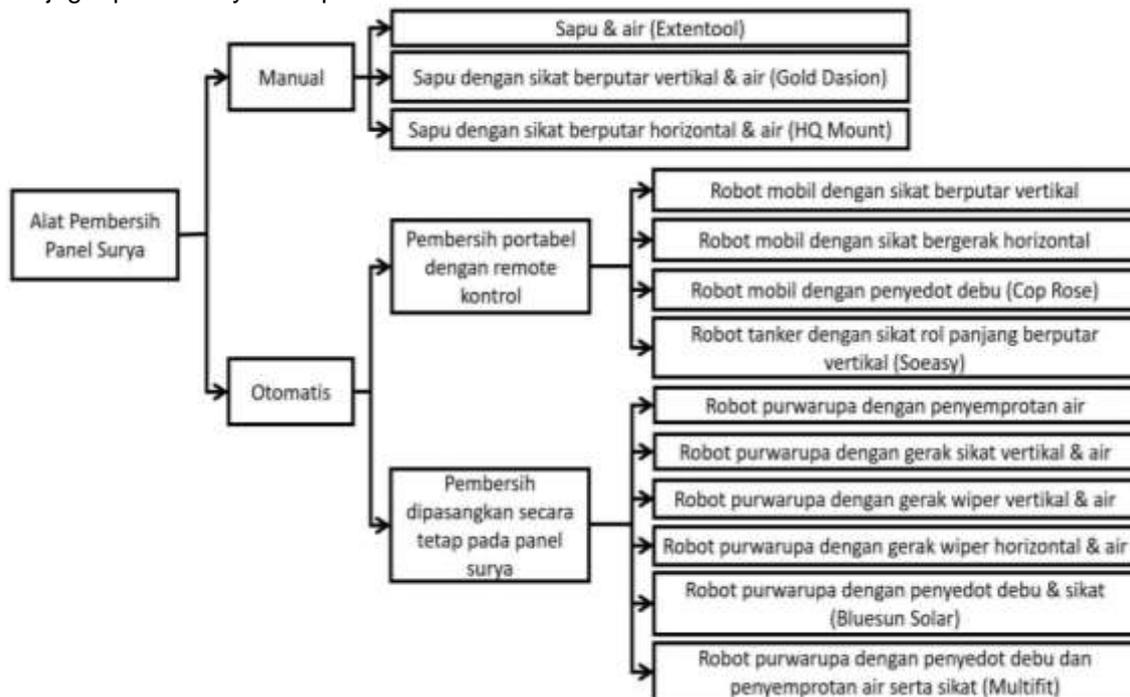
Gambar 13. Robot Terpasang Secara Tetap pada Panel Surya dengan Gerak *wiper* Vertikal & Penyemprotan Air [37]

3.5 Status Teknik Pembersihan Panel Surya

Kebersihan permukaan panel surya adalah salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi unjuk kerja panel surya tersebut. Apabila panel surya terkena kotoran oleh lingkungan sekitar, maka akan menyebabkan penyinaran matahari pada panel surya tidak optimal dan mengakibatkan penurunan daya *output* yang dihasilkan panel surya tersebut. Sehingga diperlukan pembersihan secara berkala dengan menggunakan sebuah alat pembersih untuk menjaga panel surya tetap dalam keadaan

bersih. Berdasarkan tinjauan alat pembersih panel surya terhadap riset penelitian terdahulu dan produk komersial yang tersedia di pasar dapat disimpulkan bahwa cara pembersihan panel surya telah banyak dilakukan dengan menggunakan sikat dan *wiper* sebagai alat pembersih tambahan pada panel surya serta menggunakan *water pump* sebagai penyemprotan air ke panel surya tersebut. Cara pembersihan panel surya sendiri bervariasi, dimana terdapat pembersihan secara horizontal maupun secara vertikal dan kombinasi.

Alat pembersih panel surya telah banyak dibuat pada penelitian terdahulu, dimana alat yang dibuat dengan berbagai jenis seperti robot mobil dan robot yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya. Berbagai jenis alat pembersih panel surya yang dilengkapi metode *dry clean* maupun *water clean* buatan dari berbagai negara sudah banyak tersedia di pasar *global* antara lain robot pembersih panel surya dengan sistem portabel yang dapat dipindahkan dan robot pembersih panel surya yang dipasang secara tetap pada kerangka panel surya dengan berbagai macam ukuran serta jenis *water pump* sebagai pemompa air yang akan disalurkan melalui selang air ke permukaan panel surya. Berikut ini merupakan diagram perkembangan alat pembersih panel surya dari riset dan produk komersial ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Diagram Status Teknik Pembersihan Panel Surya

4. KESIMPULAN

Artikel ini telah meninjau perkembangan riset dan produk komersial pembersihan panel surya. Terdapat dua teknik untuk membersihkan panel surya yaitu peralatan yang dioperasikan secara manual dan peralatan yang dioperasikan secara otomatis dengan menggunakan mesin atau robot. Hasil dari riset, alat pembersih panel surya terdapat berbagai macam jenis alat pembersih antara lain, menggunakan selang air dengan penyemprotan manual dan spons lembut untuk membersihkan bagian permukaan panel surya, robot menyerupai mobil yang dilengkapi dengan sikat yang bergerak secara horizontal maupun vertikal serta robot yang terpasang secara tetap pada kerangka panel surya dengan dilengkapi alat pembersih tambahan yaitu *wiper* dan sikat yang dapat bergerak secara horizontal maupun vertikal. Alat pembersih panel surya telah berkembang pesat dari tahun ke tahun baik itu yang dibuat secara manual ataupun secara otomatis untuk membersihkan permukaan panel surya antara lain, berbentuk *telescopic pole* yang dilengkapi sikat dan *water pump* dengan pembersihan manual, robot yang terpasang secara tetap pada konstruksi penyangga panel surya yang dilengkapi dengan metode *dry clean* dan *water clean*, robot ekskavator dengan sistem portabel menggunakan sikat rol panjang, robot portabel yang dilengkapi dengan penyedot debu dengan sistem *remote*, hingga sistem pembersih *mobile* menggunakan lengan robot.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purnomo, H. Laporan Dewan Energi Nasional (DEN). Jakarta. 2004 : 1-59.
- [2] Whiteman, A, Esparrago, J, Elsayed, S, Rueda, S, Arkhipova, L, Mir, W, Gonzalez, A, Sohn, H, & Usmonova, S. Renewable Energy Statistic. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. 2018 : 1-362.
- [3] Hawila, D, Guadarrama, C, Bianco, E, & Ali, A, A. Renewable Energy Auctions: Status and Trends Beyond Price. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. 2019 : 1-104.
- [4] Whiteman, A, Akande, D, Elhassan, N, Escamilla, G, Lebedys, A, & Arkhipova, L. Renewable Capacity Statistics. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. 2021 : 1-64.
- [5] Camera, L. Renewables Account for Almost Three Quarters of New Capacity In 2019. International Renewable Energy Agency (IRENA). Abu Dhabi. 2020.
- [6] Engel, D. More Than The Sun : The Solar Outlook Report. Det Norske Veritas (DNV).
- [7] EBTKE. Peluang Besar Kerja Target EBT Melalui Energi Surya. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/09/26/2348/peluang.besar.kejar.target.ebt.melalui.energi.surya>. Diakses tanggal 4 Desember 2021.
- [8] Sutijastoto, F, X. Kebijakan, Regulasi dan Inisiatif Pengembangan Energi Surya di Indonesia. Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE). Jakarta. 2019 : 1-43.
- [9] Tampubolon, A, Kurniawan, D, Arinaldo, D, Puspitarini, D, H, Damayanti, H, & Marciano, I. Beyond 207 Gigawatts : Unleashing Indonesia's Solar Potential. Institute for Essential Service Reform (IESR). Jakarta. 2021 : 1-34.
- [10] Pangaribuan, M, B. Desain PLTS Atap Kampus Universitas Udayana : Gedung Administrasi. Bali, Skripsi Universitas Udayana : 2020.
- [11] Bahattab, A, M. "Anti-soiling surfaces for PV applications prepared by sol-gel processing: Comparison of laboratory testing and outdoor exposure," *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2016 vol. 157, hal. 422-428.
- [12] Ansyah, R, P, Cahyono, R, G, Muntaha, M, & Riadi, J. Studi Pengaruh Pendinginan Terhadap Udara Performa Panel Surya dengan Beban Lampu LED. Jurnal Poros Teknik 2020. Vol.12, hal.66-71.
- [13] Nathawibawa, B, B, N, A, A, Kumara, S, N, I, & Ariastina, G, W. Analisis Produksi Energi dari Inverter pada Grid-connected PLTS 1 MWp di Desa Kayubih Kabupaten Bangli. *Teknologi Elektro* 2017. Vol.16, hal.132.
- [14] Kusuma, W, R, M, Apriakar, E, & Djuniadi. 'Rancang Bangun Sistem Pembersih Otomatis Pada Solar Panel Menggunakan *wiper* Berbasis Mikrokontroler', *Jurnal Ilmiah Elektronika* 2020 Vol.19, hal. 23-24..
- [15] Suhartati Agoes, D. M. Rancangan Model Sistem Komunikasi Pembersih Debu Sel SURYA Berbasis WIFI & SMS. *JURNAL ELEKTRO* 2015 Vol.8, hal.111-113.

- [16] Anggara, A, G, W, I, Kumara, S, N, I, & Giriantari, D, A, I. 'Studi terhadap unjuk kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1,9 kW di Universitas Udayana Bukit Jimbaran', *E-Journal SPEKTRUM* 2014 Vol.1, hal.118.
- [17] Sujana, A, P, Kumara, S, N, I, & Giriantari, D, A, I. 'Pengaruh Kebersihan panel Surya Terhadap Unjuk Kerja PLTS', *E-Journal SPEKTRUM* 2015 Vol.2, hal.53.
- [18] N. Surya Gunawan, I. N, & Kumara, S, N, I Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 26,4 KWP Pada Sistem SMART MICROGRID UNUD. *Jurnal SPEKTRUM* 2019. Vol.6, hal.3.
- [19] Guo, B, Javed, W, Figgis, W, B, & Mirza, T. Effect of Dust and Weather Conditions on Photovoltaic Performance In Doha, Qatar. *First Workshop on Smart Grid and Renewable Energy (SGRE)* 2015. Hal 1-6.
- [20] Javed, W, Guo, B, Wubulikasimu, Y, & Figgis, W, B. Photovoltaic Performance Degradation Due to Soiling and Characterization of The Accumulated Dust. *International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE)* 2016. Hal. 580-584.
- [21] Javed, W, Guo, B, Figgis, B, Pomares, M, L, & Aissa, B. Multi-year Field Assessment of Seasonal Variability of Photovoltaic Soiling and Environmental Factors In a Desert Environment. *Solar Energy* 2020. Vol.211, hal. 1392-1402.
- [22] Salimi, H, Lavasani, M, A, Ashtiani, D, A, H, & Fazaeli, R. Effect of Dust Concentration, Wind Speed, and Relative humidity on The Performance of Photovoltaic Panels In Tehran. *Energy Sources, Part A : Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 2019. Hal.1-11.
- [23] Wibowo, P, E, Notosudjono, D, & Fiddiansyah, B, D. 'Rancang Bangun Alat Pembersih Debu Panel Surya (Solar Cell) Secara Otomatis', *Jurnal Online Mahasiswa (JOM)* 2018 Vol.1, hal.1.
- [24] Mostefaoui, M, Necaibia, A, Ziane, A, Dabou, R, Rouabhia, A, Khelifi, S, Bouraiou, A, & Sahouane, N. 'Importance Cleaning of PV paneles for Grid-Connected PV Systems in a Desert Enviroment, *Journal International Conference on Optimization and Applications (ICOA)* 2018. Hal. 1-5.
- [25] Riawan, G, P, I, Kumara, S, N, I, Partha, I, G, C, Setiawan, N, I, & Santiari, S, A, D. 'Robot for Cleaning Solar PV panele to Support Rooftop PV Development', *ICSGTEIS (International Conference on Smart-Green Technology in Electrical and Information Systems)* 2018. Hal. 132-136.
- [26] Yudha F. Robot Pembersih panel surya 2021.
- [27] Hashim, N, Mohammed, N, M, Selvarajan, L, R, Al-Zubaidi, S, & Mohammed, S. 'Study On Solar Panel Cleaning Robot', *Journal of IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)* 2019. Hal.56-60.
- [28] Noh, M, H, F, Yaakub, F, M, & Nardin, M. Development of Solar Panel Cleaning Robot Using mikrokontroller arduino', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECS)* 2020. Vol.19, Hal. 1245-1250.
- [29] Zhen-Yu, H, Lu-Bin, H, & Liang, Y, C, L. 'Research of Control System Based on solar Panel Cleaning Mechanism', *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)* 2016. Vol.4, hal. 1-5.
- [30] Eryanto D. Rancang Bangun Prototype Cleaning Photovoltaic Portable untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Surabaya, Thesis Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya : 2020.
- [31] Brian. P., Pablo. C., dan Issam. G. "Automated robotic dry cleaning of solar panels in Thuwal Saudi Arabia using a silicone rubber brush". German University in Cairo, Egypt 2018.
- [32] Vijayakumar, K, Ram, S, Siddhik, A, & Parameswari, A. 'Design and Fabrication of Low Cost Automatic Cleaning panele for Solar PV Systems', *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)* 2019. Vol.9, hal. 1112-1114.
- [33] Widiantara G, B, I. Pengaruh Penggunaan Pendingin Air Terhadap output panel surya Pada Sistem Tertutup. *Jurnal Matrix* 2019. Vol.9, hal. 110-115.
- [34] Anilkumar G. Design And Development Of Wireless Networking For Solar PV Panel cleaning robots. *Iop Coferece Series Materials Science And Engineering* 2020. Vol.937 hal. 1-20.
- [35] Chellal A. Innovative robot design for cleaning solar panels. *Simulation and Modelling Methodologies, Technologies*

- and Applications (SIMULTECH) 2021. Hal. 264-270.*
- [36] Abdulaziz. A., Abdulrahman. A., Saad, B., & Abdullah, A. "Project title: Solar panels *cleaning* System". *Journal College engineering* 2020. Vol. 1, hal 1-34.
- [37] Kulkarni P, R. *automatic Solar Panel cleaning Systems. International Journal of Advance research in science and engineering (IJARSE) 2018. Vol.7, hal.1173-1181.*
- [38] Housani, A, M, Bicer, Y, Koc, M. 'Assessment of Various Dry Photovoltaic *cleaning* Techniques and Frequencies on The Power *output* of CdTe-Trpe paneles in Dusty Environments', *MDPI Journal* 2019. Hal. 1-18.
- [39] Alghamdi, S, A, Bahaj, S, A, Blunden, S, L, & Wu, Y. 'Dust Removal From Solar PV paneles By Automated *cleaning* Systems', *MDPI Journal* 2019. Hal. 1-22.
- [40] Yang, H. Main Product Lines Verification Report. Hangzhou Orientjohn Industry Co., Ltd 2011.
- [41] Tsang, A. Assesment Report. Xiamen HQ Mount Tech Co., Ltd 2018.
- [42] Yisa. Solar Panel Cleaning Machine Electric Solar Panel Cleaning Rotating Brush.https://www.dasionbrush.com/solar-panel-cleaning-machine-electric-brush_p221.html. Diakses pada tanggal 16 November 2021.
- [43] Anhui. Cop Rose Window Cleaning Robot. <http://www.coprosee.net/floor-vacuum-robotic-cleaner>. Diakses pada tanggal 16 November 2021.
- [44] Liu, P. Assesment Report. Soeasy (xiamen) Photovoltaic Technology Co., Ltd 2015.
- [45] Tong, L. Main ProductLines Verification Report. Bluesun Outdoor Energy Co., Ltd 2020.
- [46] Wang, L. Main ProductLines Verification Report. Beijing Multifit Electrical Technology Co., Ltd 2009.