



e-ISSN Number
2655 2967

Available online at <https://jurnal.teknologiindustriumi.ac.id/index.php/JCPE/index>

Journal of Chemical Process Engineering

Volume 05 Nomor 02 (2020)



SINTA Accreditation
Number 28/E/KPT/2019

Sintesis Kompleks Cu(II) dan Fe(III) dengan Ligan Asam Humat dan Aplikasinya sebagai Sensitizer pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

(Synthesis of Cu(II) and Fe(III) Complexes with Humic Acid Ligand and Their Application as Sensitizer on Dye Sensitized Solar Cell (DSSC))

Hairunnisa, Gusrizal, Winda Rahmalia

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Indonesia

Inti Sari

Asam humat merupakan salah satu zat warna alami yang dapat digunakan sebagai sensitizer pada *dye sensitized solar cell* (DSSC) karena peka terhadap cahaya dan memiliki gugus fungsi asam karboksilat. Namun demikian, sebagai zat warna alami, kestabilan dan kapasitas absorpsi cahaya asam humat masih rendah, sehingga harus ditingkatkan, salah satunya dengan metode kompleksasi. Sintesis kompleks pada penelitian ini dilakukan dengan mereaksikan asam humat hasil isolasi dari tanah gambut dan prekursor logam ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ atau FeCl_3) dalam akuades dan diaduk selama 14 jam pada suhu ruang. DSSC dipreparasi dengan komponen TiO_2 sebagai semikonduktor, pasangan redoks I^-/I_3^- sebagai elektrolit dan platina sebagai elektroda lawan. Hasil analisis menggunakan FTIR menunjukkan kompleks asam humat dengan logam Cu(II) dan Fe(III) telah berhasil disintesis dengan hilangnya puncak serapan pada bilangan gelombang 1720, 1401 dan 1250 cm^{-1} serta adanya vibrasi Cu-O dan Fe-O pada bilangan gelombang 509 dan 570 cm^{-1} . Kehadiran ion logam pada sensitizer memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai arus. Adapun kinerja terbaik dalam menghasilkan listrik diperoleh pada rancangan DSSC kompleks asam humat-Fe(III) sebagai sensitizer dengan nilai arus sebesar $19,59 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, tegangan sebesar 15,17 mV dan efisiensi konversi energi maksimum sebesar $5,39 \times 10^{-4}\%$.

Kata Kunci: asam humat, DSSC, kompleks, Cu(II), Fe(III)

Key Words : *humic acid, DSSC, Cu(II), Fe(III)*

Abstract

Humic acid is a natural colorant that can be used as a sensitizer in dye sensitized solar cells (DSSC) because it is sensitive to light and has a carboxylic acid functional group. However, as a natural colorant, the stability and light absorption capacity of humic acid are still low, so it must be improved, one of the methods is the complexation. In this research, the synthesis of complex was conducted by reacting humic acid and metal precursors ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ or FeCl_3) in aquadest and stirring for 14 hours at room temperature. Humic acid was isolated from peat soil. The DSSC system was prepared with the TiO_2 as a semiconductor, the I^-/I_3^- redox pair as an electrolyte and platinum sol as a counter-electrode. The results of the analysis using FTIR shows that complex of humic acid

Published by

Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address

Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI)
Makassar- Sulawesi Selatan

Corresponding Author

winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id



Journal History

Paper received : 10 Agustus 2020
Received in revised : 7 September 2020
Accepted: 19 Desember 2020

with metal Cu(II) and Fe(III) has been successfully synthesized with the disappearance wavenumber at 1720, 1401 and 1250 cm^{-1} and with the present of Cu-O and Fe-O vibrations at wavenumber of 509 and 570 cm^{-1} respectively. The presence of metal ions as sensitizer provides a significant effect on current. The best performance was obtained on the DSSC system that fabricated with humic acid-Fe(III) complex as a sensitizer with current of 19,59 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, voltage of 15,17 mV and a maximum energy conversion efficiency of $5.39 \times 10^{-4}\%$.

PENDAHULUAN

Potensi Indonesia untuk mengembangkan energi surya mencapai 207,8 GWp, akan tetapi potensi ini baru dimanfaatkan sekitar 0,04% [1]. Penyebab belum optimalnya pemanfaatan potensi energi surya salah satunya karena tidak dapat bersaingnya biaya pembangkit listrik tenaga surya dengan pembangkit listrik dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi ataupun batu bara. Oleh sebab itu, diperlukan alternatif lain yang dapat memanfaatkan potensi energi matahari menjadi energi listrik, namun dengan biaya relatif lebih murah seperti *dye sensitized solar cell* (DSSC).

DSSC yang dikenalkan tahun 1991 terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu substrat kaca konduktif, semikonduktor, *dye* (zat warna), elektrolit, dan elektroda lawan yang disusun menumpuk seperti *sandwich*. Ketika rangkaian DSSC disinari cahaya, zat warna akan menyerap foton dan menyebabkan elektron pada zat warna mengalami eksitasi. Elektron tersebut akan berpindah menuju semikonduktor sehingga terdapat *hole* akibat dari zat warna yang teroksidasi. Elektron kemudian bergerak sepanjang semikonduktor menuju rangkaian luar dan masuk ke elektroda lawan. Elektron selanjutnya akan ditangkap oleh elektrolit dan terjadi reduksi yang menyebabkan tersedianya elektron pengganti sehingga zat warna kembali ke keadaan awal dan terjadi proses siklus dalam sel [2].

DSSC akan menghasilkan nilai efisiensi konversi energi maksimum cukup tinggi jika kelima komponen tersebut bekerja dengan optimal berdasarkan fungsinya. Efisiensi konversi energi maksimum tertinggi DSSC diperoleh dengan menggunakan kompleks dari logam rutenium sebagai bahan zat warna [3]. Akan tetapi, kompleks logam rutenium untuk dapat bekerja optimal sebagai sensitizer memerlukan kemurnian yang sangat tinggi (~90%). Selain itu senyawa rutenium dilaporkan membutuhkan lapis tipis TiO_2 setebal $10\mu\text{m}$ atau lebih untuk mencapai efisiensi sel surya 10%. Penggunaan TiO_2 dengan tebal tersebut dapat bersifat patogenik dan dapat menyebabkan hambatan aliran udara dalam

saluran pernafasan. Sensitizer berbasis kompleks rutenium juga sangat toksik dan karsinogenik serta memiliki proses sintesis yang rumit dan mengakibatkan biaya produksi relatif tinggi [4].

Berdasarkan kekurangan tersebut maka mulai dikembangkan zat warna lain yang dapat bertindak sebagai sensitizer pada DSSC. Zat warna alami yang berasal tanaman seperti buah, daun maupun bunga menjadi alternatif karena mudah ditemui dan dapat diperbaharui. Salah satu zat warna alami yang berpotensi digunakan sebagai sensitizer adalah asam humat yang dapat diisolasi dari tanah gambut. Asam humat memiliki warna coklat kehitaman yang disebabkan oleh gugus fungsi seperti karboksilat, hidroksi fenol serta kuinon yang merupakan gugus kromofor sehingga membuat asam humat dapat menyerap cahaya. Asam humat juga dapat digunakan sebagai sensitizer pada DSSC karena adanya gugus fungsi karboksilat yang mampu terikat pada permukaan TiO_2 dan dapat menginjeksikan elektron dari keadaan eksitasi ke pita konduksi TiO_2 [5][6][7].

Efek suatu senyawa sebagai sensitizer juga dipengaruhi oleh kondisi eksperimental sehingga dapat dilakukan peningkatan nilai efisiensi konversi energi maksimum DSSC. Salah satu yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan ion logam sebagai agen kompleks [8]. Gugus fungsi pada asam humat dapat bertindak sebagai ligan dalam pembentukan kompleks. Gugus fungsi seperti -OH fenol dan -COOH pada kondisi pH yang relatif tinggi dapat mengalami deprotonasi sehingga mengakibatkan gugus fungsi cenderung berada dalam bentuk muatan negatif dan dapat menarik kation logam [9].

Penambahan logam terhadap zat warna pada beberapa penelitian dilaporkan dapat meningkatkan nilai konversi energi maksimum DSSC. Hal ini dipengaruhi oleh elektron bebas pada logam yang dapat menyebabkan aliran muatan menjadi semakin baik [10][11][12]. Pada penelitian ini dilakukan pembentukan kompleks asam humat dengan Cu(II) dan Fe(III) sebagai sensitizer untuk meningkatkan nilai efisiensi konversi energi maksimum DSSC.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat Penelitian

Tanah gambut diambil di Jalan Sepakat Ujung, Kelurahan Bansir Laut, Kecamatan Pontianak Tenggara, Pontianak, Kalimantan Barat. HCl (Merck, 75%), $C_7H_8O_3S$, C_2H_3N (Merck), C_3H_6O (Merck), $FeCl_3$ (Merck), C_2H_5OH (Merck, 96%), I_2 (Merck), kaca TCO jenis *fluotine-doped tin oxide coated TEC-7 conductive glasses* (Solem), KI (Merck), ChCl (Sigma-Aldrich), NaOH (Merck), $AgNO_3$ (Merck), polyetgilen glycol, $CuCl_2$ (Merck), TiO_2 , triton-X (Merck). Alat yang digunakan yaitu multimeter *scientific 6* (Aligent 34461 A) pH meter (Hanna Instrument pH 211 Microprocessor), sentrifugasi, spektrofotometer inframerah (Shimadzu Prestige 21)

Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Preparasi sampel tanah gambut

Tanah gambut diambil dari kedalaman 0-50 cm dari permukaan kemudian dibersihkan dari sisa-sisa tanaman seperti daun, ranting dan akar lalu dikering-anginkan. Tanah gambut kemudian dihaluskan dan diayak

2. Isolasi asam humat

Isolasi asam humat dilakukan menggunakan prosedur *Internasional Humic Substance Society* (IHSS). Tanah gambut halus ditimbang sebanyak 100 gram kemudian dilarutkan dalam 1 L NaOH 0,1 M. Larutan selanjutnya dikocok menggunakan *shaker* selama 2 jam dan didiamkan selama 16 jam kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh dipisahkan menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 3500 rpm selama 15 menit. Supernatan yang dihasilkan kemudian disaring menggunakan kertas saring Whatman No. 42. Filtrat hasil penyaringan diasamkan dengan HCl 6 M hingga pH larutan menjadi 1, kemudian dikocok, didiamkan, dan disentrifugasi kembali. Terhadap endapan yang diperoleh kemudian dilakukan pengulangan ekstraksi sekali lagi

Endapan terakhir yang diperoleh selanjutnya dimasukkan ke dalam kantong selofan untuk didialisis dengan menggunakan akuades hingga memberikan uji Cl^- negatif dengan $AgNO_3$. Endapan kemudian dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu $60^\circ C$ dan kemudian disimpan dalam desikator.

3. Kompleksasi dan karakterisasi asam humat

Larutan asam humat dibuat dengan melarutkan asam humat hasil isolasi dengan larutan NaOH 0,1 M dan ditambahkan akuades hingga 1000 mL. Larutan logam tembaga dan besi dibuat menggunakan $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ dan $FeCl_3$, masing-masing dibuat dengan konsentrasi 0,075 M.

Larutan asam humat dan larutan logam dicampur kemudian pH campuran disesuaikan hingga 8 dengan 0,1 M NaOH. Campuran kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 14 jam dan di sentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan 3500 rpm. Endapan yang ada kemudian dilakukan dialisis dengan akuades dan selanjutnya di oven dengan suhu $100^\circ C$ selama 30 menit [13].

4. Pengukuran asam humat menggunakan spektrofotometer inframerah

Asam humat hasil isolasi dan kompleks asam humat dikarakterisasi menggunakan pellet KBr. FTIR digunakan untuk mengetahui kompleks asam humat logam telah berhasil terbentuk dengan cara membandingkan gugus fungsi asam humat sebelum dilakukan kompleksasi dengan asam humat yang telah ditambahkan logam Cu(II) maupun Fe(III).

5. Pembuatan pasta TiO_2

Anoda yang digunakan adalah campuran TiO_2 dengan MKA 5%. Dicampurkan sebanyak 2,3751 gram TiO_2 anatase dan MKA sebanyak 0,1264 gram. Etanol absolut sebanyak 15 mL, 16 tetes triton-x dan 12 tetes asetil aseton ditambahkan dan campuran kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 24 jam hingga terbentuk pasta. Pasta yang terbentuk disonikasi kurang lebih selama 3 jam[14].

6. Preparasi elektrolit

Elektrolit dibuat dengan melarutkan 0,8 gram KI pada 10 mL larutan asetonitril dan ditambahkan 0,13 gram I_2 . Larutan kemudian diaduk hingga larut sempurna[15].

7. Pembuatan larutan asam humat

Zat warna asam humat dan kompleks asam humat dilarutkan dalam pelarut eutetik yang dibuat dengan mencampurkan PTSA 4,76 gram ke dalam ChCl 5,24 gram. Campuran dipanaskan pada temperatur $80^\circ C$ sambil dilakukan pengadukan hingga campuran larut sempurna. Zat warna asam humat dan kompleks asam humat ditimbang sebanyak 0,005 gram kemudian ditambahkan 1 mL pelarut eutetik.

8. Pembuatan DSSC

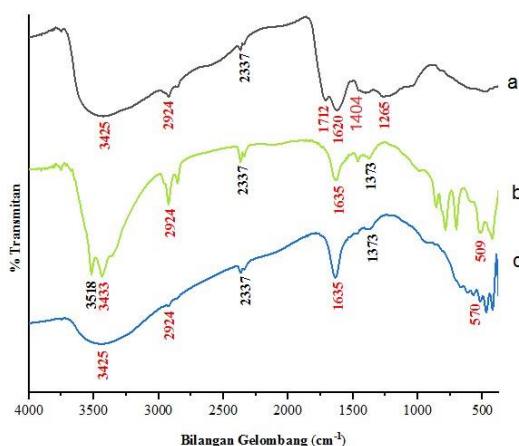
Pembuatan rangkaian DSSC diawali dengan pembersihan kaca TCO berukuran (2×2) cm² dengan etanol. Pada kaca selanjutnya dibentuk area aktif seluas (1×1) cm² sebagai tempat TiO₂ dideposisikan dengan bantuan selotip. Lapisan kemudian dikeringkan dalam tanur selama 30 menit pada suhu 450°C. Kaca yang telah dilapisi pasta TiO₂ sebagai anoda kemudian direndam larutan zat warna semalaman. Kaca TCO yang telah dilapisi platina dikeringkan dalam tanur pada suhu 450°C selama 5 menit. Kaca TCO yang telah direndam dengan larutan asam humat dan ditetesi elektrolit kemudian ditutup dengan kaca TCO yang telah dilapisi platina sebagai katoda sehingga membentuk struktur seperti *sandwich*[16].

9. Karakterisasi efisiensi DSSC

Karakterisasi efisiensi DSSC dilakukan dengan menggunakan lampu halogen 500 watt sebagai sumber cahaya dan variasi intensitas cahaya sebesar 50-1000 watt/m². Parameter yang diukur adalah arus *short circuit* (Isc) dan tegangan *open circuit* (Voc) pada multimeter *scientific* Aligent 34461 A.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Inframerah



Gambar 1. Spektra FTIR (a) HA, (b) kompleks HA-Cu(II), dan (c) kompleks HA-Fe(III)

Kompleks asam humat disintesis dengan mencampurkan larutan asam humat dan logam Cu(II) dan Fe(III). Proses sintesis menghasilkan perubahan warna larutan serta terbentuknya endapan. Kompleks dengan logam Cu(II) mengalami perubahan warna menjadi hijau sedangkan kompleks dengan logam

Fe(III) terjadi perubahan warna menjadi jingga. Perubahan warna yang terjadi disebabkan oleh perpindahan elektron karena adanya orbital kosong pada ion logam sehingga terjadi interaksi d-d dengan ligan[17].

Spektra FTIR yang dihasilkan dari asam humat hasil isolasi serta sintesis kompleks asam humat dengan logam Cu(II) dan logam Fe(III) ditunjukkan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil analisis FTIR, adanya perbedaan hasil spektra menunjukkan bahwa kompleks asam humat telah terbentuk.

Berdasarkan Tabel 1, penambahan logam pada asam humat menyebabkan hilangnya beberapa pita serapan yang terdapat pada asam humat murni. Hilangnya bilangan gelombang ini disebabkan oleh interaksi antara logam dengan gugus fungsi -COO⁻ akibat dari terdeprotonasinya gugus fungsi COOH[9][13].

Tabel 1. Interpretasi Pita Serapan Asam Humat dan Kompleks Asam Humat

HA (cm ⁻¹)	HA-Cu(II) (cm ⁻¹)	HA-Fe(III) (cm ⁻¹)	Jenis Vibrasi
3425	3433	3425	Regangan O-H
2924	2924	2924	Regangan C-H alifatik
1712	-	-	Regangan C=O dari COOH dan keton
1620	1635	1635	C=C aromatik
1404	-	-	COO ⁻ anti simetris
1265	-	-	Regangan -OH dan C-O dari -COOH
-	509	-	Vibrasi Cu-O
-	-	570	Vibrasi Fe-O

Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa gugus fungsi asam humat yang berperan aktif dalam pembentukan kompleks adalah gugus -COOH. Hasil ini diperkuat dengan munculnya serapan baru di bilangan gelombang 509 cm⁻¹ untuk kompleks dengan logam Cu(II) yang diidentifikasi sebagai vibrasi Cu-O

[18][19][20] dan bilangan gelombang 570 cm^{-1} untuk kompleks dengan logam Fe(III) yang diidentifikasi sebagai vibrasi Fe-O[21].

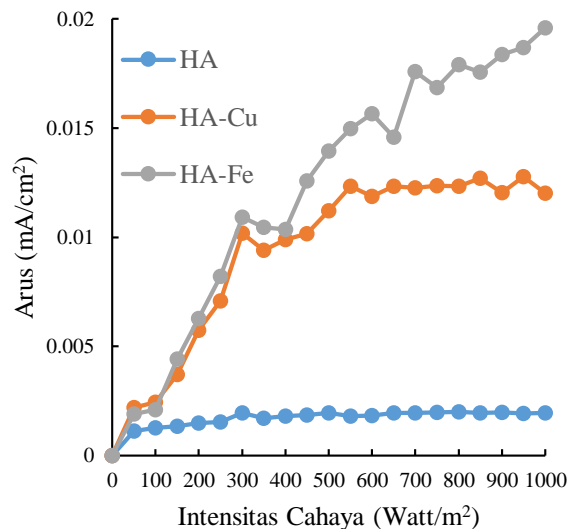
2. Fabrikasi DSSC

Komponen DSSC pada penelitian ini menggunakan material kaca konduktif berupa *fluorinated tin oxide* (FTO), semikonduktor TiO_2 , pasangan redoks I^-/I_3^- sebagai elektrolit serta platina sebagai elektroda lawan. FTO memiliki sifat konduktivitas listrik yang relatif lebih tahan terhadap pemanasan dibandingkan dengan material kaca lain seperti *indium tin oxide* (ITO)[22].

Semikonduktor yang digunakan merupakan campuran TiO_2 anatase dengan metakaolin teraktivasi. Campuran ini dilaporkan dapat menurunkan energi celah pita TiO_2 dari 3,2 eV menjadi 3,16 eV. Energi celah pita yang kecil menyebabkan efisiensi konversi energi maksimum DSSC yang diperoleh semakin besar. Hal ini karena elektron lebih mudah mengalami perpindahan dari pita valensi ke pita konduksi sehingga energi yang diperlukan semakin kecil[23][24].

Pasangan redoks I^-/I_3^- diperoleh dari pencampuran KI dan I_2 . Penggunaan KI dalam memperoleh pasangan redoks I^-/I_3^- dapat meningkatkan nilai efisiensi konversi energi maksimum DSSC. Hal ini dipengaruhi oleh elektron donor hasil reaksi redoks jumlahnya lebih banyak sehingga dapat segera digunakan untuk menggantikan elektron tereksitasi dari zat warna[25]. Platina digunakan sebagai elektroda lawan karena memiliki konduktivitas elektrik, konduktivitas termal, aktivitas katalis yang baik serta memiliki stabilitas yang tinggi terhadap elektrolit sehingga mempunyai keunggulan untuk memperoleh efisiensi konversi energi maksimum DSSC lebih tinggi[26][27].

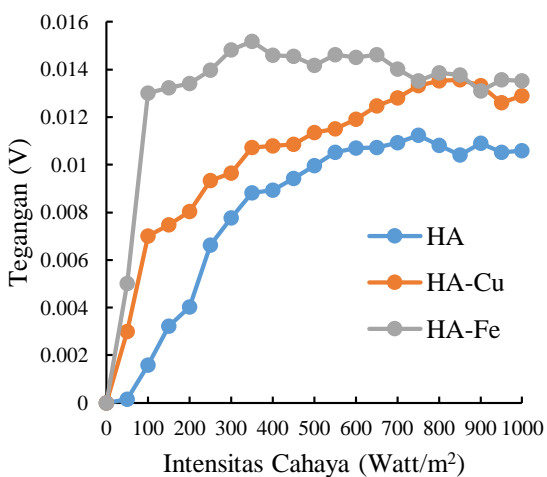
Pengukuran I_{sc} terhadap rangkaian DSSC ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil pengukuran menunjukkan terjadinya kecenderungan peningkatan nilai arus seiring dengan tingginya intensitas cahaya yang dipaparkan. Rangkaian DSSC yang disinari oleh cahaya dengan intensitas yang besar akan menyebabkan hasil nilai arus yang diperoleh juga semakin besar. Hal tersebut dikarenakan nilai arus yang diperoleh menunjukkan banyaknya foton yang terserap dan terlibat dalam kinerja zat warna pada DSSC[11][28].



Gambar 2. Kurva hubungan arus terhadap intensitas

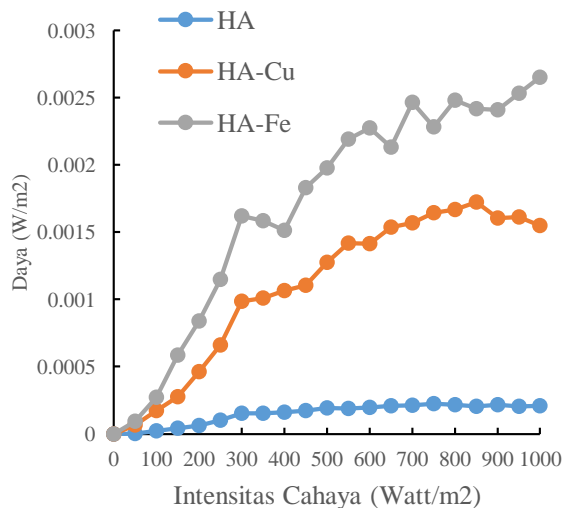
Rangkaian DSSC menggunakan zat warna kompleks asam humat-logam mengalami peningkatan signifikan nilai arus yang dihasilkan dibandingkan dengan zat warna asam humat murni. Hal tersebut dikarenakan adanya elektron bebas dari logam yang menyebabkan foton terserap lebih banyak seiring dengan peningkatan intensitas cahaya. Elektron tersebut menjadi lebih efisien ditangkap oleh elektrolit sehingga dapat mempercepat proses siklus pada rangkaian DSSC dan membuat aliran muatan semakin baik[10][11][12].

Pengukuran V_{oc} ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai tegangan pada rangkaian DSSC dipengaruhi oleh banyaknya zat warna yang terserap oleh semikonduktor TiO_2 [28]. Zat warna yang teradsorpsi semakin banyak maka penyerapan foton oleh zat warna juga akan meningkat sehingga nilai tegangan yang diperoleh ikut mengalami peningkatan[29]. Berdasarkan hasil pengukuran, rangkaian DSSC dengan zat warna kompleks asam humat-logam mengalami peningkatan dibandingkan zat warna asam humat murni. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan logam pada zat warna asam humat dapat menyebabkan kemampuan serta jumlah zat warna untuk teradsorpsi menjadi lebih mudah dan banyak pada semikonduktor TiO_2 .



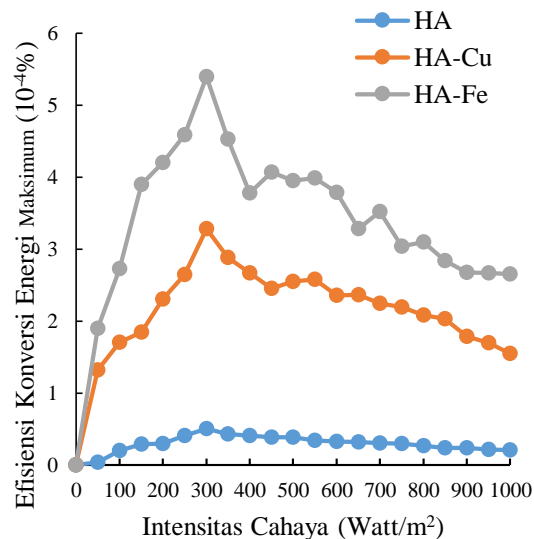
Gambar 3. Kurva hubungan tegangan terhadap intensitas cahaya

Berdasarkan hasil pengukuran I_{sc} dan V_{oc} , dapat dihitung nilai daya dari rangkaian DSSC. Nilai daya yang diperoleh merupakan hasil kali nilai I_{sc} dan nilai V_{oc} . Nilai daya rangkaian DSSC yang dihitung ditunjukkan pada Gambar 4. Penambahan logam terhadap zat warna asam humat memperoleh nilai daya yang lebih besar dibanding dengan zat warna asam humat murni, hal ini sesuai dengan nilai arus dan tegangan yang diperoleh juga besar.



Gambar 4. Kurva hubungan daya terhadap intensitas cahaya

Gambar 5 menunjukkan hasil efisiensi konversi energi maksimum rangkaian DSSC yang diperoleh. Nilai yang diperoleh berasal dari nilai daya dibagi dengan hasil kali dari intensitas cahaya dengan luas sel. Berdasarkan hasil tersebut, nilai efisiensi terus mengalami peningkatan hingga intensitas cahaya 300 W/m^2 dan cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan intensitas cahaya yang diberikan. Hal ini dikarenakan terjadi peningkatan temperatur seiring dengan semakin tinggi intensitas cahaya yang dipaparkan, sehingga dapat menyebabkan nilai efisiensi konversi energi maksimum DSSC cenderung menjadi turun[30].



Gambar 5. Kurva hubungan efisiensi konversi energi maksimum terhadap intensitas cahaya

Hasil pengukuran DSSC dengan masing-masing variasi zat warna ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, penambahan logam pada zat warna asam humat murni dapat meningkatkan performa DSSC. Hal ini ditunjukkan dengan nilai arus, tegangan, daya serta efisiensi konversi energi maksimum yang diperoleh menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai rangkaian DSSC menggunakan zat warna asam humat murni. Penambahan logam khususnya logam Fe(III) menghasilkan performa lebih baik dibandingkan dengan penambahan logam Cu(II). Berdasarkan hasil konfigurasi elektron, logam Fe dalam bentuk ion Fe(III) memiliki lebih banyak elektron bebas dibandingkan dengan logam Cu dalam

bentuk ion Cu(II). Semakin banyak elektron bebas maka kemampuan zat warna dalam menyerap foton lebih optimal sehingga aliran muatan menjadi semakin baik.

Penambahan logam pada zat warna asam humat memberikan pengaruh lebih besar terhadap nilai arus yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan oleh banyaknya elektron bebas dari logam yang dapat meningkatkan jumlah foton yang diserap dan terlibat dalam kinerja zat warna pada DSSC.

Dalam penelitian ini, penggunaan kompleks asam humat dengan logam Cu(II) dan Fe(III) sebagai sensitizer masih menghasilkan nilai efisiensi konversi energi maksimum yang rendah. Perolehan nilai ini dapat disebabkan oleh banyak faktor. Beberapa kemungkinan diantaranya kapasitas absorpsi kompleks pada sumber cahaya yang digunakan masih rendah, dan interaksi antara permukaan *dye sensitizer*, TiO₂ serta elektrolit belum optimal.

Tabel 2. Nilai Besaran dan Efisiensi DSSC pada Variasi Zat Warna

Zat warna	Isc ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Voc (mV)	Daya (W/m^2)	Efisiensi konversi energi maksimum (%)
HA	1,99	11,24	$2,22 \times 10^{-4}$	$0,51 \times 10^{-4}$
HA-Cu	12,78	13,52	$1,72 \times 10^{-3}$	$3,28 \times 10^{-4}$
HA-Fe	19,60	15,17	$2,65 \times 10^{-3}$	$5,39 \times 10^{-4}$

KESIMPULAN

Sintesis kompleks Cu(II) dan Fe(III) dengan ligan asam humat sebagai zat warna dalam DSSC berhasil terbentuk ditunjukkan oleh hilangnya bilangan gelombang 1712, 1400 dan 1265 cm^{-1} serta munculnya pita serapan baru logam oksida yang menunjukkan bahwa logam terikat dengan gugus fungsi karboksilat pada asam humat. Penambahan ion logam pada asam humat mampu meningkatkan performa DSSC yang dihasilkan khususnya nilai arus yang diperoleh karena adanya elektron bebas dari kation logam sehingga dapat meningkatkan jumlah foton yang diserap oleh sensitizer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura Pontianak sebagai tempat pelaksanaan penelitian. Laboratorium Kimia Organik Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada Yogyakarta sebagai tempat analisis sampel penelitian menggunakan spektrofotometer inframerah..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia energy out look 2019," pp. 1-94, 2019. ISSN: 2527-3000
- [2] G. P. Smestad and M. Grätzel, "Demonstrating electron transfer and nanotechnology: A natural dye-sensitized nanocrystalline energy converter," *J. Chem. Educ.*, vol. 75, no. 6, pp. 752–756, 1998. <https://doi.org/10.1021/ed075p752>
- [3] L. Giribabu and R. K. Kanaparthi, "Are porphyrins an alternative to ruthenium(II) sensitizers for dye-sensitized solar cells?," *Curr. Sci.*, vol. 104, no. 7, pp. 847–855, 2013. www.jstor.org/stable/24092098.
- [4] I. Kartini, S. Wahyuningsih, T. D. Wahyuningsih, *et al.*, *Potensi zat warna alam indonesia sebagai sensitiser sel surya sistem sandwich titania tersensitisasi*. UGM Yogyakarta: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, 2009.
- [5] R. L. Vekariya, K. K. Sonigara, K. B. Fadadu, *et al.*, "Humic acid as a sensitizer in highly stable dye solar cells: energy from an abundant natural polymer soil component," *ACS Omega*, vol. 1, no. 1, pp. 14–18, 2016. <https://doi.org/10.1021/acsomega.6b00010>
- [6] K. Yang, D. Lin, and B. Xing, "Interactions of humic acid with nanosized inorganic oxides," <https://doi.org/10.1021/la803701b>
- [7] Y. Cho and W. Choi, "Visible light-induced reactions of humic acids on TiO₂," *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 148, no. 1–3, pp. 129–135, 2002. <https://doi.org/10.1016/S1010->

- 6030(02)00082-5
- [8] H. Cui, H. M. Hwang, S. Cook, *et al.*, "Effect of photosensitizer riboflavin on the fate of 2,4,6-trinitrotoluene in a freshwater environment," *Chemosphere*, vol. 44, no. 4, pp. 621–625, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00333-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00333-7)
- [9] I. Kostić, A. Tatjana, N. Ružica, *et al.*, "Copper(II) and lead(II) complexation by humic acid and humic-like ligands," *J. Serbian Chem. Soc.*, vol. 76, no. 9, pp. 1325–1336, 2011. <https://doi.org/10.2298/JSC110310115K>
- [10] L. Alibabaei, M. Wang, R. Giovannetti, *et al.*, "Application of Cu(ii) and Zn(ii) coproporphyrins as sensitizers for thin film dye sensitized solar cells," *Energy Environ. Sci.*, vol. 3, no. 7, pp. 956–961, 2010. <https://doi.org/10.1039/B926726C>
- [11] H. Setyawati, H. Darmokoesoemo, A. T. A. Ningtyas, *et al.*, "Effect of metal ion Fe(III) on the performance of chlorophyll as photosensitizers on dye sensitized solar cell," *Results Phys.*, vol. 7, no. Iii, pp. 2907–2918, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.08.009>
- [12] E. S. Ningrum, H. Darmokoesoemo, and H. Setyawati, "Pengaruh ion logam Fe(III) terhadap kinerja 5,10,15,20-tetraphenylporphyrin sebagai fotosensitizer pada dye sensitized solar cell (DSSC)," pp. 1–11, 2019.
- [13] S. Zhou, S. Chen, Y. Yuan, *et al.*, "Influence of humic acid complexation with metal ions on extracellular electron transfer activity," *Sci. Rep.*, vol. 5, no. June, pp. 1–9, 2015. <https://doi.org/10.1038/srep17067>
- [14] W. Rahmalia, "Parameter de performance de phto-electrodes de TiO₂/Kaolinit et d'electrolites a base de carbonates biosoirces dans la cellule solaire sensibilisee par la bixin," Institute National Polytechnique de Toulouse, 2016.
- [15] S. M. R. Nadaek and D. Susanti, "Variasi temperatur dan waktu tahan kalsinasi terhadap unjuk kerja semikonduktor TiO₂ sebagai dye sensitized solar cell (DSSC) dengan dye dari ekstrak buah naga," *J. Tek. ITS*, vol. 1, pp. 2–7, 2014. ISSN: 2301-9271
- [16] R. Damayanti, Hardeli, and H. Sanjaya, "Preparasi dye sensitized solar cell (dscc) menggunakan ekstrak antosianin ubi jalar ungu (*Ipomea batatas L.*)," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 6, no. 2, pp. 148–157, 2014. ISSN:2085-8019
- [17] R. Alfanaar, S. Senyawa, K. Astaxanthin, *et al.*, "Bantuan gelombang ultrasonik," vol. 41, no. 2, pp. 88–94, 2019. <http://dx.doi.org/10.24817/jkk.v41i2.3366>
- [18] A. Azam, A. S. Ahmed, M. Oves, *et al.*, "Size-dependent antimicrobial properties of CuO nanoparticles against Gram-positive and -negative bacterial strains," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 7, no. May 2014, pp. 3527–3535, 2012. <https://doi.org/10.2147/IJN.S29020>
- [19] V. V. T. Padil and M. Černík, "Green synthesis of copper oxide nanoparticles using gum karaya as a biotemplate and their antibacterial application," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 8, no. October 2014, pp. 889–898, 2013. <https://doi.org/10.2147/IJN.S40599>
- [20] M. Y. Nassar, H. M. Aly, M. E. Moustafa, *et al.*, "Synthesis, characterization and biological activity of new 3-substitued-4-amino-5-hydrazino-1,2,4-triazole schiff bases and their Cu(II) complexes: a new approach to CuO nanoparticles for photocatalytic degradation of methylene blue dye," *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, vol. 27, no. 5, pp. 1220–1233, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10904-017-0569-x>
- [21] Kustomo and S. J. Santosa, "Studi kinetika dan adsorpsi zat warna kation (metilen biru) dan anion (metil orange) pada magnetit terlapis asam humat," *J. Jejaring Mat. dan Sains*, vol. 1, no. 2, pp. 64–69, 2019. <https://doi.org/10.36873/jjms.v1i2.212>

- [22] H. Widiyandari, A. Purwanto, E. Hidayanto, *et al.*, “Fabrikasi gelas transparan konduktif ftO (flourine-doped tin oxide) dan aplikasinya pada sel surya berbasis dye (DSSC),” *Pros. InSINas*, no. Cvd, pp. 88–92, 2012.
- [23] W. Rahmalia, I. H. Silalahi, U. Thamrin, *et al.*, “Kaoline modified TiO₂ based photo-electrode for bixin-sensitized solar cell: effect of illumination intensity to Voc and Isc values,” pp. 1–23.
- [24] A. Y. K. Dewi, S. Priatmoko, and S. Wahyuni, “Elektroda solar cell berbaris komposit TiO₂/SiO₂ sebagai energi alternatif terbarukan,” *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 1, no. 2, pp. 92–97, 2012, ISSN:2252-6951.
- [25] Y. Hari Prasetyo, S. Wahyuningsih, and R. Suryana, “Studi variasi elektrolit terhadap kinerja dye-sensitized solar cell (DSSC),” *J. Fis. Indones.*, vol. 18, no. 53, pp. 47–49, 2015. <https://doi.org/10.22146/jfi.24388>
- [26] M. Wu and T. Ma, “Low-cost pt-free counter electrode catalysts in dye-sensitized solar cells,” *Green Energy Technol.*, no. 9781447164722, pp. 77–87, 2014. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6473-9_4
- [27] Y. L. Lee, C. L. Chen, L. W. Chong, *et al.*, “A platinum counter electrode with high electrochemical activity and high transparency for dye-sensitized solar cells,” *Electrochem. commun.*, vol. 12, no. 11, pp. 1662–1665, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2010.09.022>
- [28] N. Puspa, N. A. Silviyanti, G. Yudoyono, *et al.*, “Pengaruh ketebalan lapisan TiO₂ terhadap performasi dye sensitized solar cells,” *J. Fis. dan Apl.*, vol. 14, no. 1, p. 12, 2018. DOI: 10. 12962/j24604682.v14i1.3553
- [29] A. Fitria, A. Amri, and A. Fadli, “Pembuatan prototip dye sensitized solar cell (dssc) menggunakan dye ekstrak buah senduduk dengan variasi fraksi pelarut dan lama perendaman coating TiO₂,” vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [30] K. Z. Taqwa and B. A. Dwiyanoro, “Studi eksperimental pengaruh intensitas cahaya terhadap performa dssc (dye sensitized solar cell) dengan ekstrak buah dan sayur sebagai dye sensitizer,” vol. 4, no. 1, p. 103, 2015. ISSN: 2337-3539