

PENGARUH KANDUNGAN SENYAWA PADA EKSTRAK DAUN JATI (*Tectona grandis*) TERHADAP NILAI EFISIENSI DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Muharam Bapa Lasang¹, Aisyah¹, Iswadi², Andi Nurfitriani Abu Bakar¹

¹Jurusan Kimia UIN Alauddin Makassar

²Jurusan Fisika UIN Alauddin Makassar

Email : aisyah@uin-alauddin.ac.id

Abstrak: *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Beberapa zat warna dari tumbuhan lokal Indonesia diketahui berpotensi sebagai sensitizer. Penelitian ini mengevaluasi kemampuan komponen zat warna dari daun jati berikatan dengan semikonduktor TiO₂ untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik. Daun jati diekstrak dengan maserasi menggunakan pelarut n-heksan etil asetat dan metanol. Nilai efisiensi DSSC diukur dari ketiga ekstrak ditambah dengan campuran dari ketiga ekstrak tersebut. Data spektrum zat warna dimonitor menggunakan spektrofotometer FTIR dan UV-VIS. Data spektrum menunjukkan adanya senyawa flavonoid, alkaloid dan terpenoid dalam ekstrak campuran yang menghasilkan serapan panjang gelombang maksimal khas pada daerah 500-650 nm dan 269 nm. Nilai efisiensi DSSC diukur dari ketiga ekstrak dan campuran dari ketiga ekstrak tersebut. Nilai efisiensi dari ke empat sampel berturut-turut yaitu 0.0068%, 0.03%, 0.06%, dan 0.34%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak kandungan zat warna yang terikat pada TiO₂ semakin tinggi nilai efisiensi DSSC.

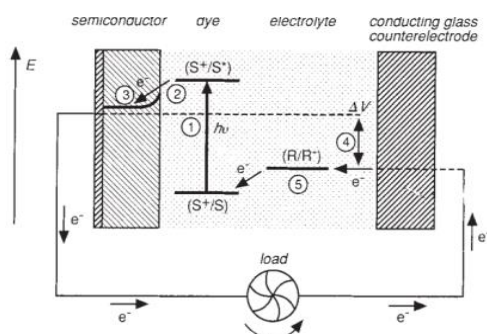
Kata Kunci: DSSC, ekstrak daun jati, nilai efisiensi, TiO₂, kromofor

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik setiap tahun semakin bertambah seiring dengan meningkatnya populasi dan aktivitas penunjang hidup manusia. Penelitian mengenai sumber-sumber energi listrik terbarukan semakin meningkat salah satunya adalah sumber energi listrik dari sinar matahari. Sel surya adalah komponen penerima energi radiasi dari sinar matahari yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Beberapa jenis sel surya telah dikembangkan untuk mendapatkan nilai efisiensi yang optimal. Salah satunya adalah sel surya berbasis zat warna atau *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC).

DSSC merupakan seperangkat sel surya yang terbuat dari semikonduktor yang dilapisi zat warna yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi listrik (Gratzel dan O'Regan, 1991: 739). DSSC berbasis fotoelektrokimia yang menggunakan larutan elektrolit sebagai penyedia elektron. Hingga saat ini efisiensi yang dimiliki DSSC masih rendah dibandingkan sel surya berbasis silikon yang dapat mencapai 17-25 % (Hardeli, 2013 : 156).

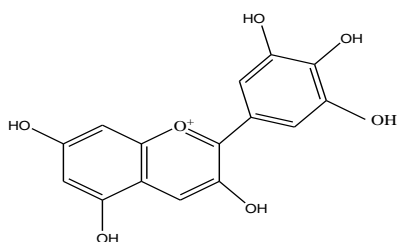
Prinsip kerja DSSC adalah adanya eksitasi elektron dari *dye* akibat absorpsi cahaya. Elektron tereksitasi dari tingkat energi dasar ke tingkat energi tereksitasi (Natullah, 2013 : 2) Elektron dari keadaan eksitasi kemudian terinjeksi menuju konduktor TiO₂ hingga molekul *dye* teroksidasi. Karena adanya donor elektron oleh elektrolit (I⁻), molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya. Disaat mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter elektroda* melalui rangkaian eksternal dengan adanya katalis pada *counter elektroda* (Hardeli dkk, 2013 : 156). Elektron akan di transfer ke elektroda pembanding yang sudah diberi katalis dan kemudian mediator elektron elektrolit akan bersiklus dalam sel (Ekasari, 2013 : 15).



Gambar 1. Susunan sel surya

Zat warna atau *dye* untuk DSSC yang digunakan biasanya berasal dari daun-daunan, biji-bijian dan kulit- kulit buah, salah satunya adalah daun jati. Daun jati memiliki nama latin *Tectona grandis*, termasuk dalam famili *Verbenacae* yang mengandung pigmen antosianin. Warna yang dihasilkan dari senyawa antosinin adalah biru, ungu, violet, magenta, merah dan jingga (Fathinatullabibah.,dkk, 2014 : 60).

Berikut merupakan struktur golongan antosianin yang merupakan salah satu contoh zat warna atau *dye* :



Gambar 2. Struktur Jenis Antosianin Sianidin (Samber, 2013 : 1).

Baharuddin dkk pada tahun 2014 telah melakukan ekstraksi zat warna dari daun jati dengan menggunakan pelarut metanol. Ekstrak *dye* di aplikasikan pada DSSC dengan nilai efisiensi sel sebesar 0.05%. Kandungan zat warna yang teridentifikasi adalah sianidin. Pradana pada tahun 2013 juga memperoleh nilai efisiensi sebesar 0.005% dari sel surya menggunakan zat warna dari bunga geranium yang diekstrak dengan pelarut n-heksan. Alhamed pada tahun 2012 menggunakan ekstrak kasar rapsberi pada permukaan semikonduktor dan menghasilkan nilai efisiensi sebesar 1,50%. Chien and Hsu pada tahun 2013 menemukan bahwa senyawa antosianin pada pH 8 mampu menghasilkan nilai efisiensi hingga 1,18% .

Nilai efisiensi yang dihasilkan dari ekstrak tunggal umumnya masih rendah. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan perbandingan empat sampel zat warna dari daun

jati salah satunya adalah gabungan ketiga ekstrak untuk menghasilkan menghasilkan nilai efisiensi yang lebih optimal.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini, yaitu spektrofotometer FTIR *Nicolet iS10*, spektrofotometer UV-Vis *Varian Cary 50 Conc*, SEM (*scanning Electron Microscopy*), multimeter DT-680B, *rotary vaccum evaporator*, neraca analitik, kaca TCO (*Transparent Conductive Oxide*), *Luxmeter*, potensiometer 50 k Ω , *hot plate*, kabel, alat gelas, batang pengaduk, plat tetes dan spatula.

Simplisia yang digunakan adalah daun jati yang diambil di Dolu, Kabupaten Lembata, Nusa Tenggara Timur. Bahan kimia meliputi aquadest (H₂O), etanol (C₂H₅OH), etil asetat (C₄H₈O₂) (Bratachem), FeCl₃ 5%, iodin (I₂), kalium iodida (KI), metanol (CH₃OH)(Bratachem), NaOH 10%, n-heksan (C₆H₁₄)(Bratachem), Pereaksi dragendorf, pereaksi mayer, pereaksi wagner, pereaksi lieberman-burchard, Titanium dioksida (TiO₂) catalog 7508.

Ekstraksi Sampel Daun Jati

Sampel daun jati terlebih dahulu dipotong-potong kecil dan dikeringkan pada suhu kamar kemudian dihaluskan untuk mendapatkan serbuk daun jati yang selanjutnya disebut simplisia. Maserasi dimulai dengan pelarut n-heksan, dilanjutkan dengan pelarut etil asetat dan terakhir dengan pelarut metanol. Ditimbang sebanyak 300 gr simplisia kemudian dimasukkan ke dalam toples dan direndam dengan n-heksan selama \pm 24 jam pada suhu kamar. Ekstraksi diulang hingga diperoleh filtrat yang tidak berwarna. Dengan cara yang sama, residu kemudian diekstraksi dengan etil asetat. Pada tahap akhir, residu diekstraksi dengan metanol. Filtrat dari maserat yang diperoleh kemudian dipisahkan dengan menggunakan *rotary vaccum evaporator* pada suhu 40-50 °C dan 50 rpm hingga membentuk ekstrak kental.

Preparasi TiO₂

TiO₂ p.a katalog 7508 ditimbang \pm 1 gram kemudian dilarutkan dengan menggunakan pelaut etanol (C₂H₅OH) sebanyak 5 mL hingga terbentuk pasta.

Pembuatan larutan elektrolit

Larutan elektrolit dibuat dari campuran Kalium iodida dan Iodin. Kalium iodida ditimbang sebanyak 0.83 gr dan ditambahkan Iodin sebanyak 0.127 gr lalu dilarutkan dalam 10 mL aquades.

Persiapan elektroda pembanding

Kaca TCO dibersihkan dengan aquadest dalam ultrasonik kemudian dikeringkan. Setelah itu kaca TCO diukur resistansinya, sisi kaca yang mempunyai resistansi dipanaskan di atas api (lilin) hingga terbentuk warna hitam pada kaca TCO.

Rangkaian perangkat DSSC

Kaca TCO yang telah dibersihkan lalu diukur resistansinya. Sisi kaca yang mempunyai resistansi ditutup dengan isolasi bening di salah satu sisinya dan dilakukan

pelapisan pasta TiO₂ p.a kemudian dilakukan proses sintering selama 30 menit. Kaca TCO yang telah dilapisi dengan TiO₂ kemudian ditetesi dengan ekstrak daun Jati dan dibiarkan beberapa menit hingga *dye* terserap ke dalam TiO₂. Selanjutnya sel dilapisi dengan larutan elektrolit dan ditutup dengan elektroda pembanding. Setelah rangkaian selesai, sel kemudian disambungkan dengan alat multimeter dan pengukur intensitas cahaya. Sel lalu disinari dengan sinar matahari dan dicatat arus serta tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian DSSC.

Uji skiring fitokimia ekstrak daun jati

- 1) Uji dengan FeCl₃ 5%
Sampel diencerkan dengan pelarutnya kemudian dipipet ke dalam plat tetes lalu ditetesi dengan FeCl₃ 5%, amati perubahan warna yang terjadi.
- 2) Uji dengan NaOH 10%
Sampel diencerkan dengan pelarutnya lalu dipipet ke dalam plat tetes dan ditetesi dengan NaOH 10%. Amati perubahan warna yang terjadi.
- 3) Pereaksi Dragendorf
Sampel diencerkan menggunakan pelarutnya kemudian dipipet kedalam plat tetes dan ditetesi dengan pereaksi Dragendorf. Amati perubahan warna yang terjadi.
- 4) Pereaksi Mayer
Sampel diencerkan menggunakan pelarutnya kemudian dipipet kedalam plat tetes dan ditetesi dengan pereaksi Mayer. Amati perubahan warna yang terjadi.
- 5) Pereaksi Wagner
Sampel diencerkan menggunakan pelarutnya kemudian dipipet kedalam plat tetes dan ditetesi dengan pereaksi Wagner. Amati perubahan warna yang terjadi endapan berwarna jingga.
- 6) Pereaksi Lieberman-Burchard
Sampel diencerkan menggunakan pelarutnya kemudian dipipet ke dalam plat tetes dan ditetesi dengan pereaksi Lieberman-Burchard. Amati perubahan warna yang terjadi.

Analisis UV-Vis

Absorpsi dari senyawa dari ekstrak kental daun jati dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis *Varian Cary 50 Conc.* Panjang gelombang cahaya yang digunakan yaitu berkisar antara 400-800 nm.

Analisis FTIR

Spektra gugus fungsi dari ekstrak kental daun jati dianalisa dengan menggunakan spektrofotometer FTIR *Nicolet iS10*.

Uji Scanning Electron Microscopy (SEM)

Kaca TCO dipotong dengan ukuran 0.5 cm x 0.5 cm. Kaca TCO yang telah dibersihkan, diletakkan di atas meja kerja. Salah satu sisinya ditutupi dengan isolasi bening lalu dilakukan proses pelapisan pada TiO₂ catalog 7508 kemudian dilakukan *sintering* selama 30 menit. Kaca TCO yang telah dilapisi kemudian ditetesi dengan ekstrak yang memiliki nilai efesien yang tinggi lalu dibiarkan beberapa menit hingga ekstrak tersebut meresap. Selanjutnya di uji menggunakan SEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Nilai Efisiensi

Tabel 2. Nilai efisiensi DSSC dari empat dye

Ekstrak	V	I	Lux	P _{in} (mwatt/cm ²)	P _{Out} (nw)	P _{out} (mw)	η (%)
Gabungan	196	186	73400	10.74649	36456	0.036456	0.3392
Metanol	204	36.3	80500	11.78601	74052	0.007405	0.0628
Etil Asetat	302	10.4	73600	10.77578	3140.8	0.003141	0.0291
N-Heksan	157	4.4	68600	10.043726	690.8	0.0006908	0.0068

Nilai efisiensi yang diperoleh dari sel dengan zat warna ekstrak daun jati dengan pelarut n-heksan, etil asetat, metanol dan gabungan berturut turut adalah 0.0068%, 0.0628%, 0.029%, dan 0.34%. Dari keempat ekstrak ini, terlihat bahwa nilai efisiensi pada ekstrak gabungan lebih tinggi. Hal ini terjadi karena ekstrak gabungan pada dasarnya memiliki kandungan senyawa yang lebih banyak. Setiap komponen zat warna akan memberikan aktivitas penyerapan foton sehingga energi listrik yang dihasilkan pun lebih banyak. Sel dengan ekstrak metanol dan etil asetat memiliki nilai efisiensi yang tidak terlalu besar namun masih lebih baik dari sel dengan ekstrak zat warna dari pelarut n-heksan. Zat warna dari ekstrak n-heksan tidak terserap dengan baik dan merata di atas permukaan TiO₂ sehingga dapat dipahami bahwa semakin banyak zat warna yang teradsorpsi dengan TiO₂ maka semakin tinggi nilai efisiensi DSSC yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian terdahulu (Usman.,dkk, 2017 : 33).

Nilai efisiensi tertinggi ekstrak gabungan daun jati yaitu 0.34%, nilai ini dihitung masih lebih rendah dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon yaitu 17-25%. Nilai efisiensi yang diperoleh ini masih perlu terus dikembangkan untuk memperoleh nilai efisiensi yang lebih maksimal.

Nilai efisiensi sel sangat dipengaruhi oleh komponen zat warna yang ada dalam ekstrak dye. Hasil uji fitokimia, spektroskopi FTIR dan UV-Vis menunjukkan adanya korelasi yang signifikan di antara keduanya.

Uji skrining fitokimia

Tabel 3. Hasil uji fitokimia dye dari daun jati

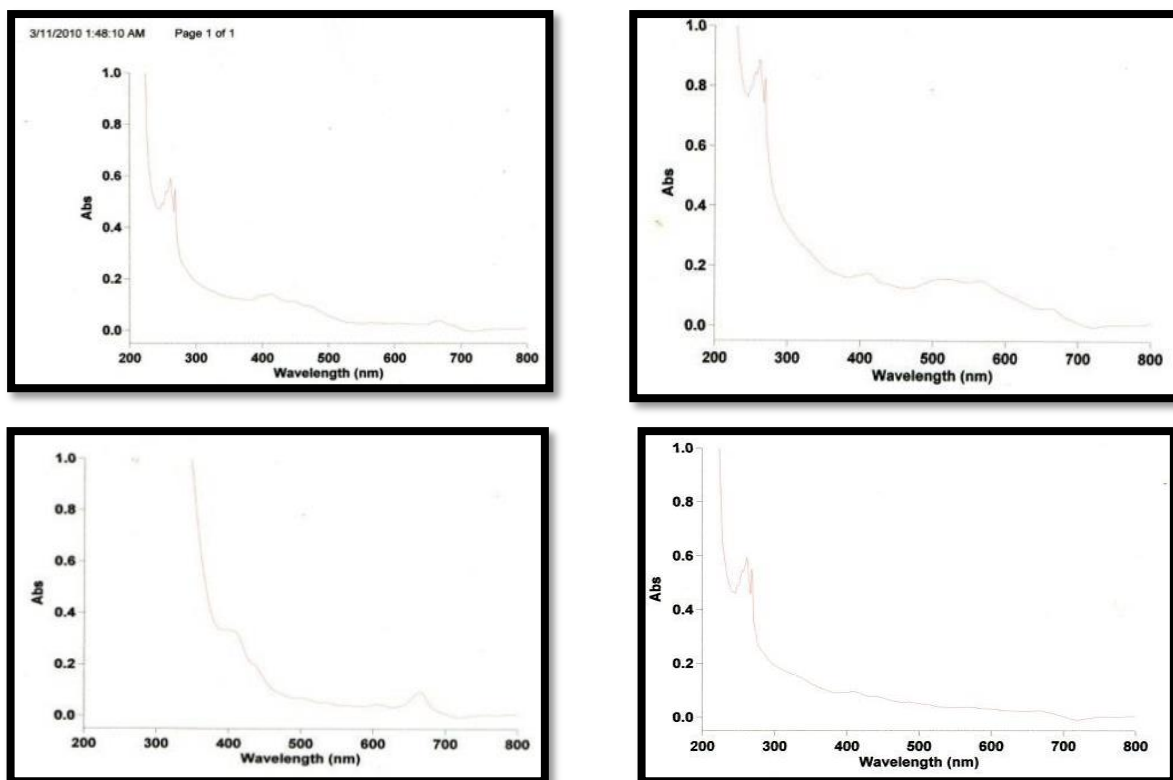
Ekstrak daun jati	Uji Flavanoid		Uji Alkaloid			Uji Terpenoid
	FeCl ₃ 5%	NaOH 10%	Liebermann Burchard	Mayer	Dragendorff	Liebermann Burchard
N-Heksan	-	-	-	+	-	-
Etil Asetat	+	-	-	+	-	-
Metanol	+	+	-	+	+	+
Campuran	+	-	+	-	+	+

Hasil skrining fitokimia menunjukkan adanya golongan senyawa flavonoid, alkaloid dan terpenoid pada dye gabungan dan dye dari ekstrak metanol. Walaupun ketiganya memiliki komponen yang sama namun tentu saja dye gabungan memiliki jumlah senyawa yang lebih banyak sehingga semakin optimal dalam mengabsorpsi foton dari sinar matahari. Dye dari ekstrak etil asetat hanya memiliki komponen zat

warna dari golongan flavonoid dan terpenoid. Sedangkan dye dari ekstrak n-heksana hanya mengandung golongan alkaloid saja. Hasil uji fitokimia ini akan diperkuat oleh hasil data spekreskopi UV-Vis dan FTIR.

Analisis UV-Vis

UV-Vis digunakan untuk menentukan Panjang gelombang pada zat warna



Gambar 3. Hasil serapan UV-Vis Ekstrak daun jati n-heksan (a), etil asetat (b), metanol (c), campuran (d)

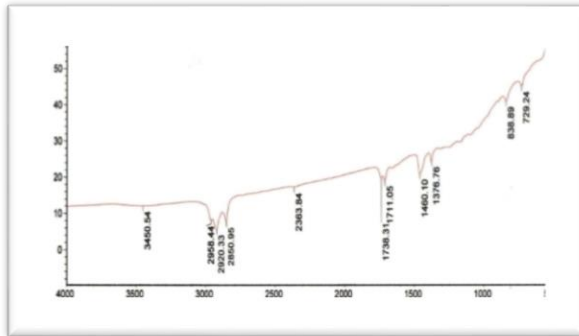
Hasil serapan UV-Vis dari ekstrak n-heksan, metanol, etil asetat dan gabungan memiliki panjang gelombang tertinggi pada 665.9 nm, 664 nm, 516 nm dan 269. Dari data ini, ekstrak n-heksan dan metanol diidentifikasi mengandung senyawa klorofil. Klorofil menunjukkan serapan maksimum pada panjang gelombang 650 nm -700 nm (Harbone, 1984). Serapan UV-Vis yang dihasilkan oleh ekstrak etil asetat diidentifikasi adanya senyawa flavonoid. Jenis senyawa flavonoid menyerap pada panjang gelombang 465 nm -560 nm yaitu antosianin. Pada ekstrak campuran juga diidentifikasi adanya senyawa flavonoid dan terpenoid, daerah serapan flavonoid dengan panjang gelombang yang rendah pada sinar tampak yaitu 250 nm – 270 nm (Kristiningrum, 2013) sedangkan rentang panjang gelombang pada senyawa terpenoid yaitu 200 nm-400 nm (Astuti, 2011).

Hasil serapan UV-Vis ekstrak gabungan memiliki panjang gelombang maksimal yang rendah yaitu 269,0 Hal ini disebabkan banyaknya kandungan senyawa ekstrak daun jati yang keseluruhannya menyerap sinar tampak. Ikatan-ikatan tak jenuh yang terkandung dalam ekstrak daun jati saling tumpang tindih sehingga energi transisi akan

lebih besar dan akan menyerap pada wilayah panjang gelombang yang rendah.

Analisis FTIR

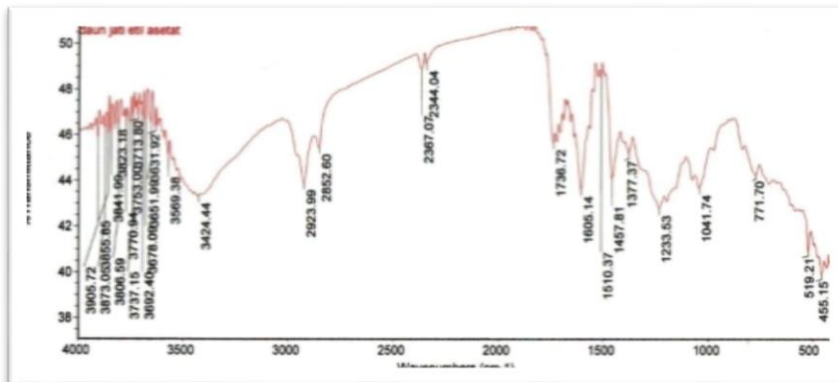
FTIR digunakan untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada zat warna



Gambar 4. Serapan FTIR ekstrak n-heksan daun jati

Dari hasil serapan diatas terlihat bahwa serapan ekstrak n-heksana yang lemah pada bilangan gelombang 3450.54 cm^{-1} mengindikasikan adanya ikatan -NH . Serapan sedang pada bilangan gelombang 1711.05 cm^{-1} dengan serapan yang lemah menunjukkan adanya ikatan C=O . Pada bilangan gelombang 2363.84 cm^{-1} dengan serapan yang lemah diindikasikan adanya ikatan CN , kemudian pada bilangan gelombang 1460.10 cm^{-1} dengan serapan sedang diindikasikan adanya senyawa aromatik (Silverstain, 2005). Serapan-serapan ini menunjukkan bahwa senyawa pada ekstrak ini merupakan golongan alkaloid.

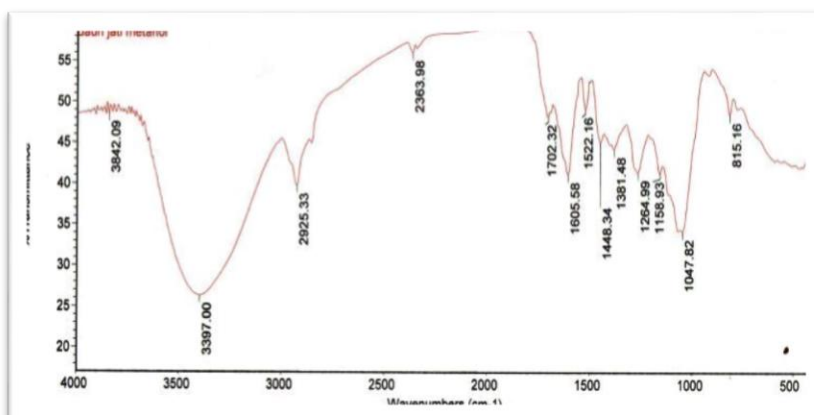
Ekstrak etil asetat memberikan hasil serapan sebagai berikut



Gambar 5. Serapan FTIR Ekstrak Etil Asetat Daun Jati

Dari hasil FTIR ekstrak etil aseta terlihat bahwa serapan kuat dan lebar pada bilangan gelombang 3424.44 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan -OH . Serapan lemah pada bilangan gelombang 2363.07 cm^{-1} diindikasikan sebagai serapan ikatan C-N (Fessenden, 1982). Selain itu, terdapat pula serapan sedang pada bilangan gelombang $1730,72\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus karbonil yang terkonjugasi dengan ikatan rangkap dari gugus aromatik. Hasil serapan ekstrak etil asetat ini menunjukkan adanya senyawa flavonoid ditandai adanya gugus -OH dan -CO serta senyawa alkaloid yang ditandai dengan adanya gugus -CN .

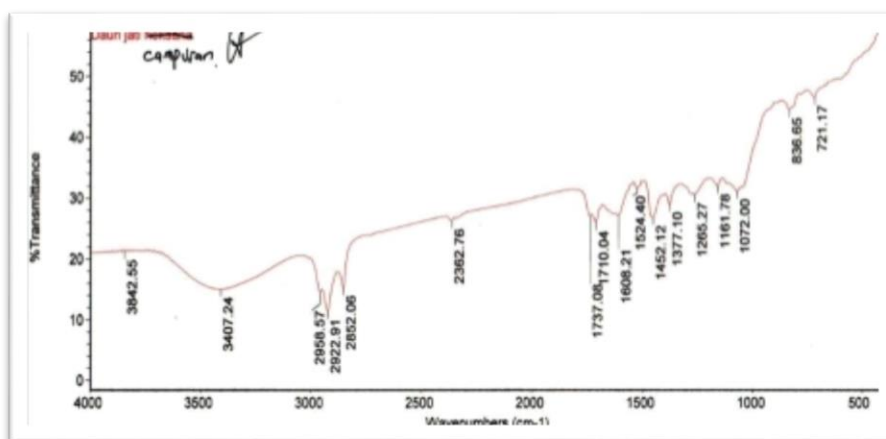
Ekstrak metanol memberikan hasil sebagai berikut



Gambar 6. Serapan FTIR Ekstrak Metanol Daun Jati

Hasil serapan ekstrak etil asetat terlihat bahwa serapan yang kuat dan melebar pada bilangan gelombang 3397 cm^{-1} diindikasikan adanya ikatan -OH , Serapan sedang pada bilangan gelombang 2952.33 cm^{-1} mengindikasikan adanya ikatan -CH sp^3 . Pada bilangan gelombang 2363.84 cm^{-1} dengan serapan yang lemah menunjukkan adanya ikatan CN . Serapan kuat pada panjang gelombang 1605.58 cm^{-1} diindikasikan adanya ikatan C-C aromatic dan serapan kuat pada 1047.62 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-O alkohol. Hasil serapan ekstrak metanol daun jati sebagian besar memiliki serapan yang sesuai dengan hasil identifikasi fitokimia bahwa kandungan senyawa yang terkandung ialah flavonoid dan kandungan senyawa alkaloid yang ditandai adanya ikatan CN . Kandungan senyawa terpenoid ditandai dengan adanya serapan karbonil C=O (Fessenden, 1982).

Hasil serapan FTIR untuk ekstrak gabungan sebagai berikut



Gambar 7. Serapan FTIR Ekstrak Gabungan Daun Jati

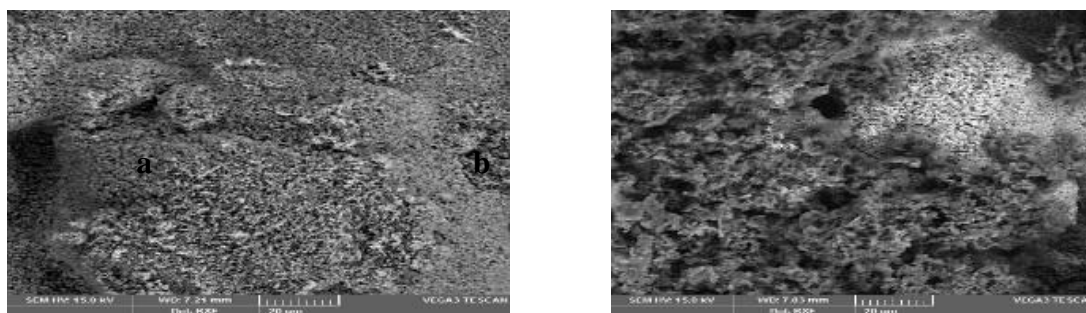
Ekstrak gabungan memperlihatkan pola yang sama dengan ekstrak metanol. Serapan lemah dan lebar pada bilangan gelombang 3407.24 menunjukkan adanya ikatan -OH . Pita serapan pada bilangan gelombang 2922.91 dengan serapan sedang menunjukkan adanya ikatan -CH sp^3 . Pita serapan pada bilangan gelombang 2362.76 menunjukkan adanya ikatan CN . Serapan lemah pada 1710 menunjukkan adanya C=O

dan daerah dengan serapan lemah pada bilangan gelombang 836.65 menunjukkan serapan untuk ikatan -CH aromatik (Fessenden, 1982).

Serapan FTIR untuk ekstrak gabungan daun jati sebagian besar menunjukkan adanya beberapa jenis gugus fungsi pada ekstrak n-heksan, metanol dan etil asetat yang terserap pada hasil serapan FTIR ekstrak gabungan yang meliputi -OH , -C=O , -CH sp^3 , dan -CN . Banyaknya gugus fungsi pada zat warna ekstrak gabungan daun jati yang bersifat polar seperti C=O , -OH maka semakin banyak zat warna yang terikat dengan semikonduktor TiO_2 yang mengakibatkan tingginya nilai efisiensi pada sel dengan ekstrak gabungan ini. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya. (Baharuddin, 2015).

Scanning Electron Microscopy (SEM)

Analisis SEM digunakan untuk menggambarkan morfologi sel DSSC. Pori - pori pada permukaan semi konduktor TiO_2 dan pengikatannya dengan zat warna diperlihatkan.



Gambar 8. (a) Morfologi TiO_2 20 μm (b) Morfologi TiO_2 terikat dengan *dye* dari daun jati (20 μm)

Dari gambar terlihat bahwa penyebaran zat warna pada permukaan TiO_2 kurang merata, hal ini terjadi karena sebagian zat warna yang terkandung dalam ekstrak daun jati tidak teradsorpsi dengan baik. Adanya gugus hidroksi (-OH) dan karbonil pada suatu zat warna memungkinkan terbentuknya ikatan yang kuat antara zat warna dengan TiO_2 . Semakin banyak zat warna yang terikat baik dengan TiO_2 maka semakin banyak radiasi energi foton yang dapat dikonversi menjadi energi listrik sehingga nilai efisiensi DSSC yang dihasilkan akan lebih besar. Hal-hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah keadaan fase dari TiO_2 yang digunakan dan proses aplikasi TiO_2 pada permukaan. TiO_2 yang digunakan pada penelitian adalah TiO_2 p.a. namun masih dalam skala mikro.

KESIMPULAN

Nilai efisiensi DSSC dengan zat warna dari ekstrak daun jati n-heksan, etil asetat, metanol dan campuran berturut-turut yaitu 0.0068%, 0.029% , 0.063% dan 0.34%. Kandungan senyawa dalam ekstrak kental daun jati memberi pengaruh yang signifikan pada nilai efisiensi DSSC.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhamed, Mounir, dkk. (2012). Studying of Natural Dyes Properties as Photo-sensitizer for Dye Sensitized Solar Cells (DSSC). *Journal of Electron Devices*, 16 (2012), 1370-1383.
- Baharuddin, Aminuddin, dkk. (2015). Karakteristik Zat Warna Daun Jati (*Tectona grandis*) Fraksi Metanol : n-Heksana Sebagai *Photosensitizer* pada *Dye Sensitized Solar Cell*. *Chemica et Natura* 3(1), 37-41.
- Chien, Chiang-Yu dan Ban-Dar Hsu. (2013). Optimization of The Dye-Sensitized Solar Cell with Anthocyanin as Photosensitizer. *Solar Energy* 98(2013), 203-211.
- Ekasari, Vitriany dan Gatut Yudoyono. (2013). Fabrikasi DSSC Dengan *Dye* Ekstrak Jahe Merah Variasi Larutan TiO₂ Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Sain dan Seni Pomits* 2(1).
- Fathinatullabibah, Kawji, Lia Umi Khasanah. (2014). Stabilitas Antosianin Ekstrak Daun Jati (*Tectona grandis*) terhadap perilaku pH dan Suhu. *Aplikasi Teknologi Pangan* 3(2), 60-63.
- Fessenden, R. J dan Fessenden, J. S. (1986). *Kimia Organik*. Edisi Ketiga. Jilid 2. Erlangga.
- Gratzel, Michael dan Brian O'Regan. (1991). A Low-Cost, High-Efficiency Solar Cell Based On Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films. *Nature* 353(1991), 737-739.
- Harbone, J.B. (1987). *Metode Fitokimia Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan*. Bandung: ITB Bandung.
- Hardeli, dkk. (2013). *Dye Sensitizer Solar Cell (DSSC)* Berbasis Nanopori TiO₂ Menggunakan antosianin dari Berbagai Sumber Alami. *Prosiding Semirata FMIPA UNILA* (2013), 155-161.
- Natullah, Rizqan dan Gatut Yudoyono. (2013). Karakterisasi Fabrikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) pada TiO₂ Fase Anatase dan Rutile. *Sains dan Seni Pomits* 2(1), 1-5.
- Samber, Loretha Natalia, Haryono Semangun dan Budhi Praasetyo. (2012). Karakteristik Antosianin Sebagai Pewarna Alami. *Seminar Nasional X UNS*.
- Silverstein, R.M., Webster, F.X. dan Kiemle, D.J. (2005). *Spectrometric Identification of Organic Compounds*, Seventh Edition. United States of America: John Wiley & Sons, Ltd.