

BAB I Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar, dengan rata-rata iradiasi harian mencapai 4,8 kWh/m². Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi strategis untuk memenuhi target bauran energi nasional [1]. Namun, efisiensi operasional panel surya di wilayah tropis menghadapi tantangan lingkungan yang paradoks. Di satu sisi, intensitas matahari yang tinggi diinginkan untuk produksi energi. Di sisi lain, akumulasi panas (*overheating*) dan kelembapan tinggi justru menurunkan kinerja sel fotovoltaik.

Secara teoritis, setiap kenaikan suhu operasional sebesar 1°C di atas kondisi standar (25°C) dapat menurunkan efisiensi daya keluaran panel silikon kristalin sebesar 0,4% hingga 0,5% [2]. Selain faktor termal, masalah *soiling* atau penumpukan debu yang diperparah oleh kelembapan udara turut menghambat transmisi cahaya, yang berpotensi menurunkan output daya secara signifikan jika tidak dilakukan pembersihan rutin [3].

Untuk mengatasi tantangan panas berlebih dan kotoran, pendekatan rekayasa permukaan (*surface engineering*) menggunakan material biomimikri telah mulai dikembangkan. Salah satu material organik yang menjanjikan adalah lilin epikutikular dari ekstrak daun pisang (*Musa acuminata*), yang secara alami memiliki sifat hidrofobik dan kemampuan termoregulasi [4].

Meskipun memiliki kapabilitas perlindungan yang luar biasa, lilin daun pisang memiliki kelemahan mekanis yang mendasar, yaitu daya rekat (*adhesi*) yang sangat lemah saat diaplikasikan pada permukaan substrat kaca panel surya yang licin. Tanpa agen pengikat, lapisan lilin ini sangat rentan terkelupas.

Penelitian terdahulu telah mencoba memanfaatkan potensi ini dengan mengembangkan lapisan pelindung berbasis lilin daun pisang yang dimodifikasi dengan *Ethyl Cyanoacrylate* (ECA) sebagai agen perekat.

Penelitian tersebut berhasil membuktikan bahwa penambahan ECA sebesar 5 % mampu meningkatkan daya rekat lapisan lilin secara signifikan (dari 203,6 kPa menjadi 407,3 kPa) dan meningkatkan sudut kontak air hingga 102,4°, yang berkontribusi pada peningkatan daya keluaran panel sebesar 5,24 % [5]. Namun, penggunaan ECA sebagai pengikat memiliki keterbatasan fisik, yaitu sifatnya yang kaku dan getas (*brittle*) setelah mengering. Keterbatasan ini menyebabkan lapisan rentan mengalami kegagalan adhesi (daya rekat rendah) pada permukaan kaca yang licin, sehingga lapisan berisiko mudah terkelupas bahkan sebelum diuji dalam jangka panjang. Selain itu, ECA tidak memiliki fitur aktif untuk membantu meredam panas secara signifikan selain hanya mengandalkan sifat lilin itu sendiri.

ECA merupakan polimer termoplastik yang rentan terhadap degradasi akibat radiasi ultraviolet (UV) dan hidrolisis termal. Di bawah paparan sinar matahari terik yang mengandung radiasi UV intensitas tinggi, rantai polimer pada ECA cenderung mengalami *photoyellowing* (penguningan) dan perapuhan (*embrittlement*) seiring waktu. Degradasi ini tidak hanya melemahkan daya rekat lapisan (*delamination*), tetapi juga dapat menurunkan transmitansi optik kaca panel, yang pada akhirnya justru menghambat kinerja panel surya dalam jangka panjang [6].

Pada penelitian ini, metode adhesi berbasis lem (ECA) yang digunakan pada penelitian sebelumnya akan digantikan dengan Resin poliuretan sebagai lapisan dasar (primer). Berbeda dengan ECA yang memiliki struktur kaku dan mudah retak (*brittle*) saat terpapar panas, resin poliuretan memiliki karakteristik elastomerik yang memberikan fleksibilitas tinggi. Sifat ini memungkinkan lapisan untuk mengakomodasi pemuaian dan penyusutan kaca panel akibat perubahan suhu harian (*thermal cycling*) tanpa kehilangan daya rekat. Selain itu, poliuretan, khususnya jenis alifatik memiliki ketahanan superior terhadap radiasi UV (*weatherability*) dan abrasi, serta mampu mempertahankan transparansi optik yang tinggi tanpa mengalami penguningan dalam jangka waktu lama, sehingga menjamin stabilitas struktural lapisan di lingkungan luar ruang. [7].

Selain itu, untuk mengatasi kerentanan lilin daun pisang terhadap fotodegradasi UV, penelitian ini menambahkan lapisan terluar berupa Seng Oksida (ZnO). ZnO dipilih karena karakteristiknya sebagai semikonduktor dengan *bandgap* lebar (~ 3.37 eV) yang mampu menyerap radiasi UV berbahaya (*UV blocking*) tanpa menghalangi cahaya tampak [8]. Kehadiran nanopartikel ZnO juga berfungsi ganda, yakni sebagai perisai pelindung UV bagi matriks lilin di bawahnya dan sebagai agen yang meningkatkan kekasaran permukaan (*surface roughness*) untuk mencapai sifat superhidrofobik dan ketahanan abrasi yang lebih baik dibandingkan lapisan organik tunggal.

Namun, pemanfaatan nanopartikel ZnO memiliki tantangan tersendiri, yaitu kecenderungannya untuk saling menggumpal (aglomerasi) akibat tingginya energi permukaan bebas yang dimiliki partikel berskala nano. Aglomerasi ini dapat membiaskan cahaya sehingga lapisan menjadi keruh dan menghalangi transmisi cahaya matahari menuju sel surya. Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini mengintegrasikan penambahan *Silicone Sealant* pada tahap pelarutan. Zat aditif ini berfungsi sebagai "jembatan" kimia yang secara efektif menghubungkan material anorganik (ZnO) dengan matriks polimer organik (poliuretan), sehingga mencegah terjadinya aglomerasi partikel dan agen pengikat ini memastikan partikel ZnO terkunci dengan kuat di dalam lapisan matriks. Hal ini mencegah lapisan fungsional ZnO terkelupas atau rontok ketika panel surya terpapar siklus panas yang ekstrem atau tergerus oleh air hujan. Melalui modifikasi ini, dispersi ZnO dapat menyebar secara homogen pada skala nanometer, menjaga tingkat transparansi optik pelapis,

sekaligus berkontribusi pada peningkatan stabilitas mekanis dan termal dari nanokomposit yang dihasilkan.

Fokus utama dalam penelitian ini adalah pada penggunaan Seng Oksida (ZnO) yang konsentrasinya akan divariasikan. Tantangannya adalah menemukan takaran ZnO yang pas, jika terlalu sedikit, perlindungan tidak maksimal. Namun jika terlalu banyak, lapisan akan menjadi keruh dan menghalangi cahaya masuk ke panel surya.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk meneliti topik ini dengan judul ” Pengaruh Variasi Konsentrasi Nanopartikel Seng Oksida Pada Sistem Pelapis Multi-Lapis Berbasis Poliuretan dan Lilin Daun Pisang untuk Peningkatan Efisiensi Panel Surya”. Penelitian ini bertujuan memperoleh data mengenai pengaruh variasi konsentrasi ZnO terhadap parameter fisik (daya rekat, hidrofobisitas, transmitansi) dan parameter kinerja (penurunan suhu dan daya output) untuk mendapatkan efisiensi panel surya yang maksimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan, maka penulis merumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan resin poliuretan tipe *solvent-based* sebagai lapisan dasar (*primer*) terhadap kekuatan adhesi pada substrat kaca panel surya?
2. Bagaimana pengaruh penambahan variasi konsentrasi nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida terhadap transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output panel surya?
3. Berapa konsentrasi optimal nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida agar memberikan kombinasi terbaik antara transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output panel surya?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah:

- 1 Mendapatkan pengaruh penggunaan resin poliuretan tipe *solvent-based* sebagai lapisan dasar (*primer*) terhadap kekuatan adhesi pada substrat kaca panel surya.
- 2 Mendapatkan pengaruh penambahan variasi konsentrasi nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida terhadap transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output panel surya.
- 3 Mendapatkan konsentrasi optimal nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida agar memberikan kombinasi terbaik antara transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output 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 ini dibatasi pada penggunaan panel surya tipe *Polycrystalline* berkapasitas 10 WP, dengan pengaplikasian sistem pelapis hibrida multi-lapis menggunakan metode *spray coating* (berprinsip *wet-on-wet*) yang ketebalan total lapisannya dijaga konstan pada 15 μm .
- 2 Susunan sistem pelapis hibrida difokuskan pada tiga material yang diaplikasikan secara berurutan, yaitu resin poliuretan tipe *solvent-based* sebagai lapisan dasar (*primer*), ekstrak lilin daun pisang sebagai lapisan tengah, dan nanopartikel Seng Oksida (ZnO) sebagai lapisan terluar dengan tiga variasi konsentrasi spesifik, yakni 1%, 3%, 5%, dan 7%

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian tugas akhir adalah:

- 1 Mengetahui pengaruh penggunaan resin *Polyurethane* tipe *solvent-based* sebagai lapisan dasar (*primer*) terhadap kekuatan adhesi pada substrat kaca panel surya.
- 2 Mengetahui pengaruh penambahan variasi konsentrasi nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida terhadap transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output panel surya.
- 3 Mengetahui konsentrasi optimal nanopartikel ZnO pada sistem pelapis hibrida agar memberikan kombinasi terbaik antara transmitansi, sifat hidrofobik, dan kemampuan meredam panas permukaan serta daya output panel surya.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan akhir ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika laporan adalah sebagai berikut:

- | | |
|---------|--|
| BAB I | Pendahuluan
Bab I berisi tentang uraian latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan penelitian. |
| BAB II | Tinjauan Pustaka
Bab II berisi tentang teori-teori pendukung yang digunakan dalam penyelesaian masalah dalam tugas akhir ini. |
| BAB III | Metodologi
Bab III berisi prosedur penelitian, metode penelitian, tempat dan waktu penelitian rencana tabel yang akan dilakukan, <i>flowchart</i> penelitian, peralatan, dan bahan penelitian yang digunakan. |
| BAB IV | Hasil dan Analisa
Bab ini memberi informasi hasil dan pembahasan mengenai hasil penelitian. |

BAB V

Simpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil dan pembahasan penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

Lampiran

