

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permintaan yang meningkat untuk solusi energi berkelanjutan telah mendorong eksplorasi teknologi inovatif dan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) muncul sebagai solusi yang menjanjikan dalam penelitian energi terbarukan (Mahajan dkk. 2024). Dalam kurun 20 tahun terakhir, sudah banyak penelitian mengenai DSSC sebagai sumber energi alternatif yang hemat biaya (Błaszczuk dkk. 2021; Prakash & Janarthanan 2023). Sejak penemuannya pada tahun 1991 oleh Prof. Gratzel, DSSC telah menarik perhatian banyak ilmuwan karena pembuatannya yang ramah lingkungan dan mudah untuk dibuat (Çakar dkk., 2022). Pemisahan fungsi dari penyerapan cahaya dan transportasi pembawa muatan merupakan pembeda teknis DSSC dengan piranti semikonduktor konvensional atau sel surya fotovoltaik (O'Regan & Grätzel, 1991).

Peng dkk. (2017) menjelaskan cara bekerja DSSC bahwa cahaya akan melewati elektroda transparan dan diserap oleh *photosensitizer* (*dye*) untuk mencapai keadaan tereksitasi, lalu elektron yang tereksitasi akan diinjeksi ke pita konduksi dari nanokristal semikonduktor dan ditransferkan ke rangkaian luar. Elektron dari rangkaian luar akan melewati elektroda balik dan menggantikan elektron yang hilang pada elektrolit, karena pewarna yang teroksidasi akan direduksi oleh pasangan redoks didalam elektrolit untuk melengkapi sebuah siklus lengkap. Dengan kata lain, DSSC terdiri dari fotoanoda (*working electrode*), elektroda balik, *dye* (pewarna), dan elektrolit (Sharma dkk., 2018). Fotoanoda dibuat menggunakan substrat konduktif transparan yang dilapisi oleh nanokristal semikonduktor yang berikatan dengan *photosensitizer* (*dye/pewarna*) (Singh dkk. 2021). Substrat kaca konduktif transparan yang biasa digunakan untuk DSSC adalah *Indium Tin Oxide* atau *ITO* dan *Fluorine-doped Tin Oxide* atau *FTO* (Calogero dkk. 2015). Sementara lapisan fotoanode bisa dibuat menggunakan nanopartikel semikonduktor TiO_2 , ZnO , dan SnO (Calogero dkk. 2019).

SANDI MUHAMMAD ROZIQ, 2024

PENGARUH pH PENGEKSTRASI DAN KONSENTRASI DAUN BANDOTAN (*Ageratum conyzoides* L) PADA PROSES EKSTRASI TERHADAP SIFAT OPTIK FOTOSENSITIZER DAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

Sedangkan elektroda balik dibuat dari lapisan platinum pada substrat konduktif transparan (Wu dkk. 2017) (Calogero dkk. 2019). Sedangkan elektroda balik dibuat dari lapisan platinum pada substrat konduktif transparan (Wu dkk. 2017). Komponen lain yang penting ialah elektrolit untuk reduksi *dye* atau pewarna (Singh dkk. 2021). Elektrolit I^-/I_3^- adalah elektrolit yang umum digunakan pada DSSC (Bhogaita dkk., 2016). Permasalahan yang ditemukan terkait dengan DSSC adalah pemilihan pewarna terbukti sangat mempengaruhi keseluruhan efisiensi DSSC (Erdogdu dkk. 2024). TiO_2 sebagai bahan semikonduktor untuk fotoanoda DSSC banyak digunakan karena celah pita yang lebar, pita konduksi lebih rendah daripada level energi pewarna dalam keadaan tereksitasi, dan stabilitas kimia yang baik (Borbón dkk. 2020; Nelson dan Chandler 2004). Molekul TiO_2 memiliki porositas yang memungkinkan molekul pewarna dapat menempel. Cahaya yang diserap oleh pewarna, energinya akan dialirkan dalam elektron oleh TiO_2 ke substrat kaca (Calogero dkk. 2015). Ketika pigmen pewarna dapat menyerap spektrum cahaya dengan rentang lebar, maka DSSC dapat menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi, ini menjadikan pigmen pewarna sebagai pemeran utama dalam DSSC (Nakhaei dkk. 2022). Hal tersebut terjadi karena TiO_2 memiliki celah pita sebesar 3,2 eV, dimana hanya menyerap cahaya ultraviolet (Dar dkk. 2014; Khan dkk. 2023). Penambahan pewarna bertujuan untuk menambah rentang serapan di cahaya tampak (400 – 700 nm) (Selim & Mohamed, 2017). Pelebaran serapan cahaya akan meningkatkan konversi efisiensi pada DSSC (Aziza dkk. 2023). Sebagai contoh pewarna dapat menyerap cahaya, Prima dkk. (2018) menunjukan ada perpindahan elektron dari HOMO *Highest Occupied Molecular Orbita* (HOMO) ke-5 ke *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) pada pewarna *peonidin-3-glucoside* (P3G) yang berakibat peningkatan absorbansi di panjang gelombang 266 nm. Pewarna memiliki kemampuan menyerap cahaya, karena adanya sistem konjugasi dalam strukturnya, di mana donor elektron dipisahkan dari akseptor elektron melalui spacer π -konjugasi, memungkinkan delokalisasi elektron yang kuat dalam sistem π -konjugasi dan menghasilkan pita serapan yang intens dalam rentang cahaya tampak melalui proses transfer muatan intramolekuler (Pigot dkk. 2021).

Secara umum, pewarna sebagai fotosensitizer pada DSSC dapat dikelompokkan menjadi organik dan anorganik (Saud dkk. 2024). Pewarna anorganik umumnya terdiri dari kompleks logam seperti kompleks ruthenium dan pewarna bebas ruthenium, sedangkan pewarna organik terdiri pewarna organik bebas logam dan pewarna alami (Yahya dkk. 2021). Golshan dkk. (2021) menyatakan bahwa hasil terbaik DSSC menggunakan pewarna organik dan pewarna berbasis porfirin. DSSC berbasis Ruthenium dengan polipiridil pada semikonduktor nanokristal TiO_2 menghasilkan efisiensi 11 – 12%. Tetapi ruthenium sulit untuk ditemukan dan menjadikannya bahan yang mahal (Calogero & Marco, 2008). Sementara itu, pewarna alami memiliki kelebihan seperti kinerja cahaya redup yang baik, integrasi produk tenaga surya yang dapat disesuaikan, dan sejalan dengan misi energi bersih terbarukan dalam pembuatannya (Teja dkk., 2023). Perwana alami dapat di-ekstrak lebih mudah untuk dibuat dan lebih ramah lingkungan yang menjadikan pewarna natural penelitian terakhir di bidang DSSC (Richhariya dkk., 2017). Karena pewarna alami dapat di-ekstrak dari buah, bunga, daun dan bagian tumbuhan yang lain (Saud dkk., 2024). Pewarna memiliki peranan yang penting dalam produktivitas DSSC, pewarna alami yang telah digunakan adalah antosianin, klorofil, flavonoid, dan karotin (Bist dan Chatterjee, 2021). Dengan segala kelebihannya, DSSC dengan pewarna alami masih menghasilkan efisiensi yang rendah dibanding pewarna lain (Iqbal dkk., 2019). Pewarna alami dari campuran dua pigmen pewarna klorofil dan antosianin yang berasal tumbuhan *Malva verticillata* dan *Syzygium cumini* memperoleh efisiensi sebesar 1,84% (Golshan dkk. 2021). Lalu DSSC menggunakan perwana alami yang berasal dari buah harda menghasilkan efisiensi sebesar 3,53% (Yadav dkk. 2021). Calogero dkk. (2015) melaporkan penggunaan kol merah (*Brassica oleracea*) yang menghasilkan pigmen antosianin sebagai pewarna alami DSSC memiliki efisiensi sebesar 2,90%. Buah rasberi dan jenis beri-berian yang lain menghasilkan efisiensi 3,04% sebagai pewarna alami DSSC (Prakash & Janarthanan, 2023). Indonesia sebagai negara yang memiliki keanekaragaman hayati memiliki banyak tumbuhan yang tumbuh subur, salah satunya bandotan (Retnowati dkk. 2019).

Bandotan (*Ageratum conyzoides* L.) merupakan tanaman liar yang banyak tumbuh di perkebunan atau tanah lapang (Harefa dkk., 2022). Selain itu, bandotan

SANDI MUHAMMAD ROZIQ, 2024

PENGARUH pH PENGEKSTRASI DAN KONSENTRASI DAUN BANDOTAN (*Ageratum conyzoides* L) PADA PROSES EKSTRASI TERHADAP SIFAT OPTIK FOTOSENSITIZER DAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

dapat tumbuh di berbagai tipe tanah dan tumbuh secara sangat cepat (Hilaliyah, 2021). Karena ketersediaannya, daun bandotan memiliki peluang untuk menjadi pewarna pada DSSC. Penelitian yang dilakukan oleh Yadav dkk. (2019) mengemukakan bahwa *A. conyzoides* L. memiliki sejumlah fitokonstituen hampir di setiap bagian tanaman seperti alkaloid, flavonoid, terpen, dan sterol. Seperti penjelasan yang dikemukakan sebelumnya bahwa flavonoid adalah salah satu pewarna alami yang dapat digunakan sebagai fotosensitizer pada DSSC.

Selain pemilihan pewarna sebagai optimasi DSSC, modifikasi struktur, pencarian elektrolit baru, dan modifikasi konsentrasi pewarna dapat dilakukan untuk mengoptimasi efisiensi DSSC. Menurut Nasyori dan Noor (2021) salah satu alasan meningkatnya efisiensi DSSC adalah tingginya konsentrasi dari pigmen pewarna. Pemilihan pelarut untuk mengekstraksi pewarna menjadi kunci kinerja fotosensitizer alami. Sebab pigmen pewarna alami dapat mengalami perubahan morfologi karena pH yang dimiliki pelarut. Perbedaan pH pelarut akan memengaruhi adsorpsi pigmen pewarna oleh lapisan TiO_2 dan berdampak pada kinerja DSSC secara luas (Golshan dkk. 2021; Kumara dkk. 2017). Hal tersebut terjadi karena pH dari pelarut akan merubah formasi molekul pewarna dalam keterikatannya dengan molekul TiO_2 . Formasi molekul yang berubah akan mengubah HOMO dan LUMO yang dimiliki pewarna. Perubahan ini akan memengaruhi transfer elektron ke molekul TiO_2 (Cahaya Prima dkk. 2015; Al Qibtiya dkk. 2016).

Dalam penelitian ini akan dilakukan sintesis dan karakterisasi DSSC menggunakan pewarna alami dari ekstrak daun bandotan dengan konsentrasi dan penggunaan pelarut yang berbeda untuk mengetahui bagaimana pengaruh konsentrasi ekstrak daun bandotan saat dijadikan fotosensitizer untuk DSSC.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pH pelarut untuk pewarna terhadap sifat optik?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi fotosensitizer terhadap sifat optik?
3. Bagaimana pengaruh pH pelarut untuk pewarna terhadap kinerja DSSC?

SANDI MUHAMMAD ROZIQ, 2024

PENGARUH pH PENGEKSTRAKSI DAN KONSENTRASI DAUN BANDOTAN (*Ageratum conyzoides* L) PADA PROSES EKSTRAKSI TERHADAP SIFAT OPTIK FOTOSENSITIZER DAN KINERJA DYE-SENSITIZED SOLAR CELL
Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

4. Bagaimana pengaruh konsentrasi fotosensitizer terhadap kinerja?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh pH pelarut pada proses ekstraksi terhadap sifat optik.
2. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh pH pelarut pada proses ekstraksi terhadap kinerja DSSC.
3. Memperoleh gambaran mengenai konsentrasi fotosensitizer terhadap sifat optik.
4. Memperoleh gambaran mengenai pengaruh konsentrasi fotosensitizer terhadap kinerja DSSC.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Sifat optik yang dibahas pada penelitian ini meliputi kemampuan absorbansi, konsentrasi fitokonstiuen, 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 daun bandotan.
2. Kinerja DSSC yang dibahas 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 (η).

1.5 Manfaat Penelitian

Studi ini diharapkan memberikan sumbangan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dengan menyediakan informasi tentang pemanfaatan ekstrak daun bandotan (*Ageratum conyzoides*) sebagai pewarna alami dalam DSSC (*Dye-Sensitized Solar Cell*) serta dampak variasi pH pelarut dan berat serbuk daun terhadap karakteristik optik dan kinerja perangkat. Hal ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi penelitian selanjutnya dalam pengembangan energi terbarukan dan bersih.

1.6 Sistematika Penulisan

Laporan ini disusun ke dalam lima bagian utama, masing-masing dengan beberapa sub-bagian. BAB I Pendahuluan, yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan. BAB II Kajian Pustaka, yang membahas landasan tentang sel surya, DSSC, komponen dan mekanisme DSSC, serta pemanfaatan daun bandotan sebagai fotosensitizer. BAB III Metode Penelitian, yang membahas metode penelitian, lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, proses penelitian, serta karakterisasi dan analisis data hasil penelitian. BAB IV Hasil dan Pembahasan menyajikan dan menjelaskan secara terperinci data hasil penelitian mengenai pengaruh pH pelarut dan berat serbuk daun terhadap sifat optik dan kinerja DSSC. BAB V Simpulan, Implikasi dan Rekomendasi berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan, penerapan hasil penelitian pada dunia nyata, dan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.