



## SEMIKONDUKTOR BERBASIS TiO<sub>2</sub>-N/KAOLIN TERKALSINASI UNTUK DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC)

Sabrina Maulidya Amir, Titin Anita Zaharah, Risya Sasri, Winda Rahmalia\*

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tanjungpura  
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124

\*Corresponding author: [winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id](mailto:winda.rahmalia@chemistry.untan.ac.id)

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received  
17 December 2018  
Accepted  
30 April 2019  
Available online  
30 April 2019

#### Keywords:

anoda, DSSC, energi celah pita, kaolinit, semikonduktor TiO<sub>2</sub>

### ABSTRACT

Semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai anoda dalam *dye sensitized solar cell* (DSSC) memiliki kelemahan yaitu hanya aktif bekerja pada radiasi sinar UV karena energi celah pita (E<sub>g</sub>) TiO<sub>2</sub> yang relatif besar yaitu 3,2 eV. Pada penelitian ini, dilakukan modifikasi untuk mengubah struktur elektronik TiO<sub>2</sub>, agar dapat menurunkan E<sub>g</sub>. Dalam penelitian ini, TiO<sub>2</sub> didoping menggunakan atom N dari NH<sub>4</sub>OH dan kaolin terkalsinasi (KT) yang disintesis dari kaolin Capkala. Beberapa parameter yang dibahas yaitu karakteristik TiO<sub>2</sub>-N/KT hasil pendopingan, penurunan energi celah pita dari semikonduktor, dan hubungan antara E<sub>g</sub> dari semikonduktor terhadap randemen konversi energi maksimum DSSC yang dihasilkan. *Dye* yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstrak kayu secang. Difraktogram XRD TiO<sub>2</sub>-N/KT menunjukkan posisi 2θ = 25,2790° yang menunjukkan keberadaan TiO<sub>2</sub> dan 2θ = 26,6090° yang menunjukkan keberadaan SiO<sub>2</sub> dari kaolin terkalsinasi. Analisis dengan FTIR menunjukkan penyerapan pada bilangan gelombang 680 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi ikatan Ti-N dan 1036,77 cm<sup>-1</sup> yang menandakan adanya vibrasi regangan asimetris O-Si-O dan O-Al-O. Terjadi penurunan E<sub>g</sub> dari 3,2 eV (TiO<sub>2</sub> murni) menjadi 3,03 eV (TiO<sub>2</sub>-N/KT). Penurunan energi celah pita sebanding dengan besarnya randemen konversi energi maksimum dari sel surya yang dihasilkan yaitu sebesar 1,048 %, menunjukkan performansi lebih baik dibanding dengan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> murni (0,661%)

© 2019 IJoPAC. All rights reserved

## 1. Pendahuluan

Sel surya yang saat ini terus dikembangkan adalah *dye sensitized solar cell* (DSSC). Struktur DSSC berlapis seperti *sandwich* yang terdiri atas beberapa bagian utama yaitu kaca konduktif, anoda seperti semikonduktor TiO<sub>2</sub> atau ZnO, zat warna (*dye*), elektrolit yang umumnya berbasis I<sup>-</sup>/I<sub>3</sub><sup>-</sup>, dan katoda seperti karbon atau platina<sup>[1]</sup>. *Dye* atau pewarna yang dapat digunakan sebagai salah satu komponen DSSC adalah pigmen dengan ikatan rangkap terkonjugasi. Salah satu zat warna yang dapat digunakan dalam DSSC adalah zat warna brazilin (C<sub>16</sub>H<sub>14</sub>O<sub>5</sub>) yang terkandung dalam kayu secang (*Caesalpinia sappan* Linn)<sup>[2]</sup>. Ekstrak kayu secang tersebut dapat dijadikan sebagai sumber *dye* dalam

komponen DSSC, karena adanya ikatan rangkap pada struktur senyawanya menyebabkan senyawa ini dapat menyerap sinar tampak.

Anoda sebagai salah satu komponen DSSC yang saat ini sering digunakan adalah semikonduktor titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) karena merupakan oksida logam yang bersifat stabil, tidak larut dalam air, tahan terhadap korosi dan ketersediaan yang berlimpah<sup>[3]</sup>. Namun,  $\text{TiO}_2$  juga memiliki kelemahan yaitu hanya aktif bekerja pada radiasi sinar UV karena  $E_g$   $\text{TiO}_2$  yang relatif besar yaitu 3,2 eV<sup>[4]</sup>. Modifikasi  $\text{TiO}_2$  telah dikembangkan untuk memperlebar aktivitas  $\text{TiO}_2$  didaerah sinar tampak maupun untuk menurunkan energi celah pita dengan berbagai metode. Metode doping merupakan salah satu modifikasi  $\text{TiO}_2$  yang mampu mengubah struktur elektronik  $\text{TiO}_2$ , sehingga mampu menurunkan energi celah pita yang akan memudahkan transfer elektron dari molekul *dye* menuju ke semikonduktor.

Penggunaan dopan untuk memodifikasi  $\text{TiO}_2$  baik itu dopan tunggal maupun dopan ganda mampu menurunkan  $E_g$  dari  $\text{TiO}_2$  tersebut<sup>[5]</sup>. Dalam penelitian ini  $\text{TiO}_2$  didoping menggunakan atom N dari  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan kaolin terkalsinasi (KT). Ion nitrogen (N) sering digunakan sebagai dopan, baik itu dopan tunggal maupun dopan ganda. Dopan N dapat disisipkan ke dalam material  $\text{TiO}_2$  karena jari-jari ionik dari atom N dan O tidak jauh berbeda, sehingga mampu membentuk level energi baru di atas pita valensi  $\text{TiO}_2$ . Akibatnya,  $E_g$  dari  $\text{TiO}_2$  dapat dipersempit dan membuat aktivitasnya bisa bergeser ke daerah sinar tampak<sup>[6]</sup>. Pendopingan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  pada kaolin terkalsinasi (KT) disebabkan karena kaolin memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi terhadap pigmen<sup>[7]</sup>.

Kaolin disintesis dari *ball clay* Capkala asal Bengkayang, Kalimantan Barat yang merupakan sumber daya alam yang dijadikan sebagai bahan baku keramik. Proses doping diharapkan dapat menurunkan  $E_g$  dari semikonduktor. Semikonduktor berbasis  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$ , selanjutnya diaplikasikan menjadi komponen anoda pada sel surya yang tersensitasi ekstrak kayu secang. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu, memaparkan karakteristik  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$ , menjelaskan penurunan energi celah pita yang terjadi dari  $\text{TiO}_2$  menjadi  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  yang digunakan sebagai komponen anoda dalam DSSC dan menjelaskan hubungan antara energi celah pita dari semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  terhadap performansi DSSC

## 2. Metode

### 2.1. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kaolin, kayu secang, dan bahan-bahan kimia seperti  $\text{TiO}_2$ , ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), asam klorida (HCl), etanol 95%, etanol absolut, polivinil alkohol (PVA), asetilaseton, triton X-100, aseton, polietilen glikol (PEG), kloroform ( $\text{CHCl}_3$ ), iodin ( $\text{I}_2$ ) kalium iodida (KI), dan karbon mesopori dengan merek MERCK.

### 2.2. Preparasi dan karakterisasi kaolin terkalsinasi

Preparasi kaolin terkalsinasi dilakukan dengan melakukan modifikasi metode<sup>[8]</sup>. Kaolin berasal dari *ball clay* Capkala asal Bengkayang, Kalimantan Barat, dicuci dengan akuades, lalu dipisahkan kaolin dengan campuran lainnya menggunakan sentrifugasi. Diambil lapisan kaolin yang kemudian dikeringkan menggunakan oven. Kaolin yang telah kering, dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 200 *mesh*. Kemudian kaolin yang telah dipreparasi selanjutnya dikalsinasi menggunakan tanur pada suhu 600<sup>o</sup>C selama 6 jam. Kaolin terkalsinasi yang didapat selanjutnya dianalisis menggunakan XRD

### 2.3. Preparasi komposit $\text{TiO}_2\text{-N/Kaolin Terkalsinasi}$

Pembuatan komposit  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dilakukan dengan melakukan modifikasi metode<sup>[9]</sup>. Padatan  $\text{TiO}_2$  anatase 19,965 g dicampurkan dengan 5 M ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) dalam 80 mL larutan.

Padatan TiO<sub>2</sub> tersebut dimasukkan perlahan kedalam larutan NH<sub>4</sub>OH 5 M sambil dilakukan pengadukan selama 12 jam. Setelah itu, dipisahkan antara filtrat dan residu menggunakan sentrifugasi. Residu yang didapat, dicuci dengan akua demineralisasi hingga pH dari larutan hasil pencucian residu tersebut netral. Selanjutnya, residu tersebut dikeringkan dengan suhu 105°C selama 1,5 jam. Residu tersebut selanjutnya dikalsinasi dengan suhu 300°C selama 3 jam.

Pembuatan komposit TiO<sub>2</sub>-N/KT dilakukan dengan melakukan modifikasi metode<sup>[10]</sup>. TiO<sub>2</sub>-N hasil sintesis ditimbang sebanyak 2,4 g dan dicampur dengan 3 g kaolin teraktivasi. Ke dalam campuran, ditambahkan 10 mL etanol 95% sambil diaduk selama 6 jam. Campuran disaring, residu dikeringkan dalam oven pada temperatur 103°C selama 24 jam. TiO<sub>2</sub>-N/KT kering digerus dan diayak dengan ayakan 200 *mesh*. TiO<sub>2</sub>-N/KT dikalsinasi pada temperatur 500°C selama 6 jam, dan diayak kembali dengan ayakan 200 *mesh*. Kemudian TiO<sub>2</sub>-N/KT dianalisis menggunakan XRD, FTIR, dan DR-UV

#### **2.4. Ekstraksi dye dari kayu secang**

Ekstraksi *dye* dari kayu secang dilakukan dengan melakukan modifikasi metode<sup>[11]</sup>. Kayu secang kering dihaluskan, kemudian diambil 100 g lalu ditambahkan 200 mL metanol dan diaduk selama 1 jam. Campuran tersebut kemudian disaring, filtrat hasil penyaringan dipartisi dengan pelarut n-heksana sebanyak 100 mL. Lapisan metanol selanjutnya dievaporasi hingga diperoleh ekstrak kental. Ekstrak tersebut selanjutnya dikeringkan dengan gas N<sub>2</sub>, kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan FTIR.

#### **2.5. Preparasi pasta anoda**

Pasta TiO<sub>2</sub>-N/KT dibuat dengan melakukan modifikasi metode<sup>[12]</sup>. Komposisi bahan yang digunakan terdiri atas 2,5 g komposit TiO<sub>2</sub>-N/KT, 15 mL etanol absolut, 10 tetes triton-X dan 16 tetes asetil aseton. Campuran diaduk dengan *magnetic stirer* selama 24 jam hingga terbentuk pasta, dilanjutkan dengan 6 jam sonikasi. Dibuat juga pasta anoda menggunakan 2,5 g TiO<sub>2</sub> anatase, sebagai pembanding.

#### **2.6. Preparasi pasta katoda**

Preparasi pasta katoda dilakukan dengan melakukan modifikasi metode<sup>[12]</sup>. Sumber karbon yang digunakan adalah karbon *mesoporous*. Sebanyak 0,640 g karbon ditambahkan dengan 1 mL pasta anoda, 2 mL akuades, dan 10 tetes triton-X. Campuran diaduk dengan *magnetic stirer* selama 24 jam, hingga terbentuk pasta, dilanjutkan dengan 6 jam sonikasi.

#### **2.7. Preparasi elektrolit**

Elektrolit dibuat dengan 2 variasi yaitu larutan elektrolit dengan penambahan polietilen glikol dan tanpa polietilen glikol. Larutan elektrolit dengan penambahan polietilen glikol dibuat dengan melakukan modifikasi metode<sup>[13]</sup>. Elektrolit dibuat dengan cara ditimbang 0,84 g kalium iodida (KI) dicampurkan ke dalam 12,5 mL kloroform (CHCl<sub>3</sub>), kemudian diaduk. Ditambahkan 0,127 g iodin (I<sub>2</sub>) kedalam larutan tersebut lalu kembali diaduk, kemudian ditambahkan 3,5 g polietilen glikol. Setelah itu, dipanaskan campuran larutan dengan suhu 35°C hingga semua zat terlarut telah terlarut sempurna.

Larutan elektrolit tanpa penambahan polietilen glikol dibuat dengan melakukan modifikasi metode<sup>[14]</sup>. Larutan dibuat dengan cara melarutkan 0,8 g kalium iodide (KI) dalam 10 mL acetonitril. Kemudian ditambahkan 0,13 g iodin (I<sub>2</sub>) kedalam campuran tersebut lalu di aduk hingga terlarut sempurna.

## 2.8. Pembuatan dan karakterisasi DSSC

Kaca TCO berukuran  $2 \text{ cm}^2$  hasil preparasi, dideposisikan menggunakan pasta anoda  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  serta pasta katoda pada sisi aktif kaca dengan ukuran  $1 \text{ cm}^2$ . Elektroda  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  yang telah disiapkan, direndam di dalam larutan *dye* masing-masing 12 jam untuk menghasilkan elektroda tersensitasi *dye*. Larutan *dye* dibuat dengan cara melarutkan 0,21 gram ekstrak kayu secang kedalam 12,5 mL aseton. Larutan *dye* tersebut diukur absorbansinya sebelum dan setelah dilakukan perendaman elektroda  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$ .

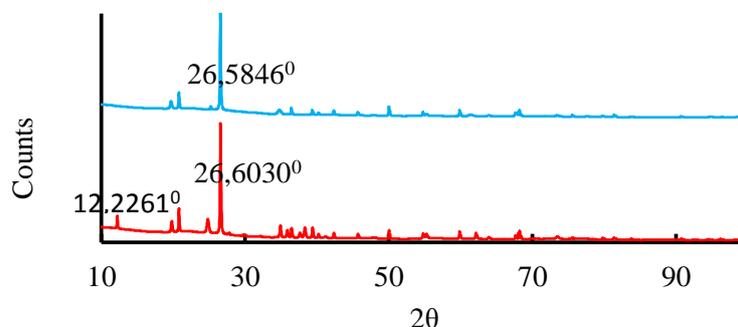
Prosedur selanjutnya yaitu, melakukan penetesan larutan elektrolit diatas  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  tersensitisasi *dye*, lalu ditutup dengan *counter* elektroda karbon. Masing-masing ujung nya diberi ruang untuk kontak elektrik. Kemudian lapisan substrat dijepit dengan klip yang dideposisikan dekat dengan tepi TCO agar tidak mengganggu proses penyerapan cahaya pada saat pengujian. DSSC dengan semikonduktor  $\text{TiO}_2$  murni juga dibuat dengan prosedur yang sama, sebagai perbandingan. Karakterisasi DSSC dilakukan dengan mengukur arus dan tegangan yang dihasilkan oleh DSSC ketika dipaparkan sinar dengan variasi intensitas yaitu 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan  $400 \text{ Watt/m}^2$ . Sumber sinar yang digunakan adalah lampu halogen 500 watt. Tegangan sirkuit terbuka ( $V_{oc}$ ) dan arus sirkuit pendek ( $I_{sc}$ ) yang terekam pada multimeter *scientific* Agilent 34461 A dicatat dan diolah menjadi nilai randemen konversi energi maksimum menggunakan persamaan 1.

$$\text{Randemen konversi energi maksimum (\%)} = [(V_{oc} \cdot I_{sc}) / \text{Intensitas lampu}] \cdot 100\% \quad (1)$$

## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1. Karakterisasi kaolin dan kaolin terkalsinasi

Difraktogram XRD (Gambar 1) kaolin mengalami perubahan puncak khas nya pada posisi  $2\theta = 12,2261^\circ$  yang tidak ditemukan lagi pada difraktogram XRD kaolin terkalsinasi. Hal ini menandakan bahwa telah terjadi perubahan struktur kaolin akibat kalsinasi. Pada difraktogram tersebut juga terdapat kandungan silika, kemungkinan disebabkan karena ukurannya yang sangat kecil sehingga tidak terpisah dari kaolin saat sentrifugasi. Namun tingginya puncak silika tersebut pada posisi  $2\theta = 26,5846^\circ$  tidak menjelaskan bahwa terdapat kandungan silika yang tinggi. Hal ini dapat dilihat melalui hasil analisis XRF terhadap metakaolin terkalsinasi tersebut, dimana konsentrasi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebesar 31,413% dan konsentrasi  $\text{SiO}_2$  didalamnya sebesar 64,067%.



Gambar 1. Difraktogram XRD kaolin (a) dan kaolin terkalsinasi (b)

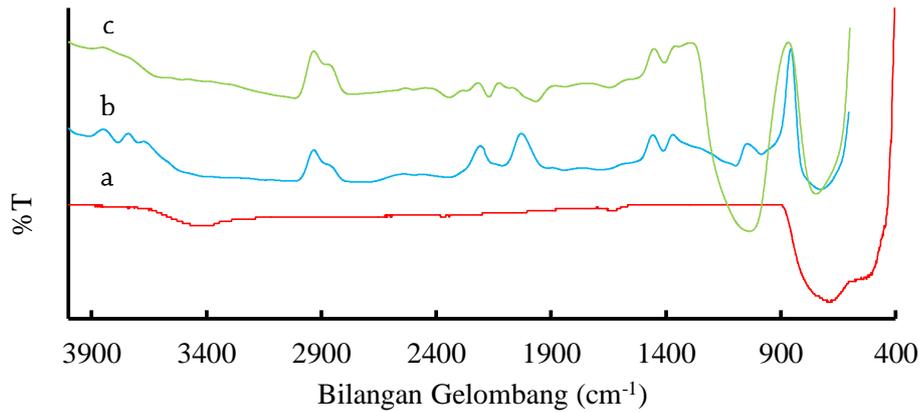
### 3.2. Komposit $\text{TiO}_2\text{-N/Kaolin}$ Terkalsinasi

Komposit  $\text{TiO}_2\text{-N}$  dibuat dengan cara melakukan doping atom N dari ammonium hidroksida ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) pada  $\text{TiO}_2$ . Doping atom N dilakukan dengan cara mereaksikan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  5M dengan

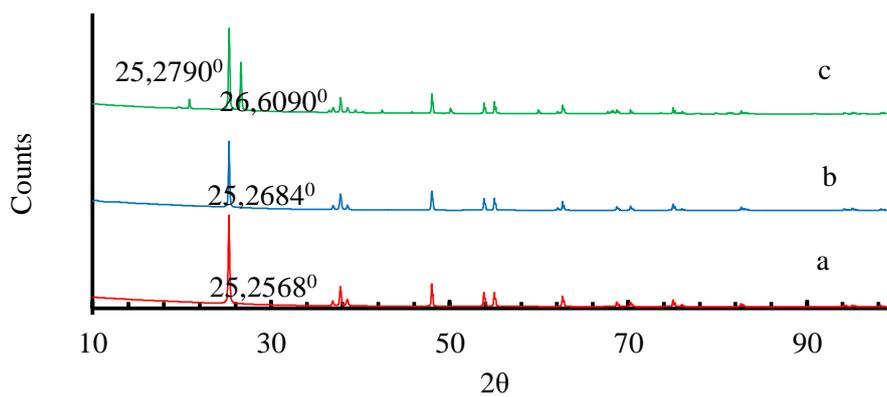
TiO<sub>2</sub> anatase. Padatan TiO<sub>2</sub>-N dikalsinasi menggunakan tanur dengan suhu 300°C selama 3 jam. Suhu kalsinasi sebesar 300°C digunakan karena ukuran pori dan volum pori hasil komposit relatif terhadap luas permukaan. Luas permukaan akan mengalami penurunan dengan peningkatan suhu kalsinasi yang diberikan. Maka, suhu 300°C merupakan suhu optimum untuk menghasilkan ukuran pori, volume pori dan luas permukaan dari hasil komposit yang didapatkan<sup>[9]</sup>. Padatan komposit TiO<sub>2</sub>-N yang didapat, dikompositkan kembali dengan kaolin terkalsinasi (KT) dengan etanol 95% yang berfungsi sebagai pelarut. Residu dalam campuran tersebut merupakan hasil komposit TiO<sub>2</sub>-N/KT. Residu dikeringkan untuk menguapkan pelarut etanol yang dilanjutkan dengan kalsinasi selama 6 jam dengan suhu 500°C. Pada penelitian ini, TiO<sub>2</sub> anatase dipilih karena fase anatase lebih *photoactive* dari pada fase rutile dan brookite. Hal ini dikarenakan luas permukaan anatase lebih besar dibanding rutile dan brookite sehingga sisi aktif per unit anatase lebih besar<sup>[15]</sup>. Penggunaan TiO<sub>2</sub> fase anatase ini dapat meningkatkan efisiensi DSSC yang dihasilkan<sup>[16]</sup>.

Berdasarkan analisis FTIR (Gambar2), karakteristik gugus fungsional TiO<sub>2</sub> yang telah di doping atom N terletak pada bilangan gelombang 2360 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi ikatan N-H dan pada bilangan gelombang 680 cm<sup>-1</sup> yang menunjukkan vibrasi ikatan Ti-N. Hasil tersebut bersesuaian dengan hasil penelitian lainnya<sup>[17]</sup> yang menyatakan bahwa adanya vibrasi ikatan N-H pada bilangan gelombang 2360 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan keberadaan atom N dalam TiO<sub>2</sub> dan bersesuaian dengan hasil penelitian lainnya<sup>[10]</sup> yang menyatakan bahwa vibrasi ikatan Ti-N terdapat pada bilangan gelombang 680,83 cm<sup>-1</sup>. Pendopingan kaolin terkalsinasi (KT) kedalam TiO<sub>2</sub>-N, dapat dilihat hasilnya melalui gugus-gugus fungsionalnya, yaitu muncul pada bilangan gelombang 1036,77 cm<sup>-1</sup> yang menandakan bahwa adanya vibrasi regangan asimetris O-Si-O dan O-Al-O dari kaolin. Hal tersebut juga telah diutarakan oleh peneliti lain<sup>[10]</sup>, bahwa serapan pada bilangan gelombang 1036,56-1056,9 cm<sup>-1</sup> adalah vibrasi regangan asimetris dari O-Si-O dan O-Al-O.

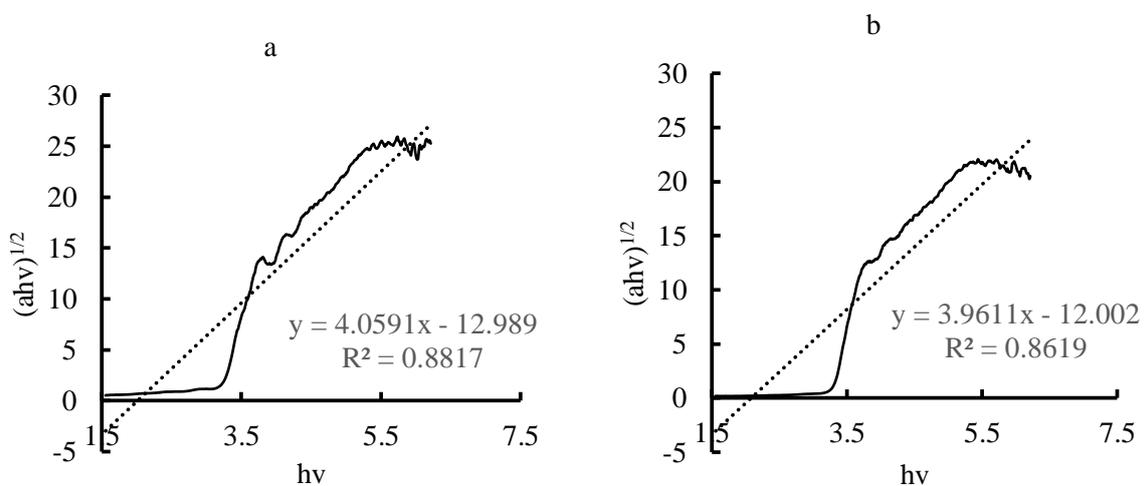
Analisis struktur dan parameter kisi kristal dari partikel TiO<sub>2</sub> terdoping N dilakukan dengan menggunakan instrumen XRD (Gambar 3). Keberhasilan pendopingan atom N dapat diketahui melalui ukuran kristal tersebut yang dihitung dengan persamaan *Dyebe Scherrer*. Ukuran kristal dari TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 10,279 nm, sedangkan ukuran kristal hasil pendopingan atom N kedalam TiO<sub>2</sub> yaitu sebesar 12,337 nm. Menurut penelitian<sup>[9]</sup>, terdopingnya atom N ke TiO<sub>2</sub> dapat ditandai dengan perubahan ukuran kristal yang semakin besar. Pendopingan kaolin terkalsinasi kedalam komposit TiO<sub>2</sub>-N ini bertujuan meningkatkan kemampuan anoda mengadsorpsi *dye* sehingga transfer elektron dari *dye* ke anoda menjadi optimal<sup>[7]</sup>. Terdopingnya kaolin kalsinasi ditandai dengan munculnya puncak pada  $2\theta = 26,6090^\circ$  yang menandakan keberadaan SiO<sub>2</sub>. Atom N dapat terdoping pada TiO<sub>2</sub> karena TiO<sub>2</sub> merupakan semikonduktor tipe N-doped yang dapat didoping dengan atom bervalensi 5 sehingga menjadikan semikonduktor tersebut bermuatan negatif dan menerima orbital kosong dari atom tersebut, kemudian jari-jari ionik dari nitrogen dan oksigen tidak jauh berbeda. Selain itu, orbital 2p dari nitrogen mengalami hibridisasi dengan orbital 2p milik oksigen sehingga dapat mengubah struktur pita elektronik titania. Dengan demikian, secara efektif dapat mempersempit celah pita dari material tersebut<sup>[18]</sup>. Pendopingan dapat mengubah energi celah pita yang diketahui melalui karakterisasi menggunakan DR-UV. Gambar 4 menunjukkan grafik energi terhadap faktor kubelka-munk dari TiO<sub>2</sub> sebelum dan setelah pendopingan, diperoleh nilai x saat y = 0 yang menunjukkan nilai energi celah pita TiO<sub>2</sub> sebesar 3,2 eV dan energi celah pita TiO<sub>2</sub>-N/KT sebesar 3,03 eV.



Gambar 2. Spektrum inframerah TiO<sub>2</sub> (a), TiO<sub>2</sub>-N (b) dan TiO<sub>2</sub>-N/KT (c)



Gambar 3. Difraktogram XRD TiO<sub>2</sub> (a), TiO<sub>2</sub>-N (b) dan TiO<sub>2</sub>-N/KT (c)



Gambar 4. Grafik energi terhadap faktor kubelka-munk dari TiO<sub>2</sub> (a) dan TiO<sub>2</sub>-N/KT (b)

### 3.3. Ekstraksi dan karakterisasi ekstrak kayu secang

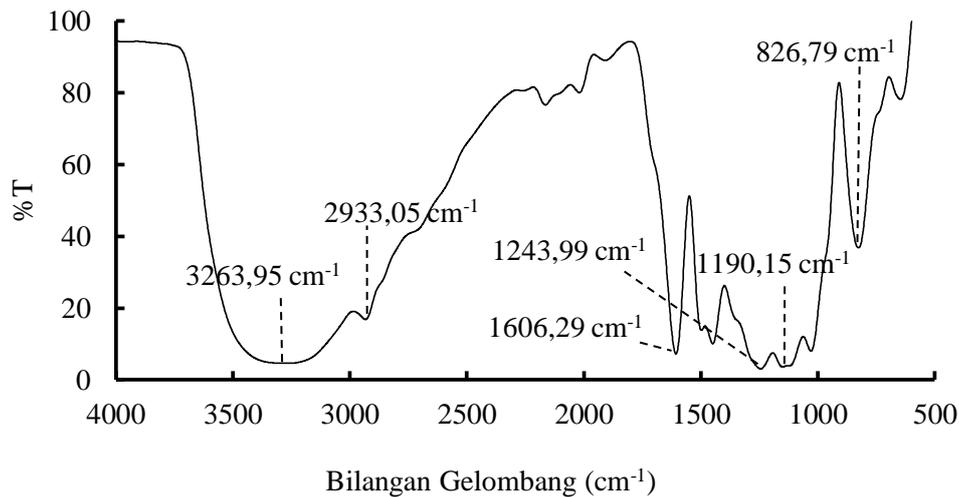
Ekstrak kayu secang diekstraksi dari kayu secang kering dengan tujuan untuk meminimalisir kadar air. Menurut sebuah penelitian<sup>[19]</sup> tingginya kadar air suatu sampel yang akan diekstraksi dapat mempengaruhi sifat-sifat fisika (kekerasan dan kekeringan) dan sifat-sifat kimia serta

perubahan-perubahan kimia (pencoklatan enzimatik, kerusakan mikrobiologis, dan perubahan enzimatik) pada sampel. Kadar air kayu secang adalah 1,65%, sesuai dengan hasil perhitungan kadar air kayu secang oleh peneliti dengan menggunakan metode gravimetri. Kayu secang yang diekstrak dihaluskan hingga menjadi serbuk yang bertujuan untuk memperbesar luas permukaan agar proses ekstraksi dapat berlangsung optimal.

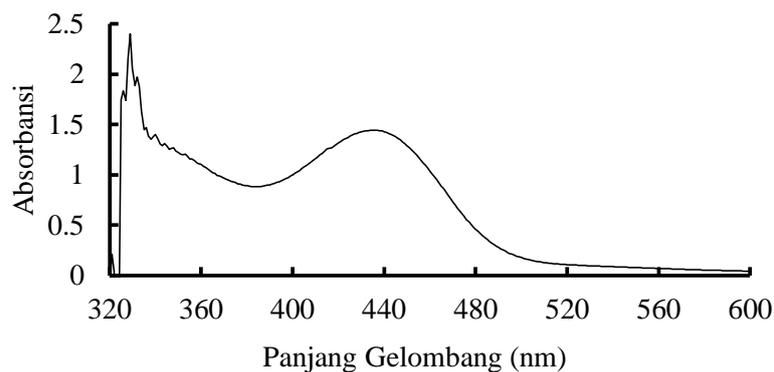
Ekstrak tersebut akan larut dalam metanol karena metanol mampu menembus dinding-dinding sel dan masuk dalam rongga sel dari jaringan tanaman karena memiliki tingkat kepolaran yang sama. Ekstrak yang larut bersama pelarut dikarenakan perbedaan konsentrasi yang cukup besar antara larutan yang berada didalam sel dan diluar sel, maka larutan yang mengandung ekstrak kayu secang terdesak untuk keluar. Setelah ekstraksi dilakukan, campuran selanjutnya disaring. Filtrat hasil penyaringan selanjutnya dipartisi dengan menggunakan pelarut dengan tingkat kepolaran yang berbeda yaitu n-heksana yang bersifat non-polar. Partisi bertujuan untuk memisahkan ekstrak dari kandungan lipid yang terdapat dalam ekstrak. Hasil dari partisi membentuk 2 lapisan fasa cair yang tidak saling campur. Lapisan yang berada pada posisi atas merupakan fraksi n-Heksan, sedangkan campuran larutan yang berada pada posisi bawah merupakan fraksi metanol. Hal ini dapat teridentifikasi karena diketahui bahwa densitas n-heksan ( $655 \text{ kg/m}^3$ ) lebih kecil dari pada densitas metanol ( $792 \text{ kg/m}^3$ ). Ekstrak kayu secang fraksi metanol diambil untuk dievaporasi agar pelarut metanol yang terdapat dalam campuran menguap sehingga menghasilkan ekstrak kayu secang yang kental. Ekstrak kental hasil evaporasi dikeringkan menggunakan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) agar didapat ekstrak kayu secang yang kering.

Ekstrak kayu secang yang didapat, dianalisis menggunakan instrumen FTIR. Hasil analisis FTIR terhadap ekstrak kayu secang disajikan pada Gambar 5. Berdasarkan gambar tersebut, ekstrak kayu secang hasil ekstraksi mempunyai karakteristik puncak spesifik pada bilangan gelombang  $3263,95 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi O-H (alkohol, fenol, ikatan hidrogen), pada bilangan gelombang  $2933,05 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi C-H (alkana), bilangan gelombang  $1606,29 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi C=C (cincin aromatik), bilangan gelombang  $1243,99 \text{ cm}^{-1}$  dan  $1190,15 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi C-O (alkohol, eter, asam karboksilat, ester) serta bilangan gelombang  $826,79 \text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus fungsi C-H (cincin aromatik). Sehingga dapat disimpulkan bahwa ekstrak kayu secang memiliki senyawa dengan ikatan C-H, O-H, C-O, C-H cincin aromatik, dan C=C cincin aromatik. Hal tersebut bersesuaian dengan penelitian<sup>[20]</sup> yang menyimpulkan bahwa ekstrak kayu secang yang diekstrak menggunakan pelarut etanol menunjukkan hasil analisis gugus fungsi senyawa dengan ikatan C-H, O-H, C-O, C=O dan C=C alkana.

Ekstrak kayu secang yang diperoleh, dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Gambar 6). Ekstrak kayu secang dengan konsentrasi sebesar  $1,47 \times 10^{-3} \text{ M}$ , dianalisis dengan melakukan *scan* pada panjang gelombang 200-800 nm. Berdasarkan hasil uji spektrofotometer UV-Vis, ikatan rangkap yang terkonjugasi merupakan kromofor penyerapan cahaya dari ekstrak kayu secang, sehingga pita penyerapannya berada pada rentang panjang gelombang 400 nm sampai 500 nm. Nilai absorbansi tertinggi yaitu sebesar 1,444 berada pada panjang gelombang 435 nm ( $\lambda_{\text{max}}$ ). Panjang gelombang maksimal tersebut merupakan absorpsi cahaya dari panjang gelombang tertentu oleh ekstrak kayu secang untuk menghasilkan warna<sup>[21]</sup>. Senyawa organik dengan konjugasi yang ekstensif menyerap cahaya dengan panjang gelombang tertentu, disebabkan adanya transisi  $\pi \rightarrow \pi^*$  dan  $n \rightarrow \pi^*$ . Warna yang tampak bukanlah warna yang diserap, melainkan warna komplementer. Suatu warna komplementer atau yang disebut warna pengurangan (substraksi), merupakan hasil pengurangan beberapa panjang gelombang tampak dari dalam spektrum visual keseluruhan<sup>[21]</sup>.



Gambar 5. Spektrum inframerah ekstrak kayu secang



Gambar 6. Spektrum absorbansi UV-Vis ekstrak kayu secang dalam pelarut aseton

### 3.4. Pembuatan dan Karakterisasi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell)

Fabrikasi DSSC dilakukan dengan menyiapkan lima komponen utamanya yaitu anoda (elektroda kerja), katoda (elektroda lawan), pewarna (*dye*), elektrolit, dan kaca konduktif. Preparasi pasta anoda dilakukan dengan cara mencampurkan padatan hasil komposit  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  dengan etanol absolut, triton-X, dan asetil aseton. Preparasi pasta katoda dilakukan dengan cara mencampurkan karbon *mesophorus*, pasta anoda yang telah dipreparasi sebelumnya, akuades dan triton-X. Dalam pembuatan anoda dan katoda, penambahan triton-X berfungsi untuk mengentalkan larutan dan penambahan asetil aseton berfungsi sebagai *particle stabilizer* untuk mencegah reagregasi partikel<sup>[22]</sup>. Pada penelitian ini, anoda dan katoda dibuat dalam bentuk pasta (fasa gel), hal ini dikarenakan kemampuan fasa gel untuk tetap melakukan pergerakan elektron yang baik dan sifatnya yang tidak mudah menguap. Selain itu, menurut suatu penelitian<sup>[23]</sup>, fasa gel yang digunakan pada komponen DSSC mampu memberikan ketahanan pemakaian yang lama karena tidak mudah menguap, kestabilan tegangan dan kestabilan arus yang tinggi.

Pada elektroda kerja terjadi proses perpindahan elektron dari *dye* menuju ke dalam celah energi pada semikonduktor (anoda). Sedangkan katoda berfungsi sebagai elektroda lawan, berupa beban yang kemudian dialirkan elektron ke katoda tersebut. Pada katoda, terjadi proses oksidasi antara katoda dengan elektrolit. Proses oksidasi ini bertujuan untuk mengisi kembali *hole* pada pita valensi *dye*. Pasta anoda dan pasta katoda dideposisikan pada sisi aktif kaca TCO dengan luas  $1 \text{ cm}^2$ .

Kemudian dikalsinasi kaca yang telah terdeposisi katoda dan anoda. Kalsinasi bertujuan untuk membuat pasta anoda dan katoda melekat pada kaca TCO.

Anoda yang telah terdeposisi selanjutnya direndam kedalam larutan *dye* selama 12 jam untuk optimalisasi waktu adsorpsi. Larutan *dye* sebelum dan sesudah adsorpsi diukur absorbansinya untuk mengetahui konsentrasi larutan *dye* relatif yang terserap. Hasil analisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan terjadinya penurunan absorbansi dari larutan *dye* sebelum perendaman, menunjukkan bahwa terdapat sebagian besar *dye* telah terserap pada anoda. Larutan *dye* sebelum perendaman memiliki absorbansi sebesar 1,444 pada panjang gelombang 435 nm, sedangkan untuk larutan *dye* yang telah direndamkan anoda TiO<sub>2</sub> memiliki absorbansi sebesar 1,396 pada panjang gelombang 436 nm dan larutan *dye* yang telah direndamkan anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT memiliki absorbansi sebesar 0,513 pada panjang gelombang 436 nm. Hasil ini membuktikan bahwa kaolin dapat meningkatkan daya serap anoda terhadap *dye*. Rangkaian DSSC yang dilengkapi oleh anoda dan katoda terdeposisi pada kaca TCO dimana anoda yang telah tersensitasi *dye*, ditambahkan dengan larutan elektrolit yang berfungsi untuk melakukan proses oksidasi dengan katoda. Akibatnya kekosongan elektron pada pita valensi *dye* digantikan oleh elektron yang berasal dari larutan elektrolit. Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi elektrolit yang digunakan, yaitu elektrolit dengan komponen PEG (polietilen glikol) dan elektrolit tanpa komponen PEG. Tujuan penggunaan PEG tersebut untuk menghasilkan fasa elektrolit yang berbeda. Variasi elektrolit tersebut dapat mempengaruhi besarnya arus, tegangan dan efisiensi yang dihasilkan dari DSSC yang diberi energi. Elektrolit menggunakan PEG menghasilkan elektrolit yang berfasa gel, sedangkan elektrolit tanpa menggunakan PEG menghasilkan elektrolit berfasa cair.

Untuk mengetahui performansi DSSC yang dihasilkan, sel disinari dengan lampu halogen 500 Watt sebagai pengganti cahaya matahari pada jarak 30 cm dari sel. Intensitas cahaya divariasikan menggunakan dimer pada 0, 25, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, dan 400 Watt/m<sup>2</sup> untuk mengetahui intensitas optimum cahaya yang dibutuhkan oleh DSSC. Parameter yang diukur adalah Voc dan Isc yang terekam pada multimeter *scientific* Agilent 34461 A (dengan tampilan 6,5 digit angka). Kurva hubungan antara intensitas terhadap Voc, intensitas terhadap Isc, intensitas terhadap daya dan intensitas terhadap efisiensi yang dihasilkan DSSC dengan komponen elektrolit menggunakan PEG masing-masing disajikan pada Gambar 7, 8, 9, dan 10. Kurva hubungan antara intensitas terhadap Voc, intensitas terhadap Isc, intensitas terhadap daya dan intensitas terhadap randemen konversi energi maksimum yang dihasilkan DSSC dengan komponen elektrolit tanpa menggunakan PEG masing-masing disajikan pada Gambar 7, 8, 9, dan 10.

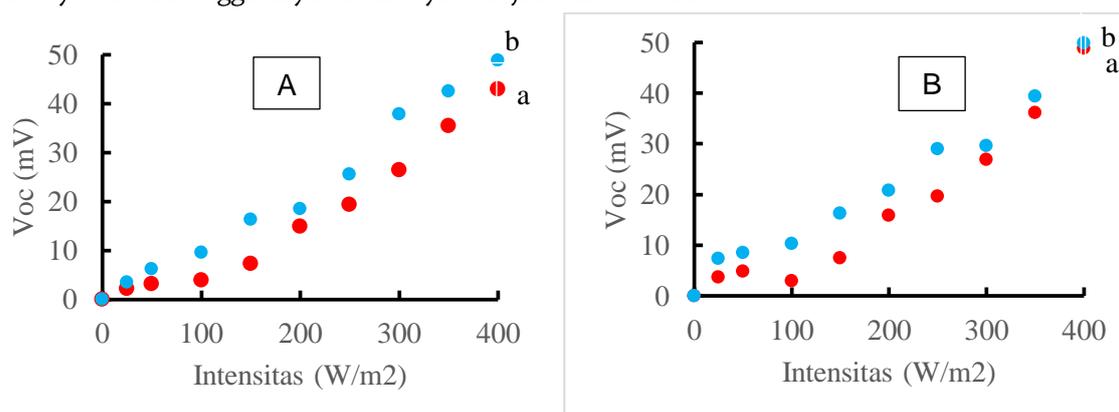
Pengukuran menggunakan multimeter *scientific* Agilent 34461 A ini menghasilkan data Voc dan Isc dari DSSC. Tegangan yang diukur ketika rangkaian sel surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke rangkaian luar dan arus bernilai nol inilah yang disebut Voc. Sedangkan Isc adalah arus yang diukur ketika tegangan dari sel surya bernilai nol dan sel surya dalam keadaan menghasilkan arus maksimumnya. Intensitas yang diberikan akan mempengaruhi nilai Voc dan Isc yang dihasilkan<sup>[7]</sup>. Semakin besar intensitas lampu yang diberikan, maka semakin besar pula nilai Isc yang dihasilkan. Hal itu dikarenakan Isc berhubungan langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan kinerja *dye* yang digunakan. Nilai Voc yang dihasilkan berasal dari perbedaan tingkat level energi dari semikonduktor dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit I<sub>3</sub><sup>-</sup>/I<sup>-</sup>, sehingga penurunan atau kenaikan intensitas tidak berpengaruh besar terhadap nilai Voc tersebut. Nilai daya dari DSSC diperoleh dari hasil kali Voc dan Isc setelah dilakukan pengukuran<sup>[8]</sup>.

Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, semakin besar intensitas yang diberikan maka menghasilkan Voc yang semakin besar. Nilai Voc tertinggi dihasilkan dari intensitas cahaya terbesar yang diberikan yaitu 400 W/m<sup>2</sup>. Voc sebesar 49,92 mV pada DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-

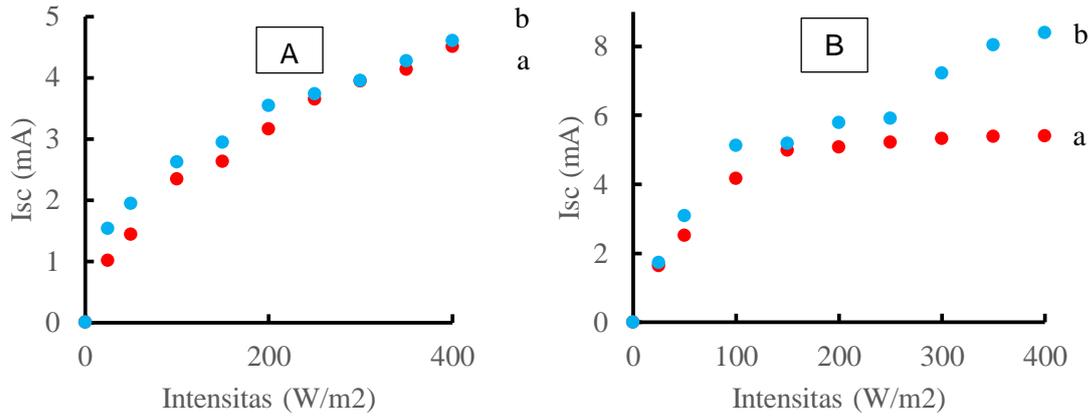
N/KT tanpa PEG merupakan nilai terbesar dibanding DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> tanpa PEG (48,88 mV), DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT menggunakan PEG (48,80 mV), dan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> menggunakan PEG (42,89 mV). Intensitas cahaya juga memberikan pengaruh terhadap I<sub>sc</sub> yang dihasilkan. Berdasarkan hasil yang didapat, semakin besar intensitas yang diberikan maka menghasilkan I<sub>sc</sub> yang semakin besar. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai I<sub>sc</sub> tertinggi dihasilkan dari intensitas cahaya terbesar yang diberikan yaitu 400 W/m<sup>2</sup>. Nilai I<sub>sc</sub> sebesar 8,4 mA pada DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT tanpa PEG merupakan nilai terbesar dibanding DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> tanpa PEG (5,4 mA), DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT menggunakan PEG (4,6 mA), dan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> menggunakan PEG (4,5 mA).

Daya yang dihasilkan dari DSSC hasil pengukuran merupakan hasil kali dari nilai tegangan (V<sub>oc</sub>) dan arus (I<sub>sc</sub>). Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan sebelumnya mengenai nilai V<sub>oc</sub> dan I<sub>sc</sub> optimum yang dihasilkan, maka dapat dilihat pada Gambar 9 mengenai pengaruh intensitas terhadap nilai daya (W) dari DSSC yang dihasilkan. Hasil grafik pada menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai intensitas yang diberikan, menghasilkan nilai daya yang semakin besar pula. Nilai daya pada intensitas 400 W/m<sup>2</sup> pada DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT tanpa PEG yang merupakan nilai terbesar (4,19x10<sup>-4</sup> W) dibanding DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> tanpa PEG (2,64x10<sup>-4</sup>W) DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT menggunakan PEG (2,24x10<sup>-4</sup>W), dan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> menggunakan PEG (1,93x10<sup>-4</sup> W). Randemen konversi energi maksimum dari DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT tanpa PEG yaitu sebesar 1,048% menunjukkan performansi terbaik dibanding dengan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> tanpa PEG (0,661%), DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT menggunakan PEG (0,561%), dan DSSC dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> menggunakan PEG (0,483%).

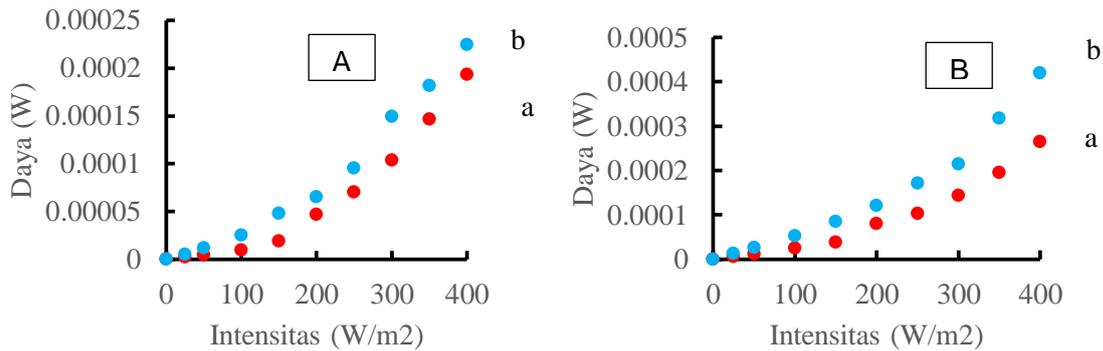
Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kenaikan intensitas yang diberikan akan meningkatkan nilai V<sub>oc</sub>, I<sub>sc</sub>, daya dan randemen konversi energi maksimum dari DSSC yang dianalisis. Hasil tersebut juga dipengaruhi oleh komponen anoda yang diakibatkan oleh penurunan nilai energi celah pita dan komponen elektrolit dari sel surya yang digunakan. Komponen anoda TiO<sub>2</sub>-N/KT dari sel surya serta komponen elektrolit dengan variasi tanpa penggunaan PEG menjadikan sel surya tersensitasi ekstrak kayu secang memiliki efisiensi paling baik dibanding sel surya dengan komponen anoda TiO<sub>2</sub> dan komponen elektrolit dengan variasi penggunaan PEG. Penggunaan PEG memberikan kekentalan pada larutan elektrolit yang dibuat sehingga menghambat kinerja iodine pada larutan elektrolit. Ion-ion pada elektrolit tanpa menggunakan PEG memiliki pergerakan yang lebih baik dan mudah sehingga daya hantarnya semakin besar, sedangkan pada larutan elektrolit dengan penambahan PEG membuat pergerakan ion-ion nya sulit sehingga daya hantarnya menjadi lebih rendah<sup>[24]</sup>.



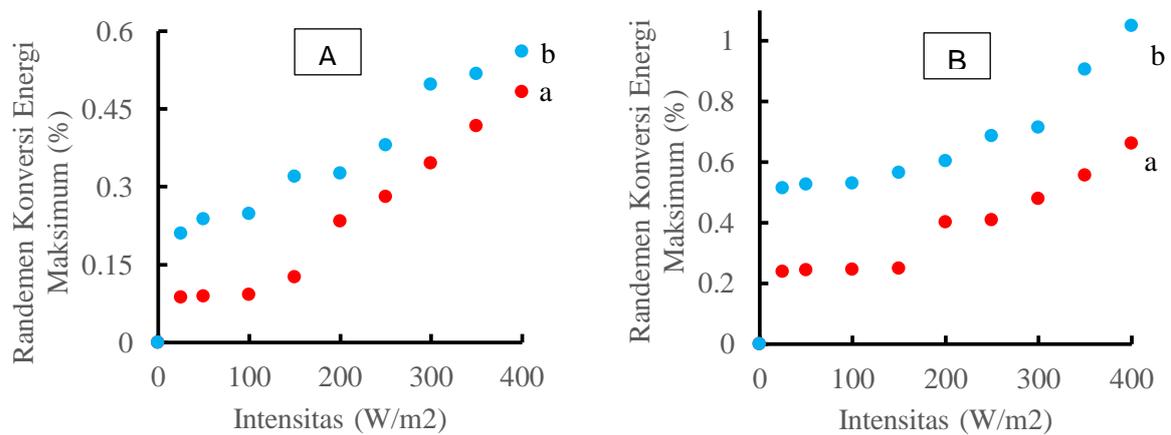
Gambar 7. Grafik hubungan intensitas dan Voc dari sel surya dengan pasta anoda TiO<sub>2</sub> (a) dan TiO<sub>2</sub>-N/KT (b) dengan variasi elektrolit menggunakan PEG (A) dan tanpa PEG (B)



Gambar 8. Grafik hubungan intensitas dan Isc dari sel surya dengan pasta anoda  $\text{TiO}_2$  (a) dan  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  (b) dengan variasi elektrolit menggunakan PEG (A) dan tanpa PEG (B)



Gambar 9. Grafik hubungan intensitas dan daya dari sel surya dengan pasta anoda  $\text{TiO}_2$  (a) dan  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  (b) dengan variasi elektrolit menggunakan PEG (A) dan tanpa PEG (B)



Gambar 10. Grafik hubungan intensitas dan randemen konversi energi maksimum dari DSSC dengan pasta anoda  $\text{TiO}_2$  (a) dan  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  (b) dengan variasi elektrolit menggunakan PEG (A) dan tanpa PEG (B)

#### 4. Kesimpulan

Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  yang didoping dengan atom N dan kaolin terkalsinasi berhasil dibuat yang menghasilkan serbuk  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$ . Difraktogram XRD  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  menunjukkan posisi  $2\theta = 25,2790^\circ$  yang menandakan adanya  $\text{TiO}_2$  dan  $2\theta = 26,6090^\circ$  yang menandakan adanya  $\text{SiO}_2$  dari kaolin

terkalsinasi. Analisis dengan FTIR menunjukkan penyerapan pada bilangan gelombang  $680\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan vibrasi ikatan Ti-N dan  $1036,77\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan bahwa adanya vibrasi regangan asimetris O-Si-O dan O-Al-O. Terjadi penurunan energi celah pita pada semikonduktor  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  melalui hasil analisis menggunakan DR-UV. Semikonduktor  $\text{TiO}_2$  tanpa pendopongan memiliki energi celah pita sebesar 3,2 eV. Semikonduktor  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  memiliki energi celah pita sebesar 3,03 eV. Penurunan energi celah pita ini disebabkan oleh pendopongan atom N yang mampu membentuk level energi baru diatas pita valensi  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat menurunkan energi celah pita pada  $\text{TiO}_2$  yang terdoping atom N dan kaolin teraktivasi. Semikonduktor hasil pendopongan dengan penurunan energi celah pita berpengaruh terhadap performansi DSSC yang dihasilkan. Randemen konversi energi maksimum dari DSSC dengan komponen anoda  $\text{TiO}_2\text{-N/KT}$  tanpa PEG yaitu sebesar 1,048 % menunjukkan performansi paling baik diantara sel surya dengan komponen anoda dan variasi elektrolit lainnya.

## Daftar Pustaka

- [1]. Gratzel, M, 2003, Dye Sensitized Solar Cells. *Journal of Photochemistry and Photobiology (Review)*: 145-153.
- [2]. Sanusi, M, 1989, Isolasi dan Identifikasi Zat Warna Kayu Sappang, Balai Industri Pertanian Ujung Pandang.
- [3]. Devi, L.G. dan Kumar, S.G, 2011, Review on Modified  $\text{TiO}_2$  Photocatalysis Under Uv/Visible Light: Selected Result and Related Mechanisms on Interfacial Charge Carrier Transfer Dynamics, *Journal Physics Chemistry*, 1 (1), ISSN 13211-13241.
- [4]. Sun, Y.H, Ge, Y.J, Li, W.W, Huang, D.J, Chen, F, Shang, Y, Yang, P.X ; Chu, J.H, 2010, Structural and Optical Analysis of CdS Thin Film Grown by Magnetron Sputtering Technique. IOP Publishing, *Journal of Physics, Conferencw Series* 276:1-6.
- [5]. Shirsath, S.R.; Sonawane, S.H.; Gogate, P.R, 2013, Intensification of Extraction of Natural Products Using Irradiations, *Journal Chem Eng Processing (Review)*, 53:10-23.
- [6]. Rane, K.S.; Mhalsiker, R.; Yin, S.; Sato, T.; Cho, K, Dunbar, E, Biswas, P, 2006, Visible Light Sensitive Yellow  $\text{TiO}_2\text{-N}$  and Fe-N co-Doped Ti- $\text{FeO}_2\text{-N}$  Anatase Phoyocatalysts, *Journal of Solid State Chemistry Elsevier*: 3033-3044, 5 (18).
- [7]. Trivana, L.; Sugiarti, A.; Rohaeti, E, 2015, Sintesis Zeolit dan Komposit Seolit/ $\text{TiO}_2$  dari Kaolin serta Uji Adsorpsi Fotodegradasi Biru Metilena, *AlChemY Jurnal Penelitian Kimia*, 11 (2): 147-162.
- [8]. Belver, C.; Munoz, M.A.B.; Vicente, A, 2002, Chemical Activation of a Kaolinite under Acid and Alkaline Conditions, *Chem Mater.*, 14 (5): 2033-2043.
- [9]. Lin, Y.H.; Weng, C.H.; Srivastav, A.L.; Lin, Y.T.; Tzeng, J.H, 2015, Facile Synthesis and Characterization of N-Doped  $\text{TiO}_2$  Photocatalyst and Its Visible-Light Activity for Photo-Oxidation of Ethylene, *Journal of Nanomaterial* 8(5), Hindawi Publishing Corporation, Article ID 807394.
- [10]. Alfina, B. W.; Wardhani, S.; Triandi, R.T, 2015, Sintesis  $\text{TiO}_2\text{-N}$ /Zeolit untuk Degradasi Metilen Biru, *Kimia Student Journal.*, 1 (1): 1-7.
- [11]. Ohama, P, dan Tumpat, N, 2014, Teztile Dyeing with Natural Dye From Sappan Tree (*Caesalpinia sappan Linn*) Extract, *International Journal of Fashion and Textile Engineering*, 8 (5): 1-5.
- [12]. Rahmalia, W, 2016, Parametres de Performance de Photo-elektodes de  $\text{TiO}_2$ /Kaolinit et d'electrolytes a Base De Carbonates Biosources Dans La Cellule Solaire Sensibillisee La Bixine, *Thesis*, Institut National Polytechnique de Toulouse: Perancis.
- [13]. Maulina.; Hardeli.; Bahrizal, 2014, Preparasi *Dye Sensitized Solar Cel* Menggunakan Ekstrak Antosianin Kulit Buah Manggis (*Garcinia Mangostana L*), *Jurnal Sainstek*, 6 (2): 158-167.

- [14]. Nadeak, S.M.R.; dan Susanti, D, 2012, Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO<sub>2</sub> Sebagai DSSC dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah, *Jurnal Teknik ITS*, 1 (1): 2301-9271.
- [15]. Fardhyanti, D.S dan Riski, R.D.,2015, Pemungutan Brazilin dari kayu Secang (*Caesalpinia sappan Linn*) dengan Metode Maserasi dan Aplikasinya untuk Pewarnaan Kain, *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, ISSN 2303-0623, 2 (2).
- [16]. Park, N.G.; Lagemaat, J.V.D.; Frank, A.J, 2000, Comparison of Dye-Sensitized Rutile and Anatase Based TiO<sub>2</sub> Solar Cell, *Program and Proceedings*, Colorado.
- [17]. Damayanti, C.A.; Wardhani, S.; Purwonugroho, D, 2014, Pengaruh Konsentrasi TiO<sub>2</sub> dalam Zeolit Terhadap Degradasi *Methylene Blue* secara Fotokatalik, *Kimia Student Journal*.,1 (1): 8-14.
- [18]. Susilowati,P.; Prodjosantoso, A.K.; Kusumawardani, C, 2017, Sintesis dan Karakterisasi TiO<sub>2</sub> Terdada Nitrogen Melalui Metode Hidrotermal dengan Variasi Temperatur Kalsinasi, *Jurnal Pendidikan Kimia*, 6 (1): 59-70.
- [19]. Qiu, X, dan Burda, C, 2007, Chemically Synthesized Nitrogen-Doped Metal Oxide Nanoparticles, *Chemical Physics Elsevier*: 1-10, 5 (8).
- [20]. Mamonto, S.I.; Runtuwene, M. R. J.; Wehantouw, F, 2014, Aktivitas Antioksidan Ekstrak Kulit Biji Buah Pinang Yaki (*Areca Vesitaria Giseke*) yang diekstrak Secara Soklet, *Pharmacon Jurnal Ilmiah Farmasi*, 3 (3): 2302-2493.
- [21]. Fessenden, R.J. dan Fessenden, J.S., 1986, *Kimia Organik*, diterjemahkan oleh Pudjaatmaka, AH, Edisi Ketiga, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- [22]. Ramadhani, K, dan Akhlus, S, 2009, Pengaruh Hubungan Seri-Paralel pada Rangkaian Sel Surya Pewarna Tersensitasi (SPPT) terhadap Efisiensi Konversi Energi Listrik, *Prosiding Tugas Akhir*, Institut Teknologi 10 November: Surabaya.
- [23]. Hikmah, I. dan Prajitno, G., 2015, Pengaruh Penggunaan Gel Elektrolit pada Prototipe DSSC Berbasis TiO<sub>2</sub> Nanopartikel dengan Ekstrak Murbei (*Morus*) sebagai *Dye Sensitizer* pada Substrat Kaca ITO, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(1): 2337-3520.
- [24]. Firdaus, R, 2016, Pengaruh Variasi Elektrolit Terhadap Kinerja DSSC Menggunakan Ekstrak Daun Mengkudu (*Morinda Citrifolia*), *Jurnal Teknik Mesin*, 4 (3): 427-437.