

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panel surya merupakan teknologi penting dalam pengembangan energi terbarukan karena mampu mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik. Dalam proses ini, material semikonduktor pada panel menyerap foton sehingga memicu pergerakan elektron yang menghasilkan arus listrik. Secara umum, efisiensi sel surya monokristalin berada pada kisaran 17% hingga 22% dalam kondisi operasi normal, dan dapat mencapai hingga 26,7% pada kondisi standar pengujian, yaitu intensitas radiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C [1]. Meskipun demikian, sebagian energi radiasi matahari tetap tidak terkonversi menjadi energi listrik dan cenderung berubah menjadi panas, yang dapat meningkatkan temperatur operasional panel. Kondisi ini menjadi tantangan teknis yang signifikan karena peningkatan temperatur dapat menurunkan kinerja dan efisiensi sistem panel surya.

Secara teknis, panel surya dirancang untuk bekerja optimal pada suhu standar sel sebesar 25°C . Namun, dalam kondisi operasional di wilayah tropis seperti Indonesia, peningkatan suhu panel surya sering kali tidak dapat dihindari akibat intensitas radiasi matahari yang tinggi serta suhu lingkungan yang relatif panas. Kondisi tersebut berdampak negatif terhadap performa panel karena setiap kenaikan suhu sebesar 1°C di atas suhu standar dapat menurunkan daya keluaran listrik hingga 0,5% [2]. Selain permasalahan termal, akumulasi debu, partikel polusi, dan kotoran pada permukaan kaca panel juga dapat menghambat transmisi cahaya yang masuk ke sel fotovoltaiik, sehingga jumlah foton yang diserap menjadi berkurang secara signifikan. Penumpukan kotoran yang tidak merata bahkan dapat memicu terbentuknya *hot spot* yang berpotensi merusak struktur internal panel secara permanen [3].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai penelitian telah mengembangkan pelapisan permukaan panel surya sebagai lapisan pelindung yang mampu meningkatkan transmitansi cahaya, mengurangi penumpukan kotoran, serta menjaga kestabilan temperatur panel. Salah satu pendekatan yang banyak diteliti adalah penggunaan nanopartikel sebagai bahan pelapis permukaan panel surya. Pelapisan panel surya berbasis nanopartikel silikon dioksida (SiO_2) diketahui mampu meningkatkan sifat hidrofobik dan kemampuan *self-cleaning* melalui pembentukan struktur permukaan berskala nano yang menyebabkan air mudah menggelinding dan membawa partikel debu dari permukaan panel [4]. Selain itu, penggunaan matriks berbasis *polydimethylsiloxane* (PDMS) juga dilaporkan mampu mempertahankan transparansi lapisan serta memberikan perlindungan terhadap radiasi ultraviolet dan pengaruh lingkungan.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel efektif digunakan sebagai pelapis panel surya, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan lapisan tunggal (*single layer*) berbasis material sintetis. Pendekatan pelapisan menggunakan sistem yang mengombinasikan material sintetis dengan bahan alami sebagai lapisan fungsional masih sangat terbatas. Padahal, kombinasi beberapa lapisan dengan fungsi yang berbeda berpotensi menghasilkan perlindungan permukaan yang lebih optimal melalui sinergi sifat mekanik, optik, dan termal.

Sejalan dengan pengembangan material alami sebagai pelapis panel surya, beberapa penelitian di Departemen Teknik Elektro Universitas Andalas telah mengembangkan pemanfaatan lilin hasil ekstraksi daun pisang (*Musa acuminata*) sebagai material pelapis yang berfungsi sebagai lapisan *self-cleaning* sekaligus pendingin pasif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan lapisan optimum sebesar 9 μm mampu meningkatkan daya keluaran panel surya rata-rata sebesar 2,51% dan menurunkan suhu permukaan sebesar 4,67%. Meskipun demikian, lapisan lilin masih memiliki kelemahan berupa kekuatan adhesi yang relatif rendah, yaitu sekitar 203,6 kPa, sehingga mudah terkelupas dan kurang stabil ketika diaplikasikan pada kondisi lingkungan luar ruangan [5]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan pengembangan dengan menambahkan *Ethyl Cyanoacrylate* (ECA) sebagai bahan perekat. Penambahan ECA terbukti mampu meningkatkan sifat hidrofobisitas, kekuatan adhesi, dan transmitansi lapisan, serta menghasilkan peningkatan daya keluaran panel surya rata-rata sebesar 5,24% dengan penurunan suhu operasi sebesar 2,1% [6]. Namun, ECA memiliki sifat yang relatif kaku dan cenderung getas setelah proses pengerasan sehingga berpotensi mengalami retak akibat siklus pemuaiian termal serta memiliki ketahanan yang terbatas terhadap paparan cuaca dalam jangka panjang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengembangan material pelapis masih diperlukan untuk menghasilkan sistem pelapisan yang memiliki daya rekat tinggi, fleksibilitas yang baik, serta ketahanan yang lebih optimal terhadap kondisi lingkungan luar ruangan..

Berdasarkan penelitian terdahulu, pengembangan sistem pelapisan berbasis lilin daun pisang masih menghadapi kendala utama pada aspek adhesi dan ketahanan lapisan, khususnya dalam mempertahankan kestabilan struktur lapisan pada kondisi lingkungan luar ruangan. Selain itu, meskipun pelapisan berbasis nanopartikel telah banyak dikembangkan sebagai pelindung panel surya, belum terdapat penelitian yang mengintegrasikan lapisan dasar yang kuat secara adhesi, lapisan lilin daun pisang sebagai material alami, serta lapisan pelindung berbasis nanomaterial dalam satu sistem pelapisan .

Sebagai solusi untuk meningkatkan kekuatan adhesi dan kestabilan sistem pelapisan, penelitian ini mengusulkan penggunaan resin *polyurethane* sebagai lapisan dasar. Resin *polyurethane* dipilih karena memiliki kemampuan adhesi yang baik terhadap substrat kaca serta ketahanan yang tinggi terhadap kelembapan dan perubahan temperatur lingkungan [7]. Selain itu, *polyurethane* memiliki

transparansi optik di atas 90% serta sifat mekanik yang fleksibel dan tangguh, sehingga mampu meredam tegangan akibat ekspansi dan kontraksi termal pada panel surya tanpa mengalami retak atau delaminasi [8]. Dengan demikian, penggunaan PU sebagai lapisan dasar diharapkan dapat meningkatkan ketahanan jangka panjang sistem pelapisan.

Untuk meningkatkan kemampuan pembersihan mandiri secara lebih maksimal, penelitian ini juga menerapkan integrasi nanoteknologi pada lapisan akhir melalui penambahan nanopartikel silikon dioksida (SiO_2) dalam matriks *Silicone sealant*. Nanopartikel SiO_2 berfungsi membentuk tekstur kekasaran permukaan pada skala nano yang diperlukan untuk menghasilkan sifat hidrofobik [4]. Pada kondisi ini, air tidak membasahi permukaan, melainkan membentuk tetesan yang menggelinding sambil membawa partikel debu sesuai dengan model *Cassie–Baxter* [9]. Penggunaan *Silicone sealant* berbasis *polydimethylsiloxane* (PDMS) sebagai matriks juga memberikan perlindungan tambahan terhadap radiasi ultraviolet (UV) serta menjaga kestabilan nanopartikel agar tidak mudah terlepas [4].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pelapisan tiga lapis yang terdiri dari lapisan dasar resin *polyurethane* sebagai penguat adhesi, lapisan lilin daun pisang sebagai lapisan fungsional pendingin pasif, serta lapisan akhir SiO_2 -*silicone sealant* sebagai pelindung permukaan dengan sifat hidrofobik. Fokus utama penelitian ini adalah mencari konsentrasi optimal nanopartikel SiO_2 pada lapisan akhir untuk memperoleh keseimbangan terbaik antara sifat hidrofobik, transmitansi cahaya, dan kinerja termal panel surya. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan daya keluaran serta menjaga kestabilan operasional panel surya dalam penggunaan jangka panjang pada lingkungan luar ruangan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka penulis merumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi nanopartikel SiO_2 pada lapisan akhir serta peran resin *polyurethane* sebagai lapisan dasar terhadap sudut kontak air, transmitansi cahaya, dan daya rekat pada sistem pelapisan pada panel surya?
2. Berapa konsentrasi optimal nanopartikel SiO_2 yang mampu menghasilkan sifat hidrofobik tinggi tanpa menurunkan transmitansi cahaya?
3. Bagaimana pengaruh sistem pelapisan terhadap temperatur operasional dan daya keluaran panel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik pelapisan yang meliputi sudut kontak air, transmitansi, dan daya rekat pada berbagai konsentrasi nanopartikel SiO_2 .
2. Menentukan konsentrasi optimal SiO_2 untuk kinerja *self-cleaning* terbaik serta pengaruhnya terhadap temperature, daya keluaran dan efisiensi panel surya.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar pembahasan dari hasil yang didapatkan lebih terarah. Batasan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian menggunakan satu tipe panel surya, yaitu panel surya *Monocrystalline* 10 WP.
2. Variasi konsentrasi nanopartikel SiO_2 yang digunakan 1% hingga 5% (%W/W) terhadap massa *Silicone sealant* sebagai lapisan akhir.
3. Ketebalan lapisan yang digunakan pada panel surya dalam penelitian ini adalah 15 μm .

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui efek variasi konsentrasi nanopartikel SiO_2 pada lapisan akhir terhadap daya rekat, transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan sebagai pelapis, serta daya output panel surya.
2. Memperoleh formulasi konsentrasi optimal nanopartikel SiO_2 pada lapisan akhir SiO_2 -*silicone sealant* untuk meningkatkan kinerja operasional sistem pelapisan panel surya.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini disusun secara sistematis ke dalam beberapa bab untuk memudahkan pemahaman terhadap isi penelitian. Adapun sistematika penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian yang menjelaskan permasalahan dan urgensi pengembangan sistem pelapisan pada panel surya, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori pendukung yang digunakan dalam penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan informasi mengenai metodologi penelitian yang digunakan berupa metode penelitian, *flowchart* (diagram alir) penelitian, peralatan, dan bahan penelitian yang digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan hasil dan pembahasan mengenai hasil penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan hasil kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan beserta saran untuk penyempurnaan penelitian dan pengembangan selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

