

**Pengaruh Akumulasi Debu Terhadap Kinerja
Photovoltaik Monocrystalline 50 Wp Nanocoating Organic Polysilazane**

N. Nugraha, M. Hans Arnaldo, Ryan M, Seril Adi P, Oggy Rangga S,

Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124

e-mail : novianti@itenas.ac.id

Received 4 Agustus 2025 | Revised 3 Februari 2026 | Accepted 6 Februari 2026

ABSTRAK

Debu yang menempel pada permukaan PV dapat menghalangi sinar matahari, sehingga mengurangi jumlah energi yang diubah menjadi energi listrik. Akumulasi debu dapat menyebabkan penurunan kinerja pada solar panel. Salah satu cara mengatasi akumulasi debu yaitu dengan melapisi PV dengan organic polysilazane. Organic polysilazane memiliki sifat hydrophobic dan mudah dibersihkan sehingga diharapkan debu tidak lagi menempel. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh akumulasi debu terhadap kinerja solar panel monocrystalline yang dilapisi organic nanocoating polysilazane. Pengujian dilakukan dengan cara menaburkan 3 jenis debu yaitu debu tepung, debu arang dan debu bata merah pada permukaan PV dalam kurun waktu tertentu, kemudian menghitung kinerja dari PV yang tidak dilapisi dengan yang dilapisi oleh organic polysilazane. Selain itu dilakukan juga pengujian contact angle untuk melihat sifat hydrophobic pelapisan polysilazane pada PV. Hasil pengujian memperlihatkan PV yang diberi lapisan polysilazane (OPSZ 2) memiliki efisiensi rata-rata paling tinggi yaitu 10,73 %, Sedangkan efisiensi rata-rata PV yang tidak diberi lapisan polysilazane adalah 3.42 %. Pelapisan polysilazane pada photovoltaic memberikan efek easy cleaning dari debu. Hasil pengujian contact angle diperoleh sudut kontak lebih besar dari 90° dimana termasuk hydrophobic.

Kata Kunci: Photovoltaic, Debu, Organik Polysilazane, Kinerja

ABSTRACT

Dust adhering to the PV surface can block sunlight, thereby reducing the amount of energy converted into electrical energy. Dust accumulation can cause a decrease in performance on solar panels. One way to overcome dust accumulation is by coating the PV with organic polysilazane. Organic polysilazane has hydrophobic properties and is easy to clean so it is hoped that dust will no longer stick to it. no longer stick. This test aims to analyse the effect of dust accumulation on the performance of monocrystalline monocrystalline solar panels coated with organic nanocoating polysilazane. Tests were carried out by sprinkling 3 types of dust, namely flour dust, charcoal dust and brick dust. Dust, charcoal dust and red brick dust on the surface of the PV for a certain period of time, then calculated the performance of PV and compared the performance between uncoated PVs with those coated by organic polysilazane which is coated by organic polysilazane. In addition, testing was also carried out contact angle testing to see the hydrophobic nature of polysilazane coating on PV. The test results showed that PV coated with polysilazane (OPSZ 2) had the highest average efficiency of 10.73%. average efficiency of 10.73%, while the average efficiency of PV which is not coated with polysilazane is 3.42%. Polysilazane coating on photovoltaic gives the effect of easy cleaning from dust. The test results of contact angle obtained a contact angle greater than 90o which is included in the hydrophobic hydrophobic.

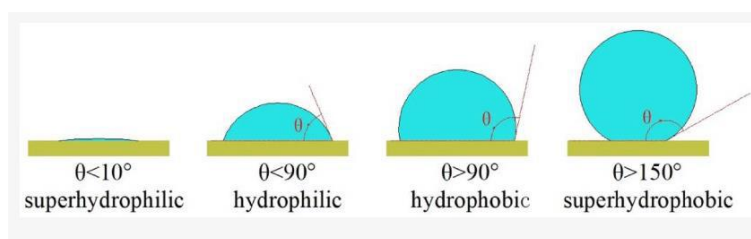
Keywords: Photovoltaic, Dust, Organic Polysilazane, Performance

1. Pendahuluan

Photovoltaic (PV) merupakan salah satu komponen dari PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) yang merupakan sumber energi listrik alternatif yang ramah lingkungan. [1], [2]. PV biasanya diletakan pada atap sebuah gedung atau tempat yang tinggi dan terbuka, agar menghasilkan energi yang maksimal dari intensitas cahaya matahari yang diserapnya [3],[4]. PV yang diletakan di area terbuka rentan terhadap partikel debu yang menempel ataupun akibat air hujan yang lama kelamaan menimbulkan kerak pada permukaan PV. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mempelajari pengaruh akumulasi debu pada kinerja PV, akumulasi debu dapat mengurangi besaran energi yang dihasilkan oleh PV [5], penurunan kapasitas listrik [6],[7] dan menurunkan kinerja PV hingga 20% bahkan lebih tinggi [8], [9], [10].

Solusi untuk mengurangi menumpuknya debu pada PV adalah dengan melakukan proses pelapisan. Penelitian yang dilakukan oleh L.Ciani, melakukan proses pelapisan PV dengan menggunakan TiO_2 [11]. Selain penggunaan TiO_2 sebagai pelapis PV, ada juga yang menggunakan SiO_2 sebagai bahan pelapis. Pelapisan permukaan PV menggunakan senyawa tersebut dengan metoda nano-coating dapat menutup pori-pori pada permukaan PV sehingga menjadi licin namun tetap dapat mentransmisikan cahaya matahari, sehingga debu atau air hujan yang jatuh, diharapkan akan langsung jatuh dari permukaan PV yang dipasang miring karena efek grafitasi atau debu akan mudah tersapu angin, hal tersebut menimbulkan efek *easy cleaning* karena tidak adanya akumulasi debu dan kerak air yang menempel [12].

Cairan pelapis yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu cairan *polysilazane*. *Polysilazane* merupakan jenis polimer yang mempunyai unsur pendukung utama silikon dan nitrogen dimana setiap atom berikatan dengan dua atom nitrogen dan begitu pun sebaliknya membuat rantai polymer yang kuat [13]. Penelitian sebelumnya mengenai *polysilazane* sebagai bahan pelapis pada beberapa material telah memperlihatkan bahwa *polysilazane* dapat menutupi pori-pori pada permukaan substrat sehingga menimbulkan efek *easy cleaning*, serta *hydrophobic* sehingga material yang dilapisi *polysilazane* memiliki umur pakai yang lebih tinggi karena tahan karat [14]. Salah satu contoh sifat *hydrophobic* dapat ditemukan di alam adalah permukaan daun talas yang tidak basah ketika terkena air hujan, tetesan air akan berguling atau menggelinding, seperti yang terjadi pada permukaan daun. *hydrophobic* dapat ditunjukkan dengan sudut kontak air pada permukaan antara 90° dan 150° , yang dibentuk antara air yang diteteskan ke permukaan bahan uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 [15].



Gambar 1. *Hydrophobicity* [15]

Tujuan penelitian yaitu melakukan pelapisan pada permukaan PV dengan metoda *nano coating*, menggunakan cairan *polysilazane*, kemudian dilakukan pengujian dengan memberikan tiga jenis debu yang berbeda dan menganalisa pengaruh akumulasi debu terhadap kinerja solar panel *monocrystalline* 50Wp yang dilapisi *organic nanocoating*.

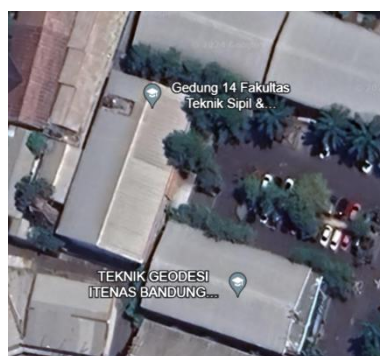
2. Metodologi

Tahapan pengujian yaitu terlebih dahulu melakukan coating atau pelapisan pada permukaan salah satu PV yang sudah tersedia yaitu tipe *monocrystalline* kapasitas 50Wp menggunakan cairan

polysilazane. Menyiapkan dan merangkai peralatan pengujian dan komponen lainnya seperti SCC, baterai, kabel kabel dan lainnya.

Melakukan pengujian dengan memberikan debu 3 jenis debu pada 2 PV yang telah dicoating dan tanpa di coating kemudian diambil data seperti tegangan, arus, daya, dan lainnya untuk menghitung kinerja yang dihasilkan oleh masing masing PV, kemudian dilakukan analisa untuk melihat pengaruh debu terhadap kinerja pada PV yang diberi lapisan *polysilazane* dan membandingkan kinerja nya dengan PV yang tidak dilapisi. Pengujian secara lengkap dijabarkan pada prosedur pengujian.

Lokasi pengujian dan pemasangan PV yaitu di lantai 4 *rooftop* gedung 14 atau gedung fakultas Institut Teknologi Nasional Bandung seperti pada Gambar 2. PV ditempatkan pada atap dengan menghadap ke arah barat dengan kemiringan atap sebesar 25°.



Gambar 2. Lokasi Pengujian (Google Earth, 2024)

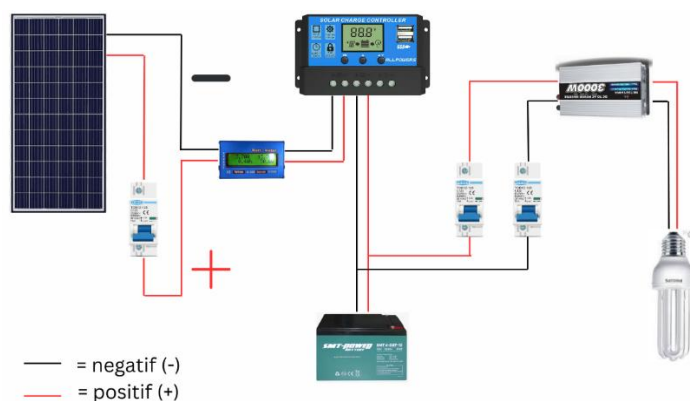
Komponen dan peralatan pengujian yang digunakan beserta spesifikasi nya dituliskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen dan Peralatan Pengujian yang Digunakan

Nama Komponen	Gambar	Spesifikasi
PV <i>Monocrystalline</i>		Dimensi : 725x400x30 (mm) Daya: 50 wp Arus : 2,78 A Volt : 18 V Berat : 3,5 kg
Solar Charge Kontrol		Daya <i>Input</i> Maksi PV: 130 W (12 V) dan 260 W (24 V) Voltase <i>Discharge</i> : 10.7 V <i>Output</i> USB: 5 V / 3 A (Maks) Rentang Arus: 10 A Dimensi 13.3 x 3 x 7 cm
Baterai / Aki		12 v, 40 Ah
Watt Meter Digital DC		100 A, 60 V, 2 P

Inverter DC ke AC		Input DC 12 V Output AC 220 V
MCB Arus DC		25 A, 225 V, 1 P

Peralatan tersebut disusun dalam wiring diagram yang diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Wiring Diagram

Prosedur pengujian

Sebelum dilakukan pengujian debu, 2 dari 3 buah PV terlebih dahulu di beri lapisan organik *polysilazane* (OPSZ) dengan jenis yang berbeda (OPSZ1 dan OPSZ2). Perbedaan OPSZ1 dan OPSZ2 yang merupakan *polysilazane* dengan merek tertentu memiliki persentase kandungan H, Si dan N yang berbeda (rahasia perusahaan), OPSZ1 memiliki sudut kontak terhadap air (hydrophobic) 103°, sedangkan OPSZ2 memiliki sudut kontak terhadap air 100°. Pelapisan dilakukan dengan metoda *nano coating* yang dilakukan di ruang khusus yaitu ruangan bebas asam di laboratorium Teknik Kimia Itenas.

Prosedur Pelapisan PV:

1. Memakai alat pelindung diri berupa masker dan sarung tangan untuk mencegah dari pengaruh reaksi kimia saat pelapisan berlangsung
2. Membersihkan permukaan PV dengan lap kain dan menempatkannya pada ruangan bebas asam
3. Menuangkan cairan *polysilazane* secukupnya ke wadah cat yang telah dilapisi oleh aluminium foil untuk memudahkan poses pelapisan dengan metode *roller coating*. Kemudian membasahi roller dengan cairan yang telah dituangkan kemudian proses pelapisan pertama dapat dimulai.
4. Roller digerakan secara bolak-balik sampai semua permukaan PV telah terlapisi seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pelapisan *Polysilazane*

5. Melakukan jeda waktu selama 90 detik. Kemudian melakukan pelapisan kedua dengan cara yang sama seperti pelapisan pertama
6. Apabila muncul warna/cahaya seperti pelangi pada PV setelah pelapisan kedua itu berarti lapisan terlalu tipis, sehingga dapat dilakukan pelapisan berikutnya sampai warna/cahaya pelangi hilang.
7. Setelah proses pelapisan selesai selanjutnya permukaan spesimen dibersihkan dari sisa-sisa pelapisan menggunakan lap atau tisu secara perlahan.
8. Setelah semua proses dilakukan, PV ditempatkan pada area yang tidak terkena sinar matahari untuk dikeringkan dengan suhu ruangan selama 5-7 hari sampai cairan *nanocoating* mengeras. Apabila sudah mengeras, PV dapat digunakan.

Dalam pengujian digunakan 3 jenis debu yaitu debu tepung, debu bata merah dan debu arang, diperlihatkan pada Gambar 5, yang merupakan sebagian dari debu umum nya yang sering menempel pada PV [10] namun khusus debu tepung merupakan debu yang menempel pada PV pada industri pembuat tepung.



a. Debu Tepung



b. Debu Bata Merah



c. Debu Arang

Gambar 5. Jenis debu yang digunakan

Berat debu yang digunakan adalah 15 gram, berat tersebut dipilih dikarenakan dengan berat tersebut telah menutupi permukaan PV. Berat jenis masing masing debu; debu tepung $0,57(\text{gr}/\text{cm}^2)$, bata merah $1,05(\text{gr}/\text{cm}^2)$, dan debu arang $0,2(\text{gr}/\text{cm}^2)$. Proses penyaringan dan penaburan debu menggunakan ayakan mesh 40. Mesh 40 artinya pada saringan berukuran 1 inci persegi terdapat 40 lubang, mesh 40 = 420 mikrometer = 0.420 mm, dipilih karena standar mutu untuk tingkat kehalusan tepung yaitu tepung kasar atau bubuk < 40 mesh, tepung agak halus 65-80 mesh, dan tepung halus >100 mesh [16], sedangkan bata merah dan arang tidak ada standar untuk ukuran mesh sehingga ukuran disamakan dengan mesh tepung. Pengujian dilakukan selama 1 minggu untuk masing-masing kondisi yaitu tanpa debu dan dilapisi debu. Tabel 2. memperlihatkan kondisi pengujian yang dilakukan

Tabel 2. Kondisi Pada Pengujian

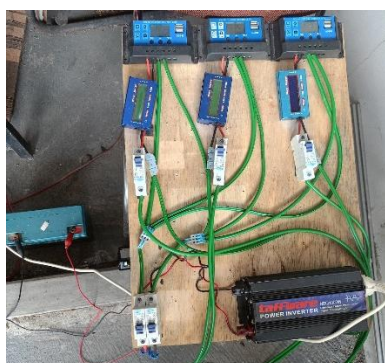
Pengujian Ke	Kondisi
Kondisi 1	PV tidak ditaburi debu
Kondisi 2	PV ditutupi debu tepung

Kondisi 3	PV ditutupi debu bata merah
Kondisi 4	PV ditutupi debu arang

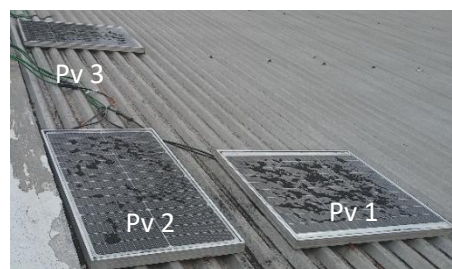
Penaburan debu hanya pada hari pertama untuk jangka waktu 1 minggu pengujian, kemudian dibiarkan di udara terbuka, untuk debu tepung, serta pengujian kedua penaburan debu dilakukan setiap hari selama 1 minggu untuk masing-masing debu tepung, debu bata merah dan debu arang.

Prosedur pengujian kinerja

1. Mempersiapkan komponen dan peralatan pengujian yang telah dirangkai sebelumnya seperti pada wiring diagram dengan alat ukur dipasang untuk masing masing PV. PV 1 tidak di-coating, PV 2 di-coating OPSZ2, PV 3 di-coating OPSZ1 di seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



a. Rangkaian Peralatan Pengujian



b. Photovoltaic

Gambar 6. Sistem Rangkaian PLTS

2. Perangkat PLTS dinyalakan pada jam 08.30 WIB dan data yang masuk dicatat pada jam 09.00 WIB, 12.00 WIB dan 15.00 WIB pada hari senin sampai hari jumat.
3. Pengujian dilakukan untuk kondisi tanpa debu terlebih dahulu selama satu minggu kemudian dilakukan pengujian dengan debu tepung, debu bata merah dan debu arang secara bergantian masing masing selama 1 minggu.
4. Pada pengujian dengan penaburan debu, debu ditaburkan setiap hari, setiap pagi sebanyak 15 gr dengan ayakan seperti pada Gambar 7, kemudian diratakan menggunakan kuas.
5. Debu ditaburkan pada masing masing PV yang tidak di-coating dan yang di-coating. Gambar 8. memperlihatkan debu tepung yang ditaburkan pada permukaan PV.



Gambar 7. Proses Penyaringan dan Penaburan Debu



Gambar 8. Penaburan Debu Tepung pada PV

Setelah dilakukan pengujian kemudian dicari kinerja PV berupa daya, energy dan efisiensi. Daya (watt) dan energy (watt hour) diperoleh dari alat pengukur yang dipasangkan pada rangkaian PLTS sedangkan efisiensi dicari menggunakan perhitungan menggunakan persamaan 1. [17]

$$\eta = \frac{P}{I \times A} \times 100\% \quad 1)$$

Dimana:

η	= Efisiensi PV	[%]
P	= Daya yang dihasilkan/ Daya Maksimum (Pmak)	[watt]
I	= Intensitas Matahari	$\left[\frac{\text{watt}}{\text{m}^2}\right]$
A	= Luas penampang PV	$[\text{m}^2]$

Intensitas radiasi matahari dicari menggunakan web global solar atlas seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Intensitas Radiasi Matahari (globalsolaratlas.info, 2024)

Iradiasi Horizontal Global (GHI) adalah total radiasi matahari yang diterima dari atas oleh permukaan horizontal (datar) yang sejajar dengan tanah. Nilai GHI dipilih karena Nilai GHI paling relevan untuk PV statis yang dipasang miring di atap atau di lapangan terbuka. Ini mewakili total energi matahari yang dapat ditangkap oleh PV dalam kondisi tersebut.

Intensitas matahari untuk 6,5 jam per hari sebesar 736 watt/m².

$$I = 4.784 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ hari}} / \text{Jumlah Jam Penyinaran Matahari/Hari} = 4784 \frac{\text{wh}}{\text{m}^2 \text{ hari}} / 6.5 \text{ hour/hari} = 736 \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

Luas penampang PV didapat dari spesifikasi PV (725x400) mm² atau 0.29 m²

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah 6 jam penaburan debu yaitu awal pengujian pada jam 9 dan akhir pengujian pada jam 15.00, debu bata merah dan debu arang yang tertinggal pada PV yang diberi lapisan *polysilazane* mengalami pengurangan massa yang lebih banyak dibandingkan PV non coating yang terlihat secara visual. Debu pada PV yang di coating lebih mudah terbawa angin dibandingkan pada PV non coating, dengan kata lain pelapisan nanocoating *polysilazane* dapat menimbulkan efek easy cleaning pada PV. Gambar 10. memperlihatkan contoh pengurangan massa debu pada debu bata merah.



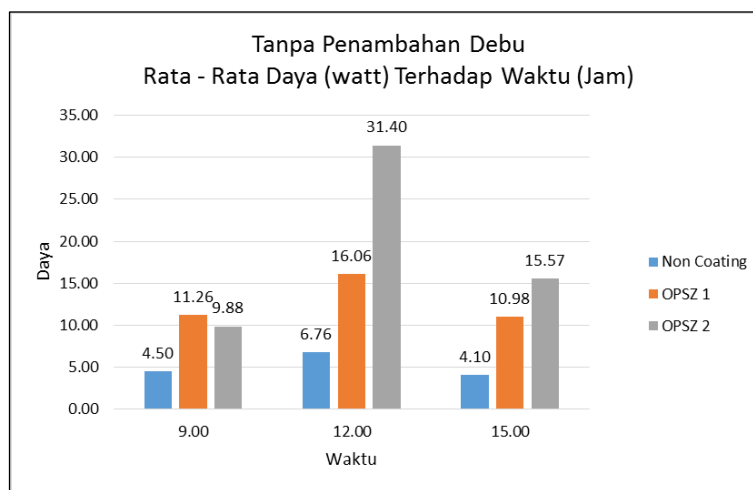
Gambar 10. Perbandingan Massa Debu Bata Merah Sebelum dan Sesudah Pengujian

Namun ada kasus khusus pada debu tepung, setelah 6 jam penaburan debu, tepung menempel pada PV karena ketika terpanaskan sinar matahari tepung menjadi agak lengket dan mengeras seperti diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Massa Debu Tepung Sebelum dan Sesudah Pengujian

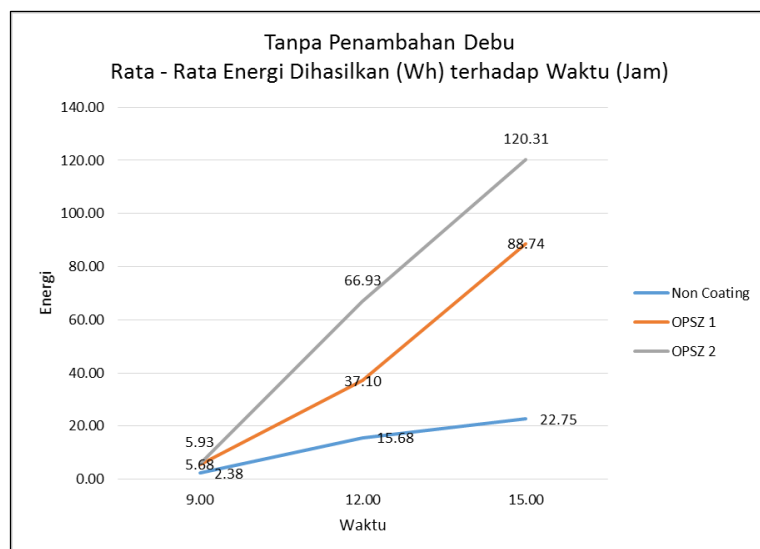
Grafik daya rata-rata terhadap waktu pada PV yang di-coating OPSZ 1 dan OPSZ 2 serta daya pada PV yang tidak di-coating diperlihatkan pada pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Rata-Rata Daya Terhadap Waktu PV Tanpa Debu

Dari Gambar 12 terlihat bahwa daya rata-rata maksimum pada semua PV dicapai pada jam 12.00, hal ini dikarenakan pada jam tersebut intensitas matahari lebih tinggi dibandingkan pada jam 9.00 dan jam 15.00. Daya rata-rata pada PV yang di-coating jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PV yang tidak di-coating. [18]

Hasil pengujian energi pada PV tanpa debu diperlihatkan pada grafik energi terhadap waktu seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Rata-Rata Energi Terhadap Waktu PV Tanpa Debu

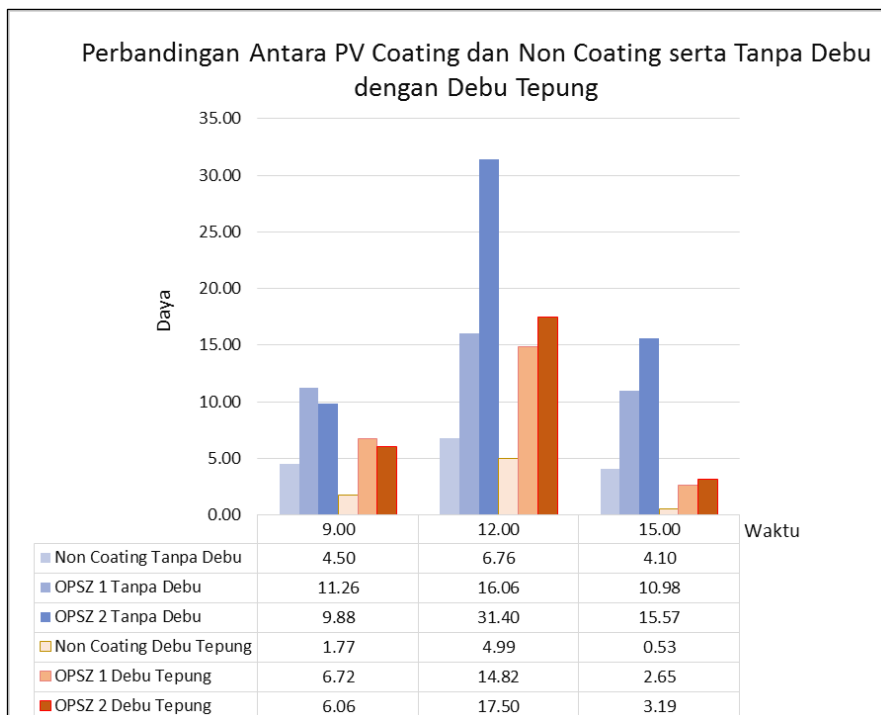
Dari grafik terlihat bahwa energi yang dihasilkan oleh PV yang diberi lapisan nanocoating jauh lebih tinggi dibandingkan dengan PV yang tidak diberi lapisan nano coating. Seiring bertambahnya waktu jumlah energi yang diperoleh semakin banyak, pada PV yang di-coating energi yang diperoleh jauh lebih banyak dibandingkan PV yang tanpa di-coating.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Daya Pada PV tanpa debu dan dengan debu

Pada Gambar 14 diperlihatkan perbandingan daya antara PV yang di-coating yang diwakili oleh OPSZ2 dengan PV yang tidak di coating jika diberi penaburan beberapa debu diatas PV. Warna gelap menunjukan daya PV yang di-coating. Sebagai contoh pada pengambilan data jam 12.00 perolehan daya PV yang di taburi debu bata merah untuk PV yang di-coating memperoleh daya sebesar 17,30 Watt dibandingkan perolehan daya pada PV yang tidak di-coating sebesar 5,91 Watt

Dari grafik pada Gambar 15 daya pada PV yang di-coating lebih tinggi dari pada PV yang tidak di-coating untuk semua kondisi debu, baik debu tepung, debu bata merah dan debu arang, ataupun tanpa debu.



Gambar 15. Grafik perbandingan Energi rata-rata akumulasi debu pada PV coating dan non coating

Daya maksimum dari spesifikasi PV adalah 50 Watt, berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 1) efisiensi untuk daya 50 watt adalah 23,43%. Dari pengujian daya yang telah diperoleh, kemudian dihitung efisiensi PV pada berbagai kondisi. Hasil perhitungan efisiensi pada PV diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi pada PV

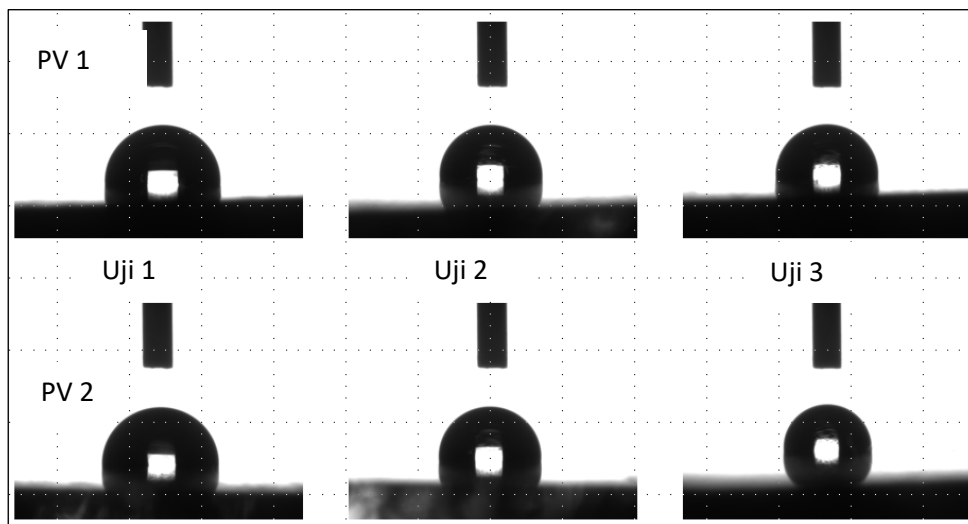
Kondisi	Efisiensi		
	<i>Non Coating</i>	<i>Coating OPSZ1</i>	<i>Coating OPSZ2</i>
Tanpa Debu	2.4 %	6 %	8.88 %
Debu Tepung	1.14 %	3.78 %	4.2 %
Debu Bata Merah	1.8 %	4.49 %	5.9 %
Debu Arang	1.33 %	3.26 %	4.34 %

PV yang diberi lapisan nanocoating (OPSZ2) memiliki efisiensi paling tinggi pada berbagai kondisi, baik tanpa diberi debu maupun diberi debu. Efisiensi debu bata merah lebih tinggi dari debu lainnya karena debu bata merah lebih mudah tersapu angin dibandingkan debu lainnya. Dari analisa beberapa pengujian pemberian debu menunjukkan daya, energi serta efisiensi pada PV yang diberi lapisan *polysilazane* lebih tinggi karena debu mudah tersapu angin, membuktikan bahwa pelapis *polysilazane* dapat menimbulkan efek daun talas dan *hydrophobic* sehingga menjadi *easy cleaning*.

Pengujian lain yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian *contact angle* untuk membuktikan efek *hydrophobic* pada PV yang dilapisi polisilazane. Pengujian dilakukan di

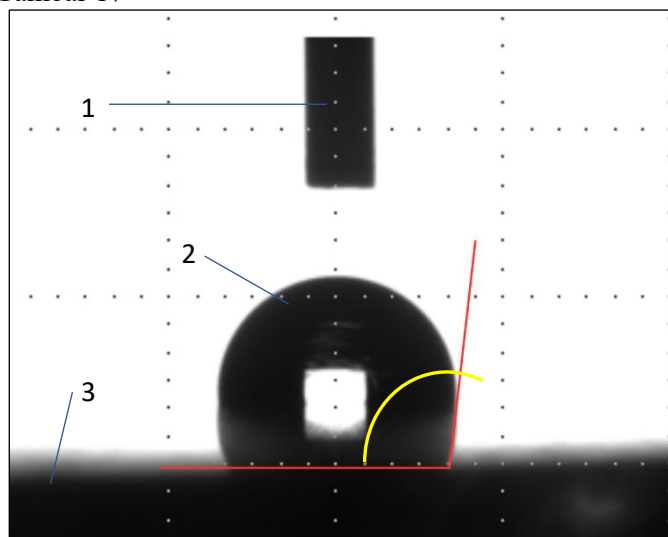
laboratorium Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan jasa Industri Keramik dan Mineral non Logam Bandung.

Terdapat 2 substrat berupa yang dilakukan pengujian *contact angle* yang dimana kedua permukaan substrat telah dilapisi *nanocoating* OPSZ 2. Kedua substrat diuji sebanyak 3 kali dengan rata-rata *contact angle* diatas 90° . Hasil Pengujian dapat dilihat pada Gambar 16. dibawah ini.



Gambar 16. Pengujian *Contact Angle*

Setelah dilakukan 3 kali pengujian *contact angle* pada kedua substrat, dapat dilihat bahwa kedua permukaan substrat memiliki sifat anti air atau hidropobik dikarenakan *contact angle* dari kedua permukaan substrat memiliki nilai diatas 90° . Substrat 1 memiliki rata-rata sudut kontak sebesar 93.56° dan substrat 2 memiliki rata-rata sudut kontak sebesar 95.36° . Pengujian *Contact Angle* dapat dilihat pada Gambar 17



Gambar 17. Pengujian *Contact Angle*

Keterangan :

1 = alat penetes air/alat suntik air

2 = tetesan air

3 = Substrat (PV)

Besar sudut dari hasil pengujian Contact angle diperlihatkan pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil Uji *Contact Angle*

Substrat	Waktu pengujian (ms)	Tinggi tetesan (um)	air	Contact Angle (deg)			
				uji 1	uji 2	uji 3	Rata - Rata
PV 1	1000	1211,0		94,1	94,6	92,0	93.56
PV 2	1000	1211,0		91,6	93,7	100,8	95.36

4. Kesimpulan

Hasil pengujian contact angle diperoleh sudut kontak lebih besar dari 90°, termasuk hydrophobic, artinya pelapis polysilazane menimbulkan efek daun talas. Pelapisan polysilazane pada photovoltaic memberikan efek easy cleaning artinya debu mudah tersapu angin, serta air hujan mudah mengalir pada PV yang di coating polysilazane dibandingkan dengan PV yang tidak di coating.

PV yang diberi lapisan polysilazane memiliki efisiensi rata-rata paling tinggi yaitu 8,88 %, Sedangkan efisiensi rata-rata PV yang tidak diberi lapisan polysilazane adalah 2,4 %. Perolehan daya dan efisiensi pada PV yang di coating lebih tinggi dibandingkan PV yang tidak di coating.

Daftar Pustaka

- [1] J. Bawalo, "*Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*," in Seminar Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2021.
- [2] H. B. Nurjaman, "*Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi*," Volume 06, No. 02, November 2022, vol. volume 06, no. Jurnal Edukasi Elektro, pp. 146-142, 2022.
- [3] P. Gunoto, "*Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 100 Wp Untuk Penerangan Lampu Di Ruang Selasae Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan*," Vol.3, No.2, November 2020, vol. Vol.3, no. Sigma Teknika, pp. 96-106, 2020.
- [4] A. Gifson, "*Penerapan Penerangan Jalan Umum LED 90 Wp Berbasis Solar Celldi Perumahan Villa Mutiara Serpong Tangerang Selatan*," Vol. 4, No. 2, Juli 2022, vol. Vol. 4, no. JurnalPengabdian Pada Masyarakat Menerangi Negeri, pp. 168-175, 2022.
- [5] A. A. Tino, "*Dampak Debu Terhadap Kinerja Modulphotovoltaik Di Kampus Politeknik Negerikupang*," Volume 2, Nomor 1, Juni 2016, vol. Volume 2, no. Jurnal Ilmiah Flash, pp. 26-33, 2016.
- [6] S. Cao, "*Research on the Application of Super-hydrophilic Self-cleaning Coating in Photovoltaic Power Plant*," no. IEEE, pp. 797-800, 2022.
- [7] S. Cao, "*A simulation study for dust accumulation on the surface of the photovoltaic panels based on discrete element method*," no. IEEE, pp. 797-800, 2021.
- [8] M. R. Maghami, "*Power loss due to soiling on solar panel*," no. Renewable and Sustainable Energy Reviews, pp. 1307-1316, 2016.
- [9] A. Triyanto, "*Rancang dan Bangun Sistem Pembersih Permukaan Panel Surya Otomatis dengan Sistem Elektromekanis Cerdas*," Volume 4, No. 3, Mei 2023, vol. Volume 4, no. Journal of Computer System and Informatics, p. 731–740, 2023.
- [10] Y. N. Chanchangi, "*An analytical indoor experimental study on the effect of soiling on PV*," Solar Energy, 2020, no. International Solar Energy Society, pp. 46-48, 2020.
- [11] L. Ciani, "*Self-cleaning of Si photovoltaic modules by a nanostructured TiO₂ spray-coating*," no. IEEE, 2017.

- [12] J. A. V. Bayon, "*Layering Silicon Dioxide (SiO₂) Spray Coatings for Improved Photovoltaic Module Efficiency*," no. IEEE, pp. 20-21, 2019.
- [13] Y. Wang, "*Polysilazanes Binders that make a difference.*," Coating Tech, 2019, 16.6, pp. 38-45, 2019.
- [14] Y. Irwan, "*Optimal Enhancement Of Hardness.*," Vol 484. p 01010, 2024, vol. Vol 484, no. E3S Web of Conferences, 2024.
- [15] S. Afrilla, "*Pengaruh Variasi Jumlah Pencelupan Kertas Selulosa Hidrofobik pada Larutan Komposit SiO₂-Kitosan-Grafena Terhadap Mikrostruktur*," Volume 8 Nomor 2 Tahun 2024, vol. Volume 8, no. Jurnal Pendidikan Tambusai, pp. 19527-19535, 2024.
- [16] R. A. Novriza, "*Pengaruh Suhu Pengeringan Pada Pembuatan Tepung Umbi Bunga Dahlia*," Vol. 5, No.2, Februari 2023, vol. Vol. 5, no. Jurnal Syntax Idea, pp. 241-251, 2023.
- [17] Dahliyah, "*Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp*," Vol. 11, No. 2, Desember 2021, vol. Vol. 11, no. Jurnal Ilmiah Sutet, pp. 71-80, 2021.
- [18] O. R. Syawaly, "*Pengaruh Akumulasi Debu Terhadap Kinerja Solar Panel Monocrystalline 50 Wp Nanocoating Organik Polysilazane*," Bandung: Tugas Akhir Institut Teknologi Nasional Bandung, 2024.