

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya populasi global saat ini, kebutuhan energi global diperkirakan meningkat sebesar 28% sejak 2015 sampai 2040 (Prakash & Janarthanan, 2023). Bahan bakar fosil yang saat ini merupakan sumber utama energi listrik akan mengalami keterbatasan jumlah ketersediaannya di alam karena penggunaannya yang terus menerus. Penggunaan bahan bakar fosil secara masif ini juga menghasilkan gas emisi rumah kaca seperti karbon monoksida, karbon dioksida, sulfur dioksida, dll. yang menyebabkan polusi udara dan pemanasan global (Singh dkk., 2021). Hal ini menjadi fokus pengembangan para peneliti untuk mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan seperti sel surya, terutama *Dye-sensitized solar cell* (DSSC).

Sumber energi alternatif yang dapat diperbarui dan berkelanjutan menjadikan cahaya matahari menjadi sasaran utama pengembangan sumber energi alternatif (Nasyori & Noor, 2021). Matahari dapat menyediakan energi gratis selama bertahun-tahun jika dibandingkan dengan angin dan air yang dapat dipengaruhi oleh perbedaan musim (Prakash & Janarthanan, 2023). Pemanfaatan energi matahari ini dapat dilakukan dengan perangkat fotovoltaik yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik (Calogero dkk., 2015). *Dye-sensitized solar cells* (DSSCs) sudah diteliti beberapa tahun terakhir sebagai sumber energi alternatif hemat biaya (Błaszczuk dkk., 2021). Proses pembuatan yang sederhana dan murah, dapat digunakan dalam kondisi rendah cahaya, dan ramah lingkungan merupakan hal yang menjanjikan dari DSSC (Nakhaei dkk., 2022). DSSC dikembangkan untuk menggantikan penggunaan sel surya berbasis silikon yang memiliki biaya produksi terbilang cukup mahal dan diproduksi tanpa penggunaan bahan berbahaya dan beracun seperti sel surya pendahulunya (Smestad, 1998). Selain itu, dapat bekerja di suhu tinggi dan dapat bekerja dalam ruangan juga menjadi alasan kinerja DSSC lebih baik dari sel fotovoltaik lainnya (Najihah dkk., 2022).

DSSC pertama kali dikembangkan oleh O'Regan dan Grätzel pada 1991 dengan efisiensi konversi energi mencapai 7% (O'Regan & Grätzel, 1991). Secara sederhana, DSSC terdiri dari *photosensitizer*, anoda, katoda, dan elektrolit (Yadav dkk., 2021). Umumnya pada DSSC terdapat dua buah elektroda, fotoanoda yang merupakan substrat kaca konduktif transparan yang dilapisi nanokristal semikonduktor berpori dengan *band gap* yang lebar, dan elektroda balik yang dibuat dari lapisan platinum atau grafit pada substrat kaca konduktif transparan (Singh dkk., 2021). Substrat kaca konduktif transparan yang biasa digunakan adalah *Indium Tin Oxide* atau ITO ($\text{In}:\text{SnO}_2$) dan *Fluorine-doped Tin Oxide* atau FTO ($\text{F}:\text{SnO}_2$) (Calogero dkk., 2015). Lapisan fotoanoda biasanya dilapisi nanopartikel semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO , dan SnO (Calogero dkk., 2019). Sedangkan elektrolit I^-/I_3^- merupakan elektrolit yang umum digunakan pada DSSC (Bhogaita dkk., 2016). DSSC memiliki prinsip kerja berdasarkan injeksi elektron ke wilayah pita konduksi semikonduktor seperti TiO_2 dikarenakan penyerapan foton oleh molekul pewarna (O'Regan & Grätzel, 1991). Setelah injeksi elektron tersebut, pewarna yang teroksidasi akan direduksi oleh elektrolit sebagai regenerasi untuk siklus selanjutnya (Bhogaita dkk., 2016).

TiO_2 banyak digunakan sebagai bahan semikonduktor dalam fotoanoda DSSC. TiO_2 dipilih karena stabilitasnya yang lebih baik dibanding dengan silikon dan *cadmium* yang memiliki kerentanan terhadap fotokorosi (Bhogaita dkk., 2016). Material TiO_2 memiliki sifat semikonduktor tipe-n dan biasanya memiliki *band gap* 3,2 eV. Molekul TiO_2 dapat menyerap cahaya dan memiliki porositas yang memungkinkan molekul pewarna dapat menempel dan membantu proses penyerapan cahaya. Cahaya yang diserap energinya akan dialirkan dalam elektron oleh TiO_2 ke substrat kaca (Calogero dkk., 2015). Jika pigmen pewarna dapat menyerap spektrum cahaya dengan rentang yang lebar, maka DSSC dapat menghasilkan efisiensi yang lebih besar, sehingga pigmen pewarna merupakan pemeran utama dalam DSSC (Nakhaei dkk., 2022).

Modifikasi struktur, pencarian elektrolit baru, penemuan pewarna alami baru, sampai modifikasi konsentrasi larutan pewarna dilakukan oleh para peneliti untuk mengatasi rendahnya efisiensi dan degradasi lapisan fotosensitizer yang merupakan tantangan terbesar dari DSSC dengan pewarna alami. Tingginya

konsentrasi dari pigmen pewarna dinyatakan sebagai salah satu alasan meningkatnya efisiensi DSSC (Nasyori & Noor, 2021). Pemilihan pelarut juga menjadi kunci dalam kinerja fotosensitizer alami. Pigmen pewarna alami dapat mengalami perubahan morfologi dikarenakan pH yang dimiliki pelarut. Pelarut yang memiliki pH berbeda akan mempengaruhi adsorpsi pigmen pewarna oleh lapisan TiO₂ yang nantinya akan berpengaruh pada kinerja DSSC secara luas (Golshan dkk., 2021; Kumara dkk., 2017). Hal ini terjadi akibat dari jumlah ion H⁺ atau pun OH⁻ pada pelarut yang akan merubah formasi molekul *dye* dalam keterikatannya ke molekul TiO₂. Formasi molekul juga dapat merubah karakteristik *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) dan *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) yang dimiliki oleh pewarna. Perubahan inilah yang dapat memengaruhi kemampuan transfer elektron ke molekul TiO₂ (Al Qibtiya dkk., 2016; Cahya Prima dkk., 2015).

Hasil terbaik diperoleh DSSC yang menggunakan pewarna organik dan pewarna berbasis porfirin (Golshan dkk., 2021). Menurut Singh, dkk. (2021) DSSC berbasis *Ruthenium* dengan polipiridil pada nanokristal TiO₂ menghasilkan efisiensi hingga 12%. Tapi sayangnya, rutenium merupakan bahan yang langka dan mahal (Calogero & Marco, 2008). Sehingga dalam perkembangannya saat ini, pewarna alami dari tumbuhan menjadi fokus utama karena tidak beracun, murah, mudah dalam pembuatannya, dan ramah lingkungan (Maurya dkk., 2016). Pewarna alami yang saat ini banyak diteliti antara lain karotenoid, antosianin, klorofil, betalain, dan flavonoid (Błaszczuk dkk., 2021; Najihah dkk., 2022). Pigmen-pigmen pewarna alami tersebut dapat berasal dari buah-buahan, dedaunan, dan akar-akaran pada tumbuhan (Purushothamreddy dkk., 2020). Walaupun DSSC dengan pewarna alami yang berasal dari tumbuhan memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan sel surya generasi-generasi sebelumnya, efisiensi yang dihasilkan masih terbilang rendah (Iqbal dkk., 2019). Golshan dkk. (2021) melaporkan hasil temuannya dalam pencampuran dua pigmen pewarna dari klorofil dan antosianin yang berasal dari tumbuhan *Malva verticillata* dan *Syzygium cumini* dan memperoleh efisiensi sebesar 1,84%. Kemudian efisiensi sebesar 3,52% diperoleh DSSC dengan pewarna berasal dari buah harda (Yadav dkk., 2021). Calogero dkk. (2015) melaporkan pigmen antosianin dari kol merah (*Brassica*

oleracea) memiliki efisiensi 2,90%. Alga biru-hijau atau *cyanobacteria* yang memiliki pigmen klorofil dilaporkan memiliki efisiensi mencapai 4,26% (Xiang, dkk. dalam Bhogaita dkk., 2016). Kemudian dalam laporan Prakash & Janarthanan (2023), buah Rasberi dan beri-berian lain menghasilkan efisiensi 3,04% sebagai pewarna DSSC. Buah gambir (*Uncaria gambier* Roxb.) yang tumbuh di wilayah Sumatra dan Kalimantan, Indonesia, yang biasa digunakan sebagai pewarna batik, telah diteliti sebagai pewarna alami untuk DSSC dan menghasilkan efisiensi sebesar 3,2% (Nasyori & Noor, 2021).

Buah bisbul (*Diospyros blancoi*) merupakan tumbuhan yang hidup di daerah beriklim muson seperti di Indonesia (Jayferson & Vincent, 2022). Buah bisbul ini disebut juga sebagai *velvet apple* atau apel beludru, dan juga *mabolo* (Tagalog = berbulu), yang berasal dari ciri khasnya yaitu kulit buahnya yang memiliki semacam bulu-bulu halus (Jo dkk., 2016). Buah ini memiliki beberapa kandungan yang baik, termasuk flavonoid, *phenolic acids*, dan antioksidan di dalamnya (Setu dkk., 2017). Yang mana seperti dijelaskan sebelumnya, flavonoid adalah salah satu pigmen pewarna tumbuhan yang dapat digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC (Kumara dkk., 2017). Antioksidan yang tinggi dalam antosianin biasanya menjadi salah satu faktor yang memengaruhi baiknya penyerapan cahaya (Welch dkk., 2008). Namun, sampai saat ini masih sedikit penelitian tentang pengaplikasian sifat optik buah bisbul ini.

Berdasarkan penjelasan di atas, sintesis dan karakterisasi DSSC dilakukan menggunakan pewarna alami dari ekstrak kulit buah bisbul dengan konsentrasi dan penggunaan pH pelarut yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh pH dan konsentrasi ekstrak kulit buah bisbul saat dijadikan fotosensitizer untuk DSSC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diperoleh berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pH pelarut terhadap sifat optik dan kinerja DSSC?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi ekstrak kulit buah bisbul terhadap sifat optik dan kinerja DSSC?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Mendapatkan gambaran tentang pengaruh pH pelarut terhadap sifat optik dan kinerja DSSC.
2. Mendapatkan gambaran tentang pengaruh konsentrasi ekstrak kulit buah bisbul terhadap sifat optik dan kinerja DSSC.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Sifat optik yang diteliti pada penelitian ini meliputi kemampuan absorbansi, besar celah pita (*band gap*), level energi *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) dan *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO), dan persentase *Light Harvesting Efficiency* (LHE) fotosensitizer ekstrak kulit buah bisbul.
2. Kinerja DSSC yang diteliti pada penelitian ini meliputi tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage, V_{oc}*), densitas arus rangkaian pendek (*short-circuit current density, J_{sc}*), *fill factor* (FF), dan efisiensi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan ilmu pengetahuan yang memberikan informasi mengenai penggunaan ekstrak kulit buah bisbul (*Diospyros blancoi*) sebagai pewarna alami. Sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya dalam mengembangkan energi alternatif.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun dalam lima BAB dengan beberapa sub-bab pada setiap BAB. BAB I Pendahuluan yang membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan skripsi. BAB II Kajian Pustaka yang membahas mengenai landasan teori tentang sel surya, DSSC, Komponen dan mekanisme DSSC, dan buah bisbul sebagai fotosensitizer. BAB III Metode Penelitian membahas mengenai desain penelitian, metode penelitian, lokasi penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian, dan karakterisasi dan analisis data

hasil penelitian. BAB IV Hasil dan Pembahasan menyajikan dan menjelaskan secara terperinci data hasil penelitian mengenai pengaruh pH dan konsentrasi larutan *dye* terhadap sifat optik dan kinerja DSSC. BAB V Simpulan dan Rekomendasi berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.