

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi yang besar dalam pengembangan energi surya karena letaknya yang berada di kawasan tropis dan berada tepat di jalur garis khatulistiwa. Kondisi geografis ini membuat Indonesia menerima sinar matahari hampir sepanjang tahun, dengan rata-rata intensitas radiasi matahari yang diterima mencapai 4,8 kWh/m² per hari [1]. Salah satu bentuk pemanfaatan energi surya adalah melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [2].

Panel surya atau fotovoltaik merupakan perangkat yang berfungsi mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel ini berfungsi dengan menangkap energi matahari dan mengonversinya menjadi energi listrik, yang selanjutnya dapat disimpan di dalam baterai untuk digunakan sebagai sumber daya bagi perangkat elektronik [3]. Sinar matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi cahaya yang terdiri dari partikel-partikel kecil. Semakin tinggi intensitas radiasi, semakin besar pula energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh panel surya [1].

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar. Namun, selama proses operasional panel surya, hanya sekitar 15% dari radiasi matahari yang berhasil dikonversi menjadi energi listrik, sementara sisanya berubah menjadi panas [4]. Salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi konversi ini adalah suhu pada modul panel surya. Peningkatan suhu lingkungan dapat menyebabkan penurunan efisiensi kinerja panel [5].

Panel surya akan menghasilkan kinerja terbaik saat suhunya berada pada kondisi normal, yakni sekitar 25 °C. Peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan tegangan, yang pada akhirnya membuat daya keluaran panel tidak optimal [6]. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak struktur material pada panel surya dan memperpendek umur pemakaiannya. Selain itu, keberadaan debu dan kotoran juga memberikan dampak signifikan terhadap performa panel, karena dapat menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan [7]. Kotoran yang menempel pada permukaan panel juga bisa menyebabkan peningkatan suhu, yang berisiko memicu terbentuknya hot spot dan merusak panel surya [8] [9]. Oleh karena itu, pengelolaan suhu serta pembersihan debu dan kotoran secara tepat sangat diperlukan untuk menjaga kinerja panel surya tetap maksimal.

Pada penelitian sebelumnya telah menerapkan pelapisan permukaan panel surya menggunakan lilin hasil ekstraksi daun pisang. Lilin alami pada tumbuhan memiliki fungsi penting, yakni membantu mengurangi panas dan melindungi permukaan daun [10]. Selain itu tanaman pisang ini merupakan salah satu jenis tumbuhan yang secara alami menghasilkan lapisan lilin pada permukaan daunnya.

Lapisan ini berfungsi untuk membantu tanaman bertahan dalam berbagai kondisi cuaca. Salah satu sifat utama dari lapisan lilin tersebut adalah kemampuannya yang bersifat hidrofobik, yang berfungsi untuk mencegah air melekat dan meresap ke dalam jaringan daun, sehingga dapat menurunkan potensi kerusakan serta infeksi oleh patogen. Selain itu, sifat permukaannya yang licin dan kedap air mempermudah penghilangan debu dan kotoran, serta mengurangi risiko kerusakan mekanis akibat gesekan [11]. Lilin ini dapat diekstraksi dan berpotensi diterapkan pada berbagai material untuk menurunkan suhu, memberikan perlindungan, serta memiliki sifat hidrofobik.

Meskipun lilin hasil ekstraksi dari daun pisang memiliki potensi sebagai pelapis panel surya, daya rekatnya terhadap permukaan panel masih tergolong rendah. Lapisan lilin tersebut cenderung mudah terlepas, sehingga memungkinkan debu dan kotoran menumpuk di permukaan panel. Kondisi ini dapat berdampak pada penurunan efisiensi konversi energi seiring waktu. Oleh karena itu, dibutuhkan modifikasi dengan menambahkan bahan tertentu untuk meningkatkan kekuatan adhesi dan ketahanan lapisan lilin terhadap berbagai kondisi lingkungan. Salah satu bahan yang digunakan adalah *ethyl cyanoacrylate*, yang dimanfaatkan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan daya lekat lilin pada permukaan panel surya. *Ethyl cyanoacrylate* yang umum dikenal sebagai lem super, memiliki kemampuan membentuk ikatan yang kuat dan cepat pada berbagai permukaan [12]. Dengan sifat adhesif, *ethyl cyanoacrylate* diharapkan mampu meningkatkan kestabilan dan daya tahan lapisan lilin dalam jangka waktu yang lebih lama.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah menguji sifat hidrofobik, daya rekat, dan transmitansi lapisan, serta dampaknya terhadap efisiensi konversi energi panel surya, yang mana telah membuktikan bahwa lapisan ekstrak lilin daun pisang dengan penambahan *ethyl cyanoacrylate* memiliki durabilitas yang lebih baik pada panel surya karena daya rekatnya. Penelitian sebelumnya juga sudah merancang dan membangun sistem monitoring berbasis Arduino yang terhubung dengan beberapa sensor guna merekam data tegangan, arus, suhu, dan intensitas cahaya secara *real-time*. Sistem monitoring ini dikembangkan oleh rekan peneliti dan hanya digunakan sebagai alat bantu dalam proses pengambilan data sehingga bukan menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Oleh karena itu penulis ingin mengembangkan penelitian ini dengan menganalisa pengaruh komposit lilin daun pisang terhadap karakteristik keluaran tegangan dan arus pada fotovoltaik dengan pengujian yang lebih cepat dan akurat dengan bantuan sistem monitoring berbasis arduino, yang mana pada penelitian sebelumnya pengujiannya hanya dilakukan secara manual, oleh karena itu penulis ingin melakukan pengujian ini melalui sistem monitoring dengan jumlah panel yang lebih banyak dari yang sebelumnya dan dengan ketebalan lapisan yang lebih bervariasi agar bisa mendapatkan daya optimal dalam menentukan karakteristik tegangan dan arus pada panel surya.

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas, penulis memutuskan untuk mengangkat topik penelitian dengan judul berikut “Pengaruh

Komposit Lilin Daun Pisang dengan *Ethyl Cyanoacrylate* Sebagai Pelapis Permukaan terhadap karakteristik Listrik Fotovoltaik”. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pelapisan permukaan panel surya menggunakan campuran ekstrak lilin daun pisang dengan *ethyl cyanoacrylate* terhadap karakteristik keluaran fotovoltaik. Fokus utama penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak pelapisan tersebut terhadap parameter karakteristik keluaran nilai V_{oc} , I_{sc} , P_{mpp} yang dihasilkan oleh fotovoltaik, yang kemudian akan dibandingkan dengan 6 panel dengan 1 buah panel tanpa pelapisan guna melihat efisiensinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh komposit lilin daun pisang dengan *ethyl cyanoacrylate* terhadap keluaran tegangan dan arus fotovoltaik?
2. Bagaimana perbandingan karakteristik keluaran listrik fotovoltaik pada kondisi yang diberi lapisan lilin daun pisang dengan yang tidak diberi pelapis?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh komposit lilin daun pisang dengan *ethyl cyanoacrylate* terhadap keluaran tegangan dan arus fotovoltaik.
2. Mengetahui perbandingan karakteristik keluaran listrik fotovoltaik pada kondisi yang diberi lapisan lilin daun pisang dengan yang tidak diberi pelapis.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memanfaatkan bahan alami sebagai pelapis permukaan pada panel surya.
2. Mengetahui apakah komposit lilin daun pisang dengan *ethyl cyanoacrylate* dapat meningkatkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh fotovoltaik.

1.5 Batasan Masalah

Batasan penelitian dan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan satu jenis panel surya, yaitu tipe *monocrystalline* dengan kapasitas 10 WP.
2. Penelitian ini tidak mempertimbangkan dampak jangka panjang dari penggunaan ekstrak lilin daun pisang sebagai lapisan pada panel surya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan akhir ini disusun dalam beberapa bab dengan urutan yang telah ditentukan, dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah yang melandasi pembuatan tugas akhir ini, tujuan yang ingin dicapai untuk penelitian, manfaat dari penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang mendasari dan digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam tugas akhir ini

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai metodologi penelitian yang digunakan, meliputi metode penelitian, flowchart (diagram alir) penelitian, serta peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian beserta pembahasannya.

BAB V PENUTUP

Bab ini menyajikan kesimpulan dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Matahari

Pemanfaatan energi matahari telah menjadi langkah penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya fosil yang kian menipis. Energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam merupakan sumber daya yang tidak terbarukan, jumlahnya terbatas, dan memberikan dampak negatif terhadap lingkungan. Sebaliknya, sinar matahari merupakan sumber energi yang tak terbatas dan sangat cocok digunakan sebagai alternatif energi. Indonesia, sebagai negara beriklim tropis, memiliki paparan sinar matahari yang melimpah sepanjang tahun, menjadikannya sangat potensial dalam pengembangan energi surya [13].

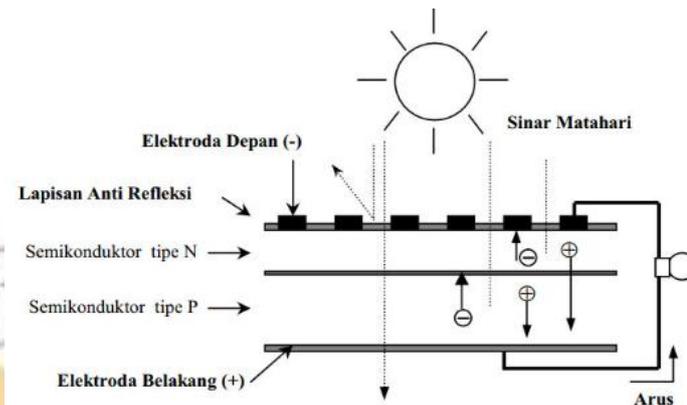
Energi matahari tersedia secara melimpah hampir di seluruh wilayah dunia, sehingga memungkinkan pemanfaatannya secara luas dan berkelanjutan tanpa terikat pada letak geografis. Sebagai sumber energi yang ramah lingkungan, energi matahari tidak menimbulkan emisi gas rumah kaca maupun pencemaran udara saat digunakan. Dengan memanfaatkan energi ini, kita dapat menekan dampak negatif terhadap lingkungan sekaligus mengurangi jejak karbon. Saat ini, penggunaan energi matahari terus berkembang, contohnya melalui pembangkit listrik tenaga surya, panel surya (*solar cell*), serta berbagai bentuk pemanfaatan lainnya [13].

2.2 Panel Surya

Sel surya adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui proses yang dikenal sebagai efek fotovoltaiik. Karena menggunakan prinsip tersebut, sel ini juga dikenal dengan sebutan sel fotovoltaiik. Proses ini terjadi ketika foton dari sinar matahari mengenai permukaan sel surya dan menyebabkan elektron dalam material semikonduktor (biasanya silikon) berpindah, sehingga menghasilkan arus listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan energi [14].

2.2.1 Prinsip Kerja

Secara sederhana, sel surya tersusun dari sambungan dua jenis material semikonduktor, yaitu tipe p (positif) dan tipe n (negatif), yang dikenal sebagai *p-n junction*. Proses konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik ini dapat dilihat melalui gambar berikut ini :



Gambar 2. 1 Prinsip Kerja Panel Surya

Lapisan tipe-p memiliki sifat positif karena kekurangan elektron dalam struktur atomnya. Lapisan ini terbentuk dari bahan semikonduktor silikon yang diberi doping unsur dari golongan IIIA, seperti boron, yang hanya memiliki tiga elektron valensi. Akibatnya, tercipta ruang kosong atau *hole* yang bersifat positif. Sebaliknya, lapisan tipe-n bersifat negatif karena kelebihan elektron. Ini disebabkan oleh doping silikon dengan unsur dari golongan VA, seperti fosfor, yang memiliki lima elektron valensi. Elektron tambahan dari unsur ini memberikan muatan negatif lebih pada lapisan tersebut.

Ketika permukaan sel surya terkena cahaya matahari, energi foton dari sinar tersebut akan membebaskan elektron dari atom-atom di dalam semikonduktor. energi ini disebut celah pita energi (*band-gap energy*), yang didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan elektron dari ikatan kovalennya sehingga menghasilkan arus listrik [14].

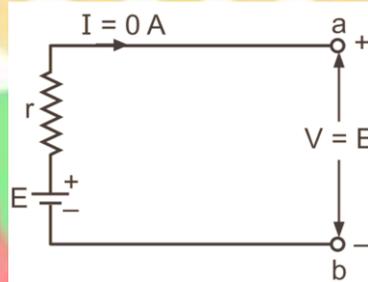
Agar elektron dapat terlepas dari ikatan kovalennya, energi yang dimiliki oleh foton harus sedikit lebih besar atau setidaknya sama dengan energi band-gap dari material semikonduktor. Namun, jika energi foton jauh melebihi nilai band-gap, kelebihan energi tersebut tidak digunakan untuk menghasilkan listrik, melainkan akan berubah menjadi panas pada permukaan sel fotovoltaik. Oleh karena itu, penting untuk memilih dan menyesuaikan bahan semikonduktor yang digunakan dalam sel surya. Salah satu caranya adalah dengan memodifikasi struktur molekul material semikonduktor agar band gap nya sesuai dengan energi foton dari cahaya matahari, sehingga efisiensi konversi energi menjadi listrik dapat dimaksimalkan.

Agar efisiensi panel fotovoltaik tinggi, sebanyak mungkin foton dari cahaya matahari harus diserap, dengan meminimalkan pantulan dan rekombinasi, serta meningkatkan konduktivitas bahan. Untuk menghasilkan daya lebih besar, beberapa sel fotovoltaik digabung menjadi modul, yang disusun secara seri atau paralel guna menaikkan tegangan dan arus. Modul ini dilindungi oleh lapisan kaca atau bahan transparan untuk menjaga dari kerusakan lingkungan.

2.2.2 Karakteristik panel Surya

a. Tegangan *Open circuit* (V_{oc})

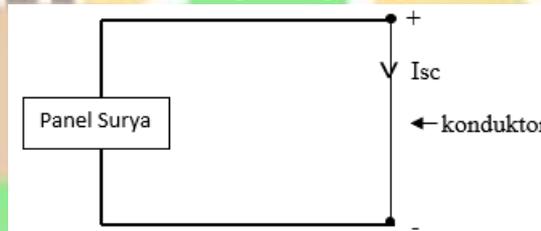
Tegangan *open circuit* (V_{oc}) merupakan tegangan maksimum yang dihasilkan oleh panel surya ketika tidak ada arus yang mengalir, atau ketika rangkaian dalam keadaan terbuka. Nilai ini menunjukkan kemampuan maksimum tegangan dari sel surya dalam kondisi tanpa beban [15]. Pengukuran V_{oc} dapat dilakukan dengan menghubungkan terminal positif dan negatif panel surya langsung ke voltmeter tanpa beban seperti rangkaian berikut :



Gambar 2. 2 Rangkaian *Open circuit* (V_{oc})

b. *Short circuit* (I_{sc})

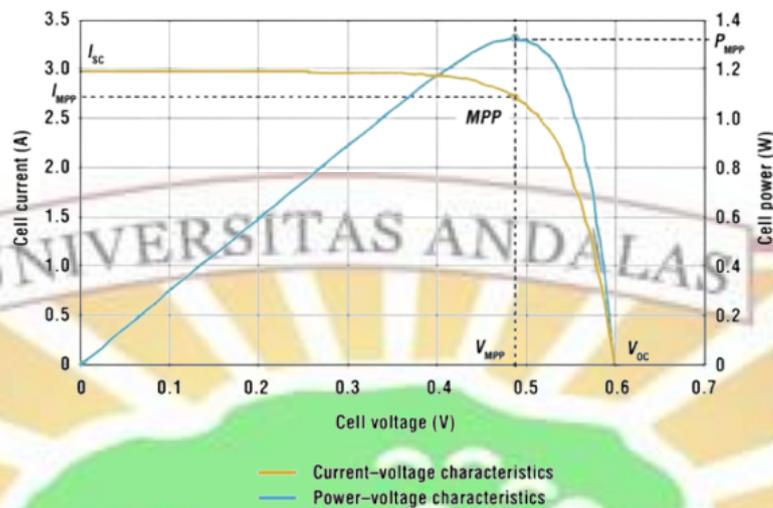
Short circuit (I_{sc}) memiliki nilai yang sebanding dengan tingkat penyinaran (*Irradiance*) dan suhu. I_{sc} dapat diukur dengan cara menghubungkan langsung terminal positif dan negatif pada panel surya tanpa adanya beban. Nilai ini menunjukkan arus maksimum yang dihasilkan saat rangkaian dalam kondisi hubung singkat [15]. Rangkaian I_{sc} ditampilkan pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 3 Rangkaian *Short circuit* (I_{sc})

c. *Maximum Power*

Daya maksimum (P_{max}) adalah nilai tertinggi dari daya listrik yang dapat dihasilkan panel surya dalam kondisi standar, dan diukur dalam satuan Watt. P_{max} menjadi acuan penting untuk membandingkan performa antar panel, Menghitung jumlah panel yang dibutuhkan dalam perencanaan sistem tenaga surya dan mengevaluasi kinerja panel setelah pemasangan [16]. Kurva gambar berikut menunjukkan kurva arus, tegangan dan daya maximum pada panel surya :



Gambar 2. 4 Kurva *Maximum Power Point* (MPP)

Ketika panel surya beroperasi pada titik *Maximum Power Point* (MPP), artinya panel tersebut berada pada kondisi paling efisien dan menghasilkan daya *output* tertinggi. Pada titik ini, tegangan maksimum (V_{mpp}) umumnya lebih rendah dari *open circuit* (V_{oc}), dan arus maksimum (I_{mpp}) juga lebih kecil dibandingkan dengan *short circuit* (I_{sc}). Titik MPP sangat penting untuk diidentifikasi agar sistem panel surya dapat bekerja secara optimal.

2.2.3 Jenis-Jenis Panel Surya

a. Monokristal (*Monocrystalline*)

Panel surya monokristalin adalah jenis panel yang memiliki efisiensi tertinggi di antara jenis panel lainnya. Dibuat dengan teknologi terbaru, panel ini mampu menghasilkan daya listrik yang besar dari area permukaan yang relatif kecil, sehingga sangat cocok digunakan di lokasi dengan kebutuhan daya tinggi, terutama di daerah beriklim ekstrem seperti gurun, pegunungan, atau wilayah bersuhu rendah. Tingkat efisiensinya bisa mencapai sekitar 15%, menjadikannya pilihan utama untuk sistem tenaga surya yang mengutamakan performa tinggi. Namun, kelemahan dari panel ini adalah sensitif terhadap cahaya matahari langsung. Artinya, saat berada di area yang teduh, mendung, atau berawan, efisiensinya bisa menurun secara signifikan, sehingga daya listrik yang dihasilkan akan jauh berkurang. Karena itu, monokristalin sangat direkomendasikan untuk digunakan di wilayah yang memiliki paparan sinar matahari yang optimal dan konsisten sepanjang hari, bukan di tempat yang sering tertutup bayangan atau cuaca tidak menentu [17].



Gambar 2. 5 Panel Surya *Monocrystalline*

b. Polikristal (*Polycrystalline*)

Panel surya polikristalin (*polycrystalline*) adalah jenis panel yang terbuat dari silikon dengan banyak kristal di dalamnya. Proses pembuatannya dilakukan dengan melelehkan silikon, lalu menuangkannya ke dalam cetakan agar membentuk balok padat yang berisi banyak kristal. Setelah itu, balok tersebut dipotong menjadi lempengan tipis dan digunakan sebagai sel surya.

Ciri khas panel polikristalin adalah warna biru terang dengan tampilan permukaan yang tidak rata atau tidak seragam, karena terdiri dari butiran kristal kecil yang terlihat seperti bintang-bintang. Karena struktur kristalnya tidak seefisien panel monokristalin, maka dibutuhkan permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan daya listrik yang sama.

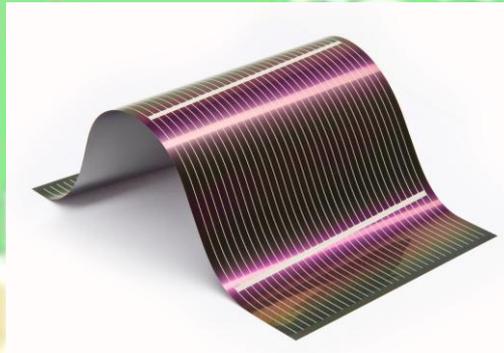
Efisiensi panel polikristalin berada di kisaran 10–12%, lebih rendah dibandingkan monokristalin. Namun, panel ini memiliki harga yang lebih terjangkau, sehingga menjadi pilihan yang baik untuk pengguna yang memiliki lahan cukup luas dan ingin menghemat biaya instalasi, meskipun dengan efisiensi yang sedikit lebih rendah [17].

Gambar 2. 6 Panel Surya *Polycrystalline*

c. *Thin Film Photovoltaic*

Panel surya lapisan tipis (*thin film*) merupakan jenis panel yang terdiri dari dua lapisan bahan, yaitu mikrokristalin silikon dan amorf silikon. Panel ini memiliki efisiensi sekitar 8,5%, yang berarti masih lebih rendah dibandingkan panel monokristalin dan polikristalin. Karena itu, panel jenis ini membutuhkan area permukaan yang lebih luas untuk menghasilkan daya listrik yang sama [17].

Namun, berkat perkembangan teknologi, kini tersedia panel thin film generasi baru yang disebut *Thin Film Triple Junction*, yaitu panel dengan tiga lapisan material. Jenis ini sangat efektif digunakan di daerah dengan cuaca mendung atau langit berawan, karena tetap mampu bekerja dengan baik meskipun sinar matahari tidak terlalu terang. Bahkan, panel jenis ini bisa menghasilkan daya hingga 45% lebih banyak dibandingkan panel surya biasa dalam kondisi cahaya rendah.

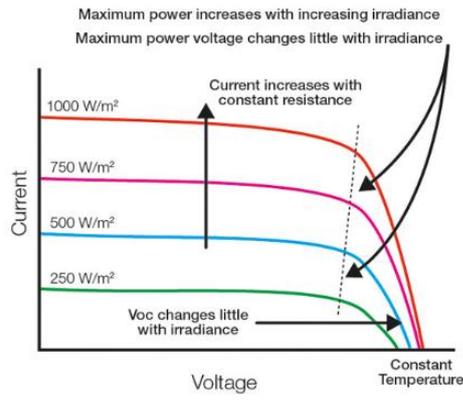


Gambar 2. 7 *Thin Film Photovoltaic*

2.2.4 Faktor yang Mempengaruhi Daya Keluaran Panel Surya

a. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya yang diterima panel surya, yang dilambangkan dengan E (*Irradiance*), memiliki hubungan langsung dengan tegangan (V) dan arus listrik (I) yang dihasilkan. Artinya, semakin tinggi intensitas cahaya yang jatuh pada permukaan panel, semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan [18]. Hal ini menyebabkan daya *output* (P) dari panel surya meningkat, karena daya diperoleh dari hasil perkalian antara arus dan tegangan ($P = V \times I$). Dengan kata lain, semakin banyak cahaya matahari yang diserap, semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya.



Gambar 2. 8 Kurva Karakteristik V-I dengan Variasi *Irradiance*

b. Arah Sinar Datang Matahari

Sinar matahari yang datang tegak lurus (dengan sudut 90°) terhadap permukaan panel surya akan memberikan intensitas cahaya maksimum, karena seluruh permukaan panel menerima sinar secara langsung [19]. Dalam kondisi ini, panel surya dapat menyerap energi matahari secara optimal, sehingga menghasilkan daya listrik yang paling tinggi. Sebaliknya, jika sinar matahari datang dari arah yang miring atau membentuk sudut θ terhadap permukaan panel, maka jumlah cahaya yang diserap akan berkurang. Ilustrasi mengenai sinar datang matahari dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2. 9 Arah sinar datang terhadap fotovoltaiik

Pada Gambar diatas terlihat bahwa jika matahari tidak tepat menghadap panel atau datang dari arah miring dengan membentuk sudut i , maka cahaya matahari yang diterima panel menjadi lebih sedikit. Semakin miring sinar matahari datang, semakin sedikit cahaya yang bisa diserap oleh panel. Panel akan mendapatkan energi paling banyak saat matahari berada tepat di depan panel atau datang secara tegak lurus, sehingga cahaya bisa diserap secara maksimal.

Dapat dilihat pada persamaan dibawah ini :

$$I_r = I_r \cos \Theta \quad (2.1)$$

Keterangan :

I_r : Iradiasi yang diserap panel surya (Watt/m^2)

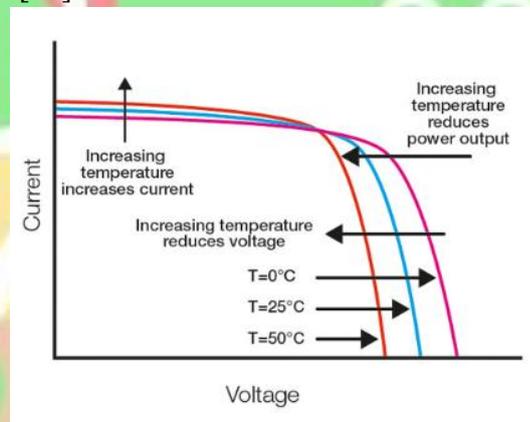
I_{r_0} : Iradiasi yang mengenai panel surya (Watt/m^2)

θ : Besar sudut sinar datang terhadap garis normal bidang panel surya

c. Temperatur atau Suhu Panel Surya

Suhu berpengaruh besar terhadap kinerja panel surya. Panel surya bekerja paling optimal pada suhu sekitar 25°C . Jika suhu meningkat melebihi angka ini, efisiensi panel akan menurun karena material semikonduktor menjadi kurang efektif dalam menghantarkan listrik, sehingga daya yang dihasilkan ikut berkurang [20].

Suhu panel surya yang melebihi 25°C dapat memengaruhi kinerja *output* dayanya. Setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas suhu tersebut. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan daya keluaran panel sekitar 0,5% dari total daya yang seharusnya dihasilkan [21].



Gambar 2. 10 Kurva Karakteristik V-I dengan Variasi Suhu

d. Efisiensi Panel Surya

1. Daya Input

Sebelum menghitung daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya (*daya output*), terlebih dahulu perlu diketahui daya yang diterima oleh panel atau disebut juga daya input. Daya input ini diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari (*Irradiance*) yang mengenai permukaan panel dengan luas area panel surya [22]. Hubungan ini dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{in} = Daya Input akibat *Irradiance* cahaya lampu (Watt)

I_r = Intensitas radiasi cahaya matahari (Watt/m²)

A = Luas permukaan fotovoltaik (m²)

2. Daya Output

Daya keluaran (P_{out}) yang dihasilkan oleh sel surya dapat dihitung dengan mengalikan *open circuit* (V_{oc}), *short circuit* (I_{sc}) dari sel fotovoltaik dan *fill factor* (FF) [23]. Secara sederhana, perhitungan ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut ini :

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \quad (2.3)$$

Keterangan :

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh *solar cell* (Watt)

V_{oc} = *Open circuit* pada *solar cell* (Volt)

I_{sc} = *Short circuit* pada *solar cell* (Ampere)

3. Fill Factor

Fill factor (FF) adalah salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengukur kinerja atau efisiensi sel surya. *Fill factor* adalah angka tak berdimensi yang menggambarkan rasio antara daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya (P_{max}) dengan hasil perkalian antara tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}) [22] :

$$FF = \frac{V_{pm} \times I_{pm}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (2.4)$$

Keterangan :

V_{pm} = Tegangan pada titik kerja maksimum (Volt)

I_{pm} = Arus pada titik kerja maksimum (Ampere)

V_{oc} = *Open circuit* pada panel surya (Volt)

I_{sc} = *Short circuit* panel surya (Ampere)

4. Efisiensi Sel Surya

Efisiensi sel surya adalah rasio antara energi listrik yang dihasilkan (*output*) dengan energi radiasi matahari yang diterima (*input*) oleh permukaan sel surya. Nilai ini menunjukkan seberapa efektif sel surya dalam mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Semakin tinggi efisiensinya, semakin besar energi matahari yang berhasil dikonversi menjadi daya listrik yang dapat digunakan. dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.5)$$

2.3 *Self cleaning* pada Tumbuhan

Self cleaning pada tumbuhan adalah kemampuan alami daun untuk membersihkan dirinya sendiri dari air, debu, atau kotoran. Mekanisme ini terjadi karena permukaan daun dilapisi oleh zat lilin mikroskopis yang membuatnya sangat hidrofobik (menolak air) [24]. Ketika air jatuh ke permukaan daun, air tidak menyebar, tapi langsung membentuk tetesan dan menggelinding, membawa serta debu dan kotoran yang menempel [25].

2.3.1 Zat Lilin pada Tumbuhan

Ketika air jatuh ke permukaan daun, air tidak menyebar, tapi langsung membentuk tetesan dan menggelinding, membawa serta debu dan kotoran yang menempel. Fenomena ini dikenal sebagai efek teratai (*lotus effect*), dinamakan dari daun teratai yang sangat terkenal karena kemampuannya menjaga kebersihan permukaannya meskipun berada di lingkungan berlumpur atau berair. Kemampuan ini menginspirasi pengembangan teknologi *Self cleaning* pada panel surya, agar panel tetap bersih tanpa perlu sering dibersihkan secara manual [26].

Sifat hidrofobik pada daun berasal dari kandungan lilin alami yang melapisi permukaannya. Lilin ini umumnya berbentuk padat, mudah meleleh pada suhu di bawah 100°C tanpa terurai, bertekstur lunak, dan larut dalam pelarut organik. Karena kemampuannya dalam menolak air, lilin tumbuhan memiliki potensi besar untuk diekstraksi dan dimanfaatkan sebagai bahan pelapis anti air dalam berbagai aplikasi [27].

2.3.2 Zat Lilin pada Daun Pisang

Permukaan daun pisang dilindungi oleh lapisan lilin epikutikular yang berfungsi sebagai penghalang alami terhadap air. Lapisan ini terdiri dari berbagai senyawa kimia, termasuk ester dari asam lemak rantai panjang, alkohol lemak, asam lemak bebas, diol (alkohol dengan dua gugus hidroksil), aldehida, dan n-alkana. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, daun pisang mengandung zat lilin dalam jumlah cukup tinggi, yaitu antara 0,58% hingga 1,46% dari berat kering daun. Perbedaan kadar ini dipengaruhi oleh jenis pelarut serta metode ekstraksi yang digunakan [27].

2.4 Pelapisan Pada Panel Surya

Pelapisan panel surya adalah salah satu teknik yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan ketahanan modul surya, dengan cara menambahkan lapisan pada permukaan panel. Lapisan tersebut memiliki beberapa fungsi penting :

a. Mereduksi Panas pada Permukaan Sel Surya

Suhu yang terlalu tinggi menjadi salah satu penyebab utama turunnya kinerja panel surya. Setiap peningkatan suhu sebesar 1°C di atas suhu standar 25°C dapat mengurangi efisiensi daya hingga 0,5% [21]. Untuk mengatasi hal ini, digunakan jenis pelapisan khusus, seperti lapisan lilin atau bahan dengan konduktivitas termal rendah, yang berfungsi menghambat penyerapan panas secara langsung dari sinar matahari. Lapisan ini membantu menjaga suhu permukaan panel tetap stabil dan mendekati suhu ideal, sehingga efisiensi energi tetap terjaga dan penurunan performa akibat panas dapat diminimalkan.

b. Mengurangi Refleksi Cahaya

Refleksi cahaya terjadi karena permukaan panel surya terbuat dari kaca, yang secara alami akan memantulkan sebagian sinar matahari. Untuk mengatasi hal ini, digunakan pelapis antireflektif yang berfungsi mengurangi pantulan dan meningkatkan penyerapan cahaya. Pelapisan ini memungkinkan lebih banyak cahaya matahari menembus permukaan panel dan dikonversi menjadi energi listrik oleh sel surya. Selain itu, penggunaan lapisan transparan khusus juga membantu meminimalkan hambatan cahaya pada permukaan panel. Seiring dengan bertambahnya jumlah cahaya yang diserap, efisiensi konversi energi juga meningkat, sehingga panel dapat menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi [28].

c. Mencegah Akumulasi Debu dan Kotoran

Debu dan kotoran cenderung menempel pada permukaan panel surya, terutama jika panel dipasang dalam posisi tegak atau vertikal, karena posisi ini membuat air hujan yang membawa debu lebih mudah menempel. Seiring waktu, penumpukan debu dan kotoran ini akan mengurangi efisiensi panel, karena cahaya matahari sulit menembus permukaan secara optimal.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menambahkan lapisan superhidrofobik pada permukaan panel. Lapisan ini memiliki sifat anti air, sehingga dapat menolak air hujan dan mencegah kotoran menempel, menjaga panel tetap bersih dan kinerjanya tetap optimal [28].

d. Melindungi Dari kerusakan

Pelapisan permukaan panel surya adalah teknik yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan panel. Lapisan ini berfungsi untuk mengurangi pantulan cahaya, mencegah akumulasi debu dan kotoran, serta melindungi panel dari kerusakan baik fisik maupun kimia. Jenis pelapis yang

digunakan bisa berupa lapisan superhidrofobik atau superhidrofilik untuk pembersihan otomatis, lapisan antireflektif untuk meningkatkan penyerapan cahaya, serta lapisan multifungsi yang melindungi panel dari korosi, goresan, dan pertumbuhan bakteri. Pelapisan ini membantu menjaga kinerja panel dan memperpanjang umur pakainya [28].

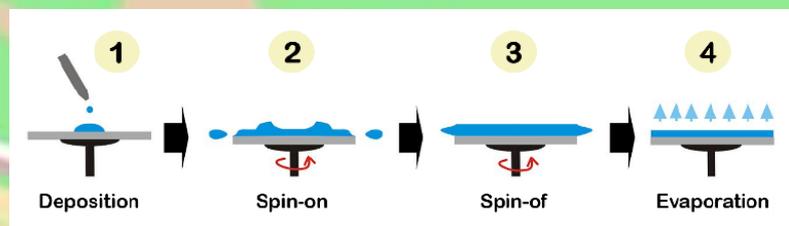
2.5 Macam-Macam Teknik Pelapisan Permukaan Panel Surya

Teknik pelapisan yang digunakan pada permukaan panel surya digunakan untuk mengaplikasikan bahan pelapis (dalam bentuk suspensi) ke permukaan substrat panel. Beberapa teknik yang sering digunakan antara lain *Spin coating* (pemutaran), *dip coating* (perendaman), dan *spray coating* (penyemprotan). Meskipun proses tiap metode berbeda, semua teknik tersebut memiliki tujuan yang sama, yaitu membentuk lapisan pelindung atau fungsional pada permukaan panel surya agar kinerjanya lebih optimal. Berikut penjelasan metode pelapisan panel surya :

a. *Spin Coating*

Spin coating adalah salah satu teknik pelapisan yang digunakan untuk melapisi permukaan suatu substrat dengan cara meneteskan larutan pelapis pada bagian tengah substrat yang sedang berputar. Putaran yang cepat akan menyebarkan larutan secara merata ke seluruh permukaan karena pengaruh gaya sentrifugal, dan pemanasan kemudian dilakukan untuk membantu larutan menempel kuat [29].

Proses ini bekerja berdasarkan prinsip bahwa larutan pelapis memiliki indeks bias lebih tinggi dibandingkan dengan substrat yang dilapisi, sehingga lapisan yang terbentuk akan lebih efektif dalam memanipulasi cahaya jika digunakan dalam aplikasi optik seperti panel surya. Proses *Spin coating* ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

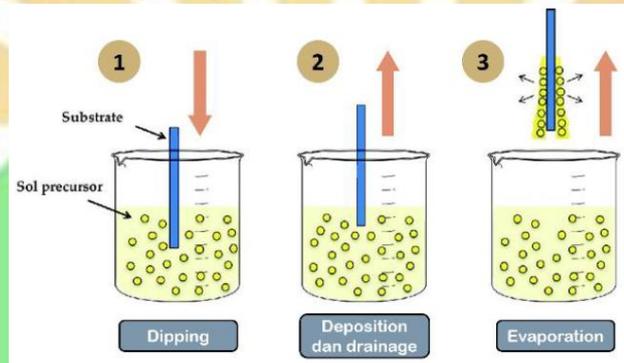


Gambar 2. 11 Teknik *Spin Coating*

Dapat dilihat pada gambar diatas, proses *Spin coating* terdiri dari empat tahap utama. Pertama, dilakukan peneteskan larutan pelapis (deposisi) ke permukaan substrat. Kedua, masuk ke tahap *spin up*, yaitu saat substrat mulai diputar untuk menyebarkan larutan secara merata. Ketiga, pada tahap *spin off*, putaran dihentikan setelah larutan membentuk lapisan yang rata. Terakhir, dilakukan proses penguapan (evaporasi) untuk mengeringkan lapisan pelapis, sehingga hasilnya stabil dan memiliki kualitas yang baik.

b. Dip Coating

Metode *dip coating* adalah salah satu teknik pelapisan yang sering digunakan untuk membuat permukaan superhidrofobik. Teknik ini populer karena prosesnya sederhana, efisien, dan dapat menghasilkan lapisan dengan ketebalan yang bisa dikendalikan. Prosesnya dilakukan dengan cara mencelupkan substrat ke dalam larutan pelapis, lalu dibiarkan beberapa saat, setelah itu ditarik perlahan dan dibiarkan mengering hingga terbentuk lapisan padat di permukaannya [28]. Proses *dip coating* ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

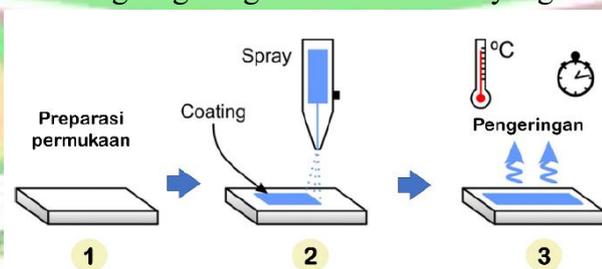


Gambar 2. 12 Teknik *Dip Coating*

Dapat dilihat pada gambar diatas proses *dip coating*, yang dapat dilihat pada Gambar 2.12, melibatkan pencelupan substrat ke dalam larutan. Hasil pelapisan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti lama waktu perendaman dan kedalaman substrat yang dicelup. Setelah perendaman, substrat dikeringkan pada suhu tertentu untuk mendapatkan lapisan yang diinginkan.

c. Spray Coating

Spray coating adalah teknik pelapisan permukaan dengan cara menyemprotkan larutan pelapis langsung ke substrat. Teknik ini dikenal hemat biaya, ramah lingkungan, dan efektif untuk menghasilkan lapisan superhidrofobik. *Spray coating* sering digunakan untuk membuat lapisan tipis pada permukaan substrat karena tidak melibatkan kontak langsung dengan bahan substrat yang akan dilapisi [25].



Gambar 2. 13 Teknik *Spray coating*

Dapat dilihat pada gambar diatas, mekanisme *spray coating* pada dasarnya mirip dengan *dip coating*, namun perbedaannya terletak pada cara distribusi larutan bahan pelapis. Pada teknik *spray coating*, bahan pelapis disemprotkan secara merata ke permukaan substrat untuk membentuk lapisan yang diinginkan.

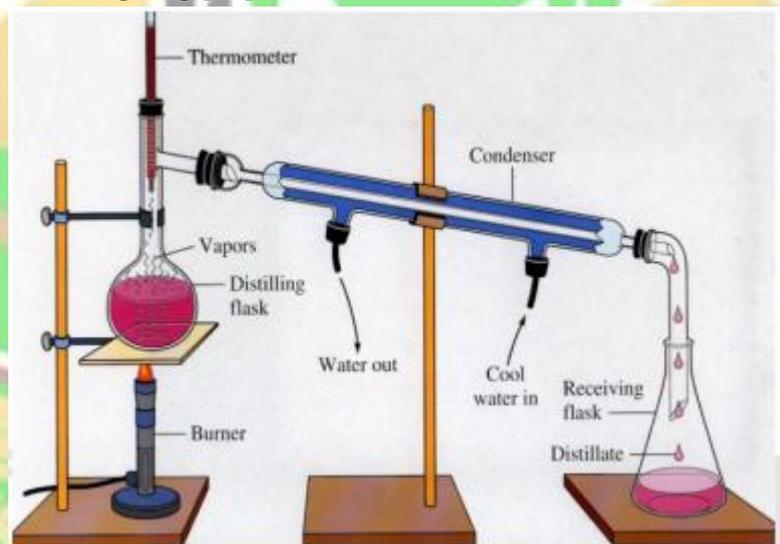
2.6 Metode Ekstraksi Zat Lilin

2.6.1 Metode Maserasi

Maserasi adalah salah satu metode yang sering digunakan untuk mengekstraksi senyawa aktif dari bahan organik, seperti tumbuhan. Proses ini dilakukan dengan merendam bahan dalam pelarut pada suhu ruang selama periode tertentu agar senyawa yang diinginkan dapat larut ke dalam pelarut. Pelarut yang digunakan biasanya berupa etanol, metanol, air, atau campuran pelarut organik lainnya. Rasio antara pelarut dan bahan yang digunakan bervariasi tergantung sifat bahan dan jenis pelarut, umumnya berada dalam kisaran 1% hingga 100%. Selama proses maserasi, wadah penyimpanan harus tertutup rapat untuk mencegah penguapan pelarut serta melindungi senyawa dari paparan udara dan cahaya yang bisa menyebabkan oksidasi [30].

2.6.2 Metode Refluks

Metode *refluks* merupakan teknik ekstraksi yang digunakan untuk mengambil senyawa aktif dari bahan organik dengan cara memanaskan campuran dan mengembalikan uap pelarut ke dalam sistem melalui proses kondensasi. Metode ini tergolong sederhana dan cocok digunakan untuk ekstraksi yang membutuhkan pemanasan dalam durasi lama, tanpa khawatir pelarut akan menguap atau hilang selama proses berlangsung [31].



Gambar 2. 14 Alat Ekstraksi *Refluks*

Metode *refluks* memiliki beberapa kelebihan, antara lain efisiensi ekstraksi yang tinggi, penggunaan pelarut yang lebih efektif, serta kemampuan untuk mengontrol suhu proses dengan baik, sehingga senyawa dapat diekstraksi secara lebih optimal. Meskipun demikian, metode ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Salah satunya adalah kebutuhan akan pelarut khusus yang harus disesuaikan dengan karakteristik senyawa yang ingin diambil. Selain itu, risiko

degradasi senyawa aktif juga dapat terjadi jika proses berlangsung terlalu lama atau suhu tidak dijaga dengan tepat.

2.6.3 Metode *Sokletasi*

Metode *sokletasi* merupakan teknik ekstraksi yang dianggap efisien karena menggunakan pemanasan dan sirkulasi pelarut untuk mengoptimalkan pengambilan komponen aktif. Pada proses ini, uap pelarut naik melalui pipa samping dan kemudian dikondensasikan kembali oleh alat pendingin vertikal. Pelarut yang telah mengembun akan menetes ke dalam tabung berisi serbuk simplisia, lalu kembali ke labu pemanas melalui mekanisme sifon. Efisiensi ekstraksi meningkat karena uap panas langsung mengalir lewat pipa tanpa kontak langsung dengan simplisia, sehingga proses berjalan lebih optimal [32].



Gambar 2. 15 Alat Ekstraksi *Soklet*

Pada metode ini, ekstraksi dilakukan dengan menggunakan alat yang dikenal sebagai soklet, yang terdiri dari tabung utama untuk menampung pelarut dan kondensator yang berfungsi mendinginkan uap pelarut sehingga kembali menjadi cairan. Pelarut yang umum digunakan dalam proses ini antara lain etanol, metanol, atau campuran pelarut organik lainnya.

Metode soklet memiliki sejumlah keunggulan, seperti efisiensi ekstraksi yang tinggi, waktu proses yang relatif singkat, serta kemampuan untuk menghasilkan ekstrak dalam jumlah besar dengan tingkat efisiensi yang optimal. Namun, di balik kelebihanannya, metode ini juga memiliki beberapa kekurangan. Di antaranya adalah kebutuhan akan peralatan khusus, penggunaan energi yang cukup besar, dan adanya risiko degradasi terhadap senyawa aktif yang diekstraksi akibat pemanasan terus-menerus selama proses berlangsung.

2.7 Bahan Perekat

Bahan perekat adalah suatu zat yang digunakan untuk menyatukan dua permukaan atau lebih melalui ikatan adhesif dan kohesif, sehingga membentuk satu kesatuan yang utuh [33]. Perekat bekerja dengan cara menempel pada permukaan bahan (*adhesion*) dan membentuk kekuatan internal antar partikel perekat itu

sendiri (*cohesion*). Dalam dunia industri dan konstruksi, perekat banyak digunakan untuk penyambungan material seperti kayu, logam, plastik, maupun kaca.

2.7.1 *Ethyl cyanoacrylate*

Ethyl cyanoacrylate dikenal sebagai bahan dasar dari perekat instan yang sangat cepat mengering, seperti superglue. Mekanisme rekatannya terjadi melalui polimerisasi anionik yang sangat cepat saat bereaksi dengan kelembapan udara. Salah satu jenis yang paling umum digunakan adalah *ethyl cyanoacrylate* (ECA). Ketika ECA diaplikasikan, bahkan sedikit uap air dari udara cukup untuk memicu reaksi kimia yang membentuk ikatan polimer kuat di antara dua permukaan. Karena sifat rekatnya yang cepat dan kuat, ECA digunakan secara luas dalam berbagai bidang, mulai dari industri, elektronik, kosmetik, hingga aplikasi medis seperti penutup luka. Meski demikian, *ethyl cyanoacrylate* juga memiliki keterbatasan, seperti sifat yang rapuh dan sensitif terhadap bahan kimia tertentu. Oleh karena itu, berbagai inovasi terus dikembangkan untuk meningkatkan fleksibilitas dan keamanan penggunaannya, termasuk formulasi khusus untuk aplikasi medis dan produk yang lebih ramah lingkungan [33].

2.7.2 *Polyurethane*

Polyurethane (PU) adalah bahan pelapis yang kuat dan tahan lama, digunakan untuk melindungi permukaan dari korosi, goresan, dan bahan kimia. PU konvensional berbasis petrokimia memiliki kelemahan karena menghasilkan emisi berbahaya. Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan PU berbasis minyak nabati seperti minyak kedelai dan jarak. Selain lebih ramah lingkungan, PU nabati tetap memiliki performa yang baik dan mendukung keberlanjutan. Inovasi seperti PU berbasis air, PU yang mengeras dengan UV, dan PU tanpa isosianat terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan [34].

2.7.3 *Epoxy resin*

Epoxy resin dikenal karena daya rekatnya yang kuat, ketahanan kimia yang baik, serta sifat mekanik yang unggul. Namun, resin ini juga memiliki kelemahan, seperti kerapuhan, ketahanan rendah terhadap sinar UV, dan kemungkinan terbentuknya pori mikro yang dapat mempercepat korosi. Untuk meningkatkan performanya, berbagai strategi telah dikembangkan, seperti penambahan nanopartikel, pelapis superhidrofobik, bahan *self healing*, polimer konduktif, serta rekayasa struktur molekul. Meski teknologi ini terus berkembang, tantangan seperti biaya tinggi dan kesulitan produksi skala besar masih menjadi kendala utama. Epoxy resin tetap menjadi bahan pelapis yang menjanjikan, terutama jika terus dikembangkan dengan teknologi yang lebih efisien dan multifungsi [35].

2.7.4 *Ethyl cyanoacrylate* Sebagai Pelapis

Ethyl cyanoacrylate (ECA) memiliki beberapa manfaat sebagai bahan tambahan pelapisan, terutama dalam aplikasi seperti perlindungan panel surya. Berikut adalah beberapa manfaat utamanya :

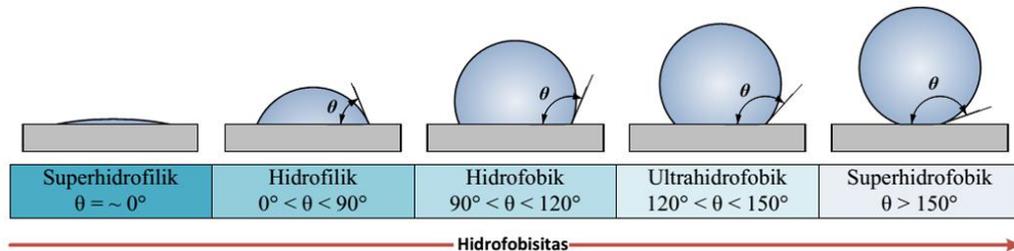
1. Polimerisasi Cepat. ECA dengan cepat mengalami polimerisasi saat terpapar kelembapan, memungkinkan penerapan dan waktu pengeringan yang singkat. Kemampuan perekat yang cepat ini sangat bermanfaat dalam proses manufaktur yang membutuhkan efisiensi waktu.
2. Adhesi yang Kuat. Kekuatan perekat ECA sering kali lebih unggul dibandingkan dengan banyak pelapis alternatif. ECA membentuk ikatan yang kokoh yang mampu menahan tekanan lingkungan, sehingga cocok untuk pelapisan pelindung pada panel surya yang menghadapi berbagai kondisi cuaca.
3. Viskositas Rendah. ECA memiliki viskositas yang rendah, sehingga dapat menembus celah-celah kecil dan menempel dengan baik pada permukaan. Hal ini memastikan pelapisan yang menyeluruh serta perlindungan terhadap kelembapan dan kotoran.
4. Transparansi. Sebagai cairan bening, ECA tidak menghalangi transmisi cahaya, yang sangat penting untuk efisiensi panel surya. Properti ini memastikan kemampuan konversi energi sel fotovoltaik tetap optimal sambil memberikan lapisan pelindung.
5. Ketahanan Kimia. ECA memiliki ketahanan yang baik terhadap berbagai bahan kimia dan faktor lingkungan, meningkatkan daya tahan panel surya terhadap elemen korosif yang potensial.
6. Kemudahan Penghapusan. Meskipun memiliki daya rekat yang kuat, ECA dapat dihapus menggunakan pelarut seperti aseton jika diperlukan, sehingga memungkinkan perawatan atau perbaikan tanpa merusak material yang mendasarinya.

2.7.5 Sudut Kontak Pada Suatu Permukaan

Ketika droplet ditetaskan pada suatu permukaan maka akan terbentuk sudut kontak, yang besarnya sangat bergantung pada hidrofobitasnya seperti ditunjukkan gambar 2.16. Volume air yang digunakan untuk mengukur sudut kontak air dapat bervariasi, namun penelitian menunjukkan bahwa volume tetesan antara 1 hingga 10 mikroliter umumnya optimal untuk pengukuran sudut kontak statis. Adapun definisi sudut kontak (θ) adalah sudut yang dibentuk oleh cairan ketika ditetaskan pada permukaan yang membentuk sebuah garis singgung terhadap garis kontaknya dengan sebuah garis yang melalui dasar dari cairan droplet tersebut. Berdasarkan profil tetes air dan sudut kontak yang terbentuk diklasifikasikan menjadi:

1. Super-hidrofilik ketika sudut kontak yang terbentuk mendekati 0°
2. Hidrofilik ketika sudut kontak yang terbentuk lebih kecil dari 90°

3. Hidrofobik ketika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 90° dan lebih kecil dari 120°
4. Ultra-hidrofobik ketika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 120° dan lebih kecil dari 150°
5. Super-hidrofobik ketika sudut kontak yang terbentuk lebih besar dari 150°



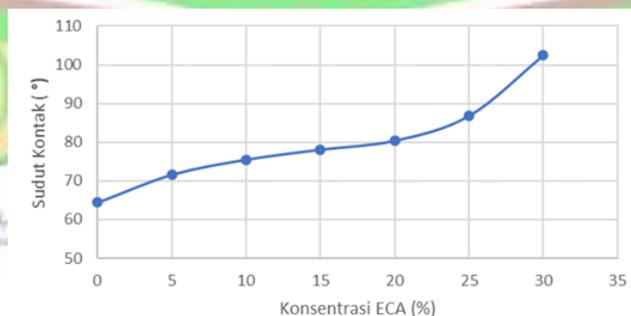
Gambar 2. 16 Sudut Kontak pada Uji Tetes dengan Hidrofobitas Berbeda

2.7.6 Penggunaan *Ethyl Cyanoacrylate* (ECA) Konsentrasi 5%

Ethyl Cyanoacrylate (ECA) merupakan senyawa perekat instan yang bersifat transparan dan memiliki kemampuan adhesi tinggi. Dalam aplikasi pelapisan komposit pada panel surya, ECA digunakan bersama lapisan lilin hasil ekstraksi daun pisang untuk memperkuat daya lekat, meningkatkan sifat hidrofobik, serta mempertahankan transmisi cahaya yang optimal. Berdasarkan penelitian sebelumnya, sudah dilakukan pengujian dengan variasi ECA 0–30% untuk menentukan konsenrasi optimal. Parameter yang diuji meliputi sudut kontak, adhesi, transmitansi, dan hasil akhirnya ditentukan dengan metode Weighted Sum Model (WSM).

1. Sudut Kontak

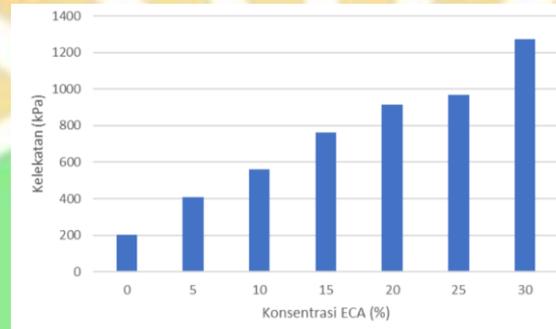
Penambahan ECA meningkatkan sudut kontak dari $64,4^\circ$ (0%) menjadi lebih tinggi pada konsentrasi $> 0\%$, yang menunjukkan perubahan sifat permukaan dari hidrofilik menjadi lebih hidrofobik, seperti terlihat pada gambar 2.17 berikut :



Gambar 2. 17 Hubungan konsentrasi ECA terhadap sudut kontak

2. Adhesi

Adhesi meningkat tajam dari 203,6 kPa (0%) menjadi 407,3 kPa pada 5%, dan terus naik hingga 1.272,7 kPa pada 30%. Hal ini menegaskan peran ECA sebagai komponen pengikat yang memperkuat daya lekat lapisan, seperti terlihat pada gambar 2.18 berikut :



Gambar 2. 18 Hubungan konsentrasi ECA terhadap kekuatan adhesi lapisan pelapis

3. Transmittansi

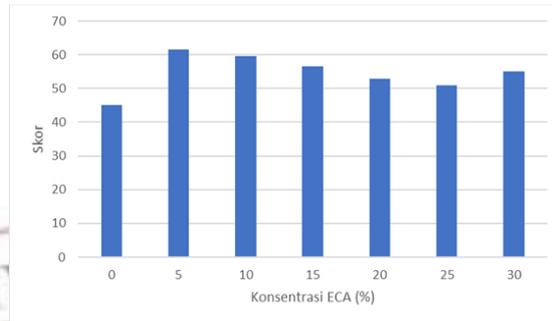
Transmittansi cahaya meningkat signifikan antara 0% dan 5%, menandakan bahwa ECA membantu mengurangi efek pigmen lilin yang menyerap cahaya. Nilai tertinggi dicapai pada konsentrasi 30% sebesar 98,85%, seperti terlihat pada gambar 2.19 berikut :



Gambar 2. 19 Hubungan konsentrasi ECA terhadap transmittansi

4. Konsentrasi Optimal dengan Metode WSM

konsentrasi penambahan ECA sebesar 5% menghasilkan skor tertinggi, yaitu 61,65. Hal ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi 5%, kombinasi performa transmittansi, sifat hidrofobik, sifat adhesi, dan biaya produksi mencapai keseimbangan terbaik.



Gambar 2. 20 Hasil analisis WSM konsentrasi ECA

2.7.7 Persentase Peningkatan dan Penurunan

Persentase kenaikan digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu nilai mengalami peningkatan relatif terhadap nilai awalnya. Perhitungan persentase kenaikan dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\% \text{ Kenaikan} = \frac{(\text{Nilai Akhir} - \text{Nilai Awal})}{\text{Nilai Awal}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Persentase penurunan digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu nilai mengalami penurunan relatif terhadap nilai awalnya. Perhitungan persentase penurunan dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{(\text{Nilai Awal} - \text{Nilai Akhir})}{\text{Nilai Awal}} \times 100\% \quad (2.7)$$



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

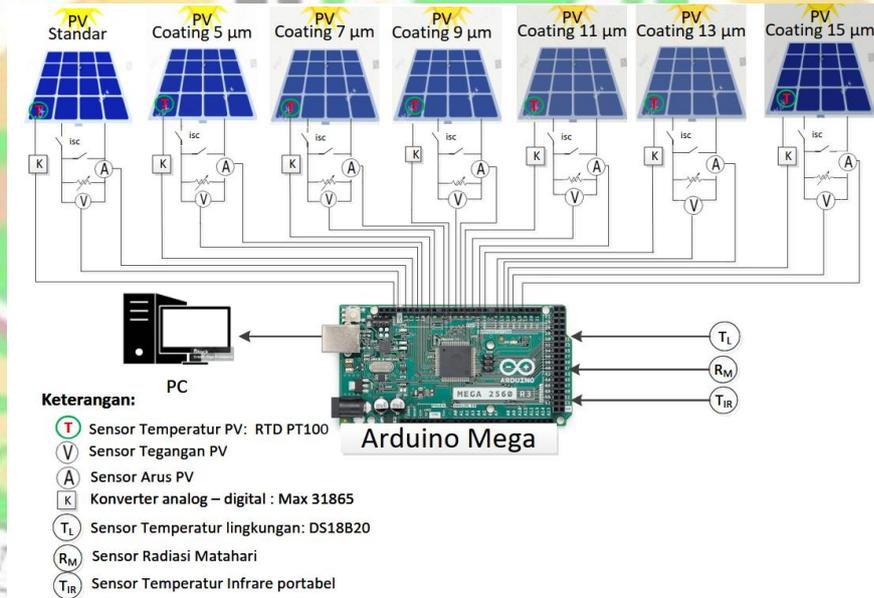
3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan menguji langsung panel surya untuk mengumpulkan data. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan lapisan ekstrak lilin daun pisang yang dicampur dengan *ethyl cyanoacrylate* terhadap daya yang dihasilkan oleh panel. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan panel surya standar tanpa pelapisan.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lantai 4 Departemen Teknik Elektro, Universitas Andalas. Pengambilan data dilakukan di luar ruangan, dimulai pada pukul 09.00 WIB hingga pukul 15.00 WIB. Rentang waktu tersebut dipilih karena intensitas cahaya matahari pada jam-jam tersebut dinilai optimal untuk pelaksanaan pengujian. Parameter yang diamati dalam pengambilan data meliputi nilai arus, tegangan, intensitas cahaya, serta suhu permukaan panel surya.

3.3 Skema Penelitian



Gambar 3. 1 Skema Penelitian

Pada sistem yang ditampilkan, dilakukan pengujian terhadap tujuh panel surya, satu panel standar tanpa pelapisan dan enam panel lainnya dengan variasi ketebalan pelapisan lilin daun pisang dan *ethyl cyanoacrylate*, yaitu 3 µm, 5 µm, 7 µm, 9 µm, 11 µm, dan 13 µm. Setiap panel surya dilengkapi dengan tiga jenis sensor, yaitu