

## DISTRIBUSI ENERGI CELAH PITA TITANIA ( $\text{TiO}_2$ ) YANG DISISIPI LOGAM Cu ATAU Fe, SERTA POTENSI APLIKASINYA DALAM SEL SURYA

### TITANIA ( $\text{TiO}_2$ ) BAND GAP ENERGY DISTRIBUTION THAT INSERTED WITH Cu OR Fe AND ITS POTENT IN SOLAR CELL APPLICATION

Rita Prasetyowati<sup>1,\*</sup>, Ariswan<sup>1</sup>, Laila Katriani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta

\*email korespondensi: [rita\\_p@uny.ac.id](mailto:rita_p@uny.ac.id)

#### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi energi celah pita titania yang disisipi dengan logam Cu, Mengetahui distribusi energi celah pita titania yang disisipi dengan logam Fe, dan mengetahui potensi titania yang disisipi Cu atau Fe jika diaplikasikan sebagai sel surya. Penyisipan logam Cu atau Fe pada titania dilakukan dengan membuat nanokomposit titania-tembaga. Kemudian nanokomposit tersebut dideposisikan pada elektroda transparan dengan metode *doctor blade*. Karakterisasi XRD (*X-Ray Diffraction*) dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia lapisan. Lapisan titania-tembaga juga dikarakterisasi dengan menggunakan UV-Visible spektrometer untuk mengetahui absorbansinya terhadap cahaya. Melalui absorbansi titania dianalisis distribusi energi celah pita. Karakterisasi arus-tegangan (I-V) dilakukan untuk mengetahui performansi sel surya yang dihasilkan. Berdasarkan fungsi probabilitas ditunjukkan kemungkinan adanya berbagai energi celah pita pada titania, yang menyebabkan energi celah pita titania bergeser. Besarnya probabilitas bukan menunjukkan konsentrasi dengan energi celah pita yang bersangkutan pada titania. Berdasarkan data karakterisasi XRD diperoleh kandungan unsur atau senyawa pada  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2\text{-Cu}$  dan  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ . Berdasarkan karakterisasi IV, ditunjukkan bahwa sudah terbentuk persambungan antara metal dengan bahan semikonduktor pada sampel.

Kata kunci: titania, celah energi, logam Cu atau Fe, sel surya.

#### Abstract

*The purpose of this research is to know the distribution of titania band gap energy inserted with Cu metal, to know the distribution of titania bandgap energy inserted with Fe metal, and to know the potential of titania inserted Cu or Fe if applied as solar cell. The insertion of Cu or Fe metal in titania is carried out by making titania-copper nanocomposites. Then the nanocomposite is deposited on a transparent electrode with a doctor blade method. The XRD (X-Ray Diffraction) characterization is performed to determine the chemical composition of the coating. The titania-copper layer is also characterized by using a UV-Visible spectrometer to determine its absorbance to light. Through the absorption of titania was analyzed the bandgap energy distribution. The voltage-current characterization (I-V) is performed to determine the performance of the resulting solar cell. Based on the probability function it is shown the possibility of various bandgap energies in titania, causing the titania band gap energy to shift. The magnitude of the probability does not indicate the concentration with the band gap energy concerned in titania. Based on the XRD characteristic data obtained the content of elements or compounds on  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2\text{-Cu}$  and  $\text{TiO}_2\text{-Fe}$ . Based on the characterization of IV, it is shown that there has been a connection between metal and semiconductor material in the sample.*

Keywords: titania, band gap energy, Cu or Fe metals, solar cells

#### Pendahuluan

Titanium dioksida adalah salah satu semikonduktor oksida yang memiliki energi celah pita yang sangat lebar (3,2 eV – 3,8 eV). Titanium dioksida murni hanya mempunyai efisiensi absorpsi sangat kecil, yaitu hanya sebesar 5%. Energi matahari pada panjang gelombang ultraviolet saja yang dapat diserap oleh titanium dioksida. Spektrum penyerapan matahari ke area cahaya tampak perlu dilakukan untuk mengefektifkan penggunaan energi matahari. Hal ini bisa dilakukan dengan cara memperkecil energi

celah pita melalui pemberian doping atom lain pada titania [1]. Sehingga diharapkan dapat memperbesar spectrum penyerapan cahaya dari titania. Selama ini usaha pemberian doping yang telah memberikan hasil adalah proses pengotoran dengan atom N, B, C dan F. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi energi celah pita titania yang disisipi dengan logam Cu, mengetahui distribusi energi celah pita titania yang disisipi dengan logam Fe dan mengetahui potensi

titania yang disisipi Cu atau Fe jika diaplikasikan sebagai sel surya.

## Metode Penelitian

Teknik pengambilan data dilakukan dalam dua tahap yaitu tahap preparasi (pembuatan lapisan titania) dan tahap karakterisasi lapisan titania.

### a. Tahap Preparasi (pembuatan lapisan titania)

- 1) Pembuatan nanokomposit titania dan titania-tembaga atau titania-besi
  - PVA sebanyak 0,1 gram dilarutkan dalam 10 ml aquades, larutan tersebut diaduk sambil dipanaskan di atas hot plate pada suhu 80°C selama 2 jam, larutan ini berfungsi sebagai *binder* dalam pembuatan pasta titania
  - Selanjutnya TiO<sub>2</sub> sebanyak 1 gram dimasukkan ke dalam binder, sambil tetap diaduk dan dipanaskan pada suhu 80°C sampai terbentuk pasta yang baik ( $\pm$  1 jam), sehingga terbentuk pasta titania.
  - Untuk membuat pasta nanokomposit titania-tembaga : ke dalam larutan *binder* dimasukkan 1 gram TiO<sub>2</sub> dan 0,1 gram Cu atau Fe, sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 80°C sampai terbentuk pasta yang baik ( $\pm$  1 jam), sehingga terbentuk pasta titania-tembaga. Langkah ini dapat diulangi dengan variasi massa Cu atau Fe yang ditambahkan.
- 2) Deposisi nanokomposit pada substrat ITO
  - Elektroda transparan (ITO) dipotong dengan ukuran 2,0 cm x 2,5 cm, kemudian dicuci dengan aquades selama 15 menit dan dengan alkohol 70% selama 30 menit menggunakan *ultrasonic bath*
  - Nanokomposit yang telah dibuat selanjutnya dicetak di atas elektroda transparan yang sudah bersih dengan teknik *doctor blade*
  - Nanokomposit yang telah menempel pada elektroda transparan selanjutnya dipanaskan di atas *hot plate* pada suhu 100°C selama 30 menit, dilanjutkan dipanaskan dengan menggunakan *furnace* pada suhu 450°C selama 30 menit.
- 3) Pembuatan lapisan elektrolit
  - NaF sebanyak 0,5 gram dilarutkan dalam 10 ml aquades sambil diaduk menggunakan stirrer sampai terlarut semua, kemudian 0,8 gram PEG dimasukkan sedikit demi sedikit sambil

terus diaduk dan dipanaskan pada suhu 110°C sampai pelarut aquades menguap atau terbentuk gel

- Gel elektrolit dilapiskan secara manual pada lapisan nanokomposit titania-tembaga.
- 4) Penyiapan elektroda aluminium (Al)
    - Lempeng Al dipotong dengan ukuran 2,0 cm x 2,5 cm, kemudian dicuci dengan aquades selama 15 menit dan dengan alkohol 70% selama 30 menit, dengan menggunakan *ultrasonic bath*, selanjutnya lempeng Al dikeringkan
    - Lapisan nanokomposit titania-tembaga yang telah diberi gel elektrolit, selanjutnya ditumpuk dengan elektroda Al, kemudian sampel dipanaskan di atas hot plate pada suhu 80°C selama 10 menit agar gel elektrolit menjadi padatan

### b. Tahap Karakterisasi Lapisan Titania

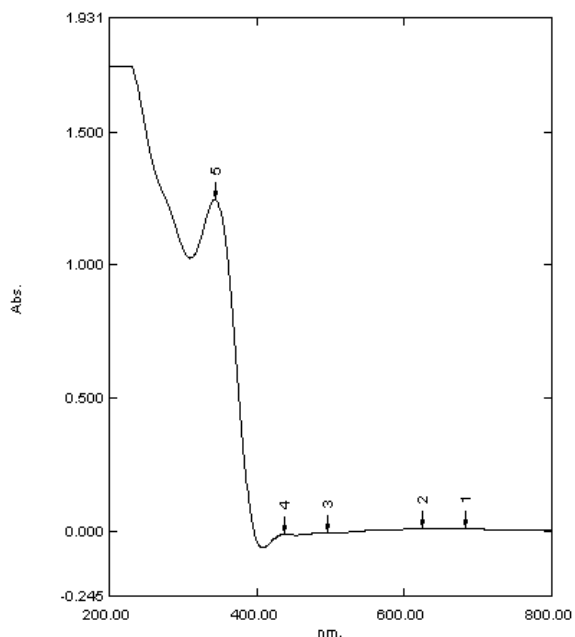
Komposisi bahan dianalisis dengan XRD. Absorbansi dianalisis dengan menggunakan UV-Vis Spektrometer. Karakterisasi I-V untuk mengetahui performansi sel surya dilakukan dengan I-V meter Keithley.

## Hasil dan Pembahasan

### 1. Distribusi Energi Celah Pita TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-Cu dan TiO<sub>2</sub>-Fe Hasil Karakterisasi UV-Visible

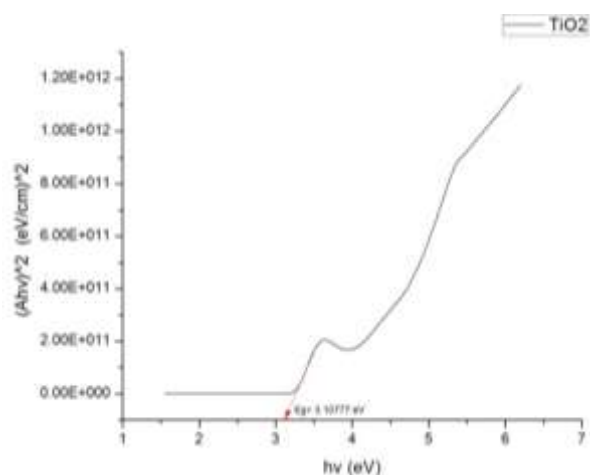
#### a. Distribusi Energi Celah Pita Titania (TiO<sub>2</sub>) Berdasarkan Hasil Karakterisasi UV-Visible

Hasil spektroskopi UV-Vis memberikan spektrum absorpsi dari TiO<sub>2</sub> seperti pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar tersebut terlihat bahwa TiO<sub>2</sub> mampu menyerap foton pada panjang gelombang 200 nm - 395 nm dan 548 nm - 800 nm. Puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 344 nm, 625 nm, dan 683 nm.



**Gambar 1.** Spektrum absorbansi lapisan TiO<sub>2</sub> hasil karakterisasi UV-Vis

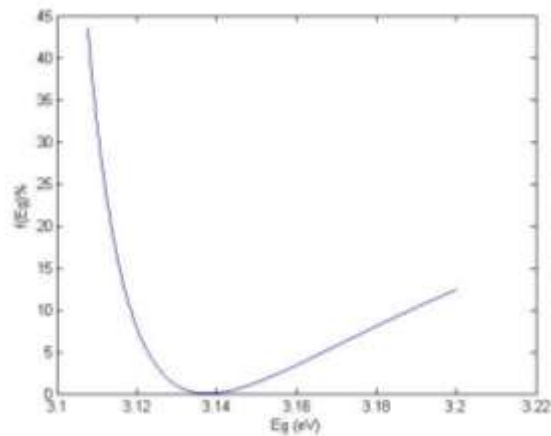
Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis tersebut, dilakukan langkah-langkah mencari energi celah pita seperti pada Kajian Pustaka. Sehingga diperoleh grafik hubungan antara  $(\alpha hf)^{1/r}$  terhadap  $(hf)$ . Energi celah pita ( $E_g$ ) diperoleh dari nilai perpotongan kurva dengan sumbu mendatar, seperti pada Gambar 2. Dari hasil kurva yang dibuat pada Gambar 2 tersebut, didapatkan energi celah pita TiO<sub>2</sub> sebesar 3,1077 eV. Hasil ini hampir sama dengan nilai energi celah pita pada bulk TiO<sub>2</sub> (3,2–3,8eV).



**Gambar 2.** Energi celah pita pada TiO<sub>2</sub>

Selanjutnya ditentukan fungsi probabilitas  $E_g$  dalam material TiO<sub>2</sub>. Untuk satu jenis material, kurva karakteristik transmitansi memenuhi hubungan seperti pada persamaan 3. Jika

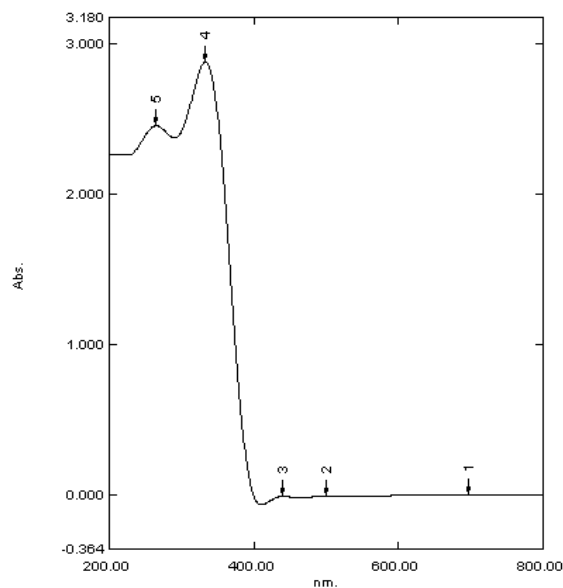
berdasarkan referensi bahwa TiO<sub>2</sub> (bulk) memiliki energi celah pita sebesar 3,2-3,8 eV, maka kurva absorbansi pada material TiO<sub>2</sub> ini merupakan penjumlahan dari berbagai kontribusi  $E_g$ , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Kurva  $f(E_g)$  terhadap  $E_g$  pada TiO<sub>2</sub>

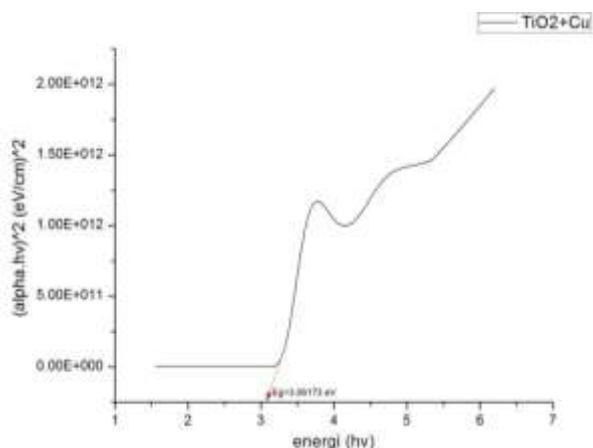
**b. Distribusi Energi Celah Pita Titania yang Disisipi Logam Cu (TiO<sub>2</sub>-Cu) Berdasarkan Hasil Karakterisasi UV-Visible**

Spektrum absorpsi lapisan TiO<sub>2</sub>-Cu hasil karakterisasi UV-Vis diperlihatkan pada Gambar 4. Berdasarkan spektrum tersebut dapat dilihat bahwa TiO<sub>2</sub>-Cu mampu menyerap foton pada panjang gelombang 200 nm – 398 nm, dengan puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 264 nm dan 333 nm.

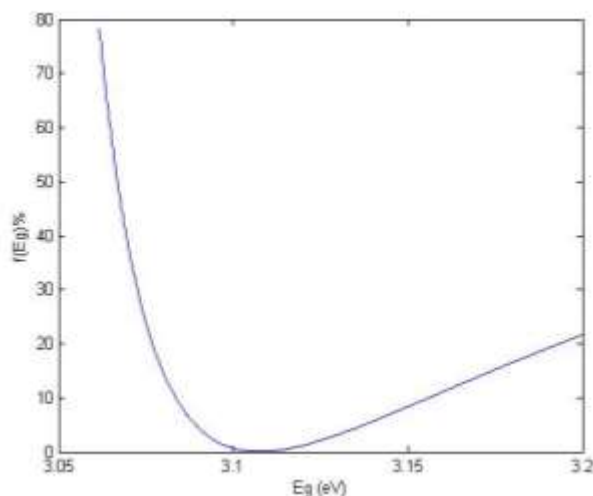


**Gambar 4.** Spektrum absorbansi lapisan TiO<sub>2</sub>-Cu hasil karakterisasi UV-Vis

Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis tersebut, dilakukan langkah-langkah mencari energi celah pita seperti pada Kajian Pustaka. Sehingga diperoleh grafik hubungan antara  $(\alpha hf)^{1/r}$  terhadap  $(hf)$ . Energi celah pita ( $E_g$ ) diperoleh dari nilai perpotongan kurva dengan sumbu mendatar, seperti pada Gambar 5. Dari hasil kurva pada Gambar 5 tersebut, didapatkan energi celah pita TiO<sub>2</sub> sebesar 3,06173 eV. Hasil ini lebih kecil dari nilai energi celah pita pada bulk TiO<sub>2</sub> (3,2 – 3,8 eV).



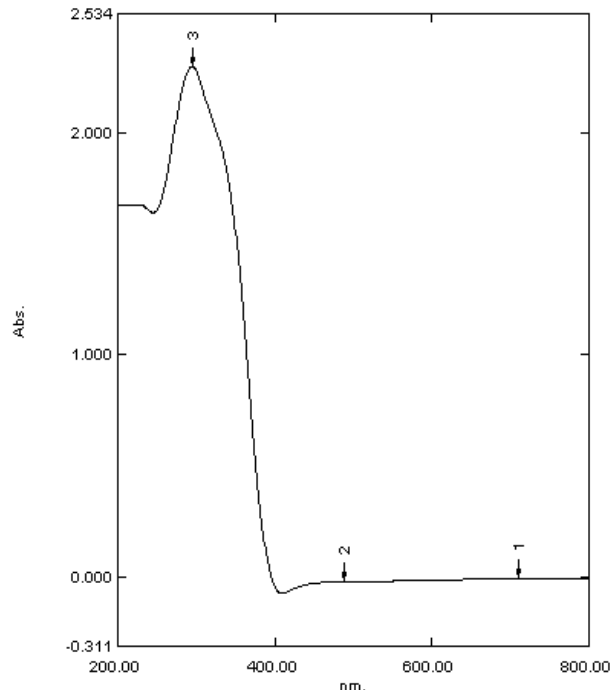
Gambar 5. Energi celah pita pada TiO<sub>2</sub>-Cu



Gambar 6. Kurva  $f(E_g)$  terhadap  $E_g$  pada TiO<sub>2</sub>-Cu

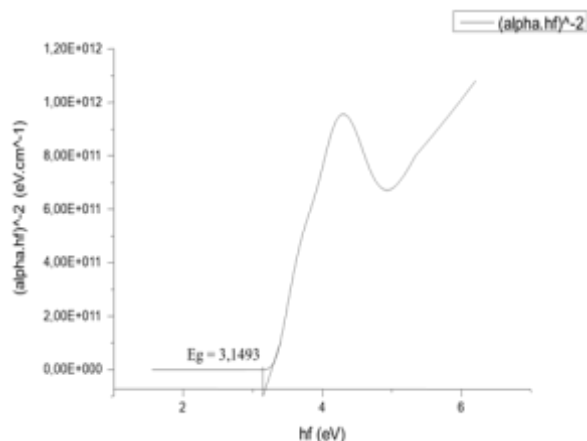
**c. Distribusi Energi Celah Pita Titania yang Disisipi Logam Fe (TiO<sub>2</sub>-Fe) Berdasarkan Hasil Karakterisasi UV-Visible**

Spektrum absorpsi lapisan TiO<sub>2</sub>-Fe hasil karakterisasi UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan bahwa TiO<sub>2</sub>-Fe mampu menyerap foton pada panjang gelombang 200 nm – 395 nm, dengan puncak absorbansi terjadi pada panjang gelombang 295 nm.

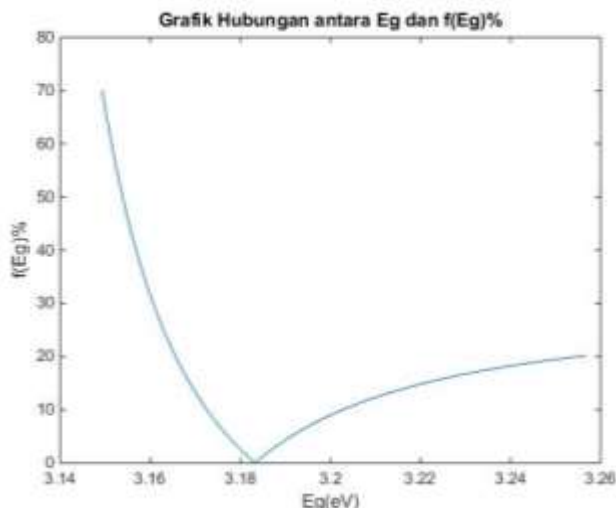


Gambar 7. Spektrum absorbansi lapisan TiO<sub>2</sub>-Cu hasil karakterisasi UV-Vis

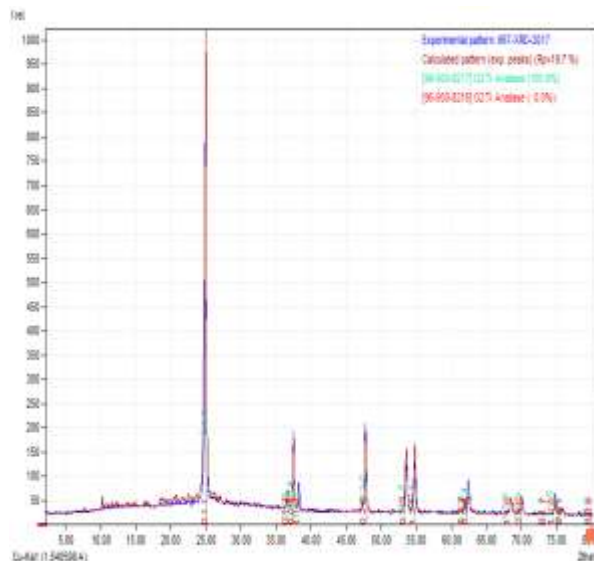
Berdasarkan hasil karakterisasi UV-Vis tersebut, dilakukan langkah-langkah mencari energi celah pita seperti pada kajian pustaka. Sehingga diperoleh grafik hubungan antara  $(\alpha hf)^{1/r}$  terhadap  $(hf)$ . Energi celah pita ( $E_g$ ) diperoleh dari nilai perpotongan kurva dengan sumbu mendatar, seperti pada Gambar 8. Dari hasil kurva yang dibuat pada Gambar 8, didapatkan energi celah pita TiO<sub>2</sub> sebesar 3,1493 eV. Hasil ini lebih kecil dari nilai energi celah pita pada bulk TiO<sub>2</sub> (3,2 – 3,8 eV).



Gambar 8. Energi celah pita pada TiO<sub>2</sub>-Fe



Gambar 9. Kurva  $f(E_g)$  terhadap  $E_g$  pada  $TiO_2$ -Fe

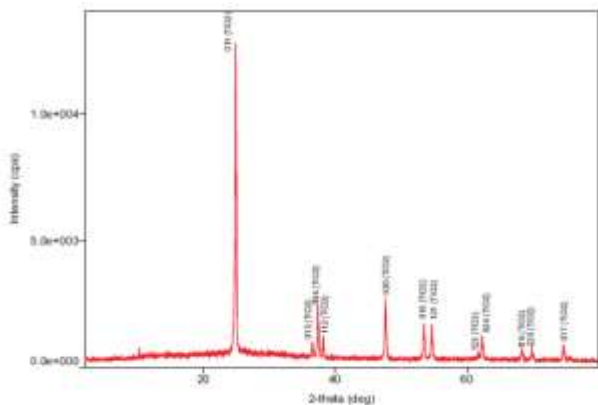


Gambar 11. Kandungan pada sampel  $TiO_2$  hasil XRD

**2. Komposisi Bahan Lapisan  $TiO_2$ ,  $TiO_2$ -Cu dan  $TiO_2$ -Fe Berdasarkan Hasil XRD (X-Ray Diffraction)**

**a. Komposisi Bahan  $TiO_2$**

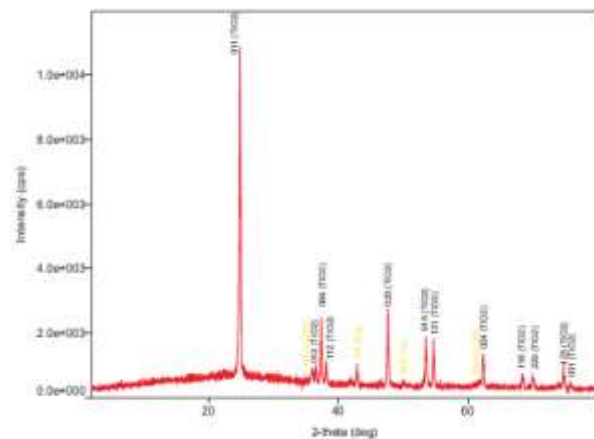
Hasil karakterisasi XRD berupa difraktogram yang menunjukkan intensitas sebagai fungsi sudut difraksi ( $2\theta$ ), seperti pada Gambar 10. Dari difraktogram tersebut kemudian diolah dengan *software match* versi 2, sehingga diperoleh komposisi bahan yang terkandung di dalamnya dalam bentuk unsur atau senyawa. Berdasarkan Gambar 11 lapisan  $TiO_2$  mengandung  $TiO_2$  anatase sebanyak 100%. Hal ini berarti  $TiO_2$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah  $TiO_2$  murni. Hasil ini bersesuaian dengan hasil karakterisasi UV-Visible bahwa lapisan  $TiO_2$  hanya mampu menyerap foton pada panjang gelombang 200 – 395 nm atau pada daerah ultraviolet. Menurut referensi,  $TiO_2$  hanya mampu menyerap foton pada spektrum ultraviolet [2].



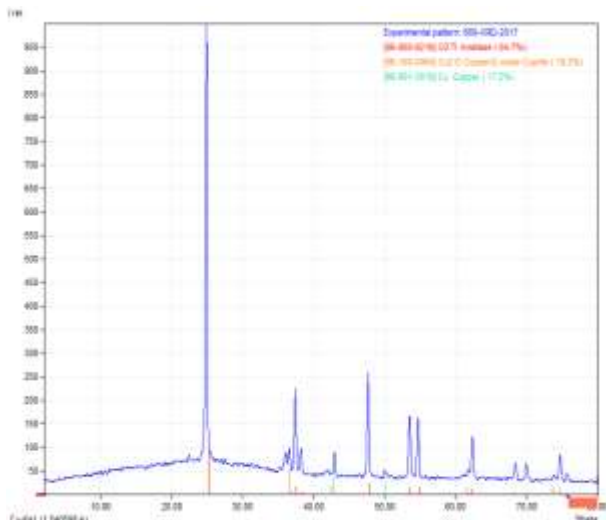
Gambar 10. Difraktogram  $TiO_2$

**b. Komposisi Bahan Lapisan  $TiO_2$ -Cu**

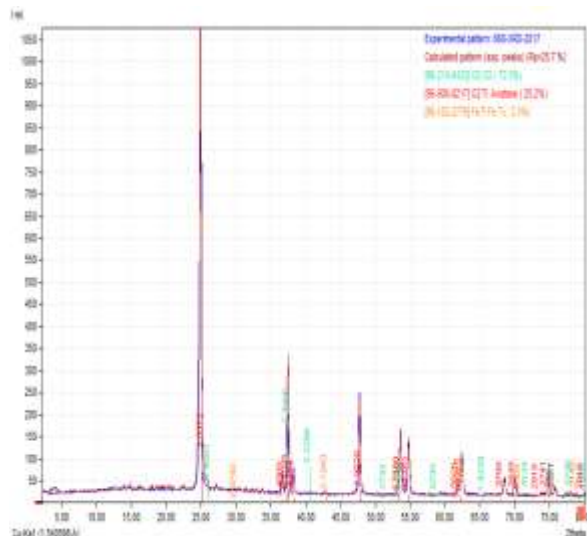
Berdasarkan Difraktogram pada Gambar 12, kemudian diolah dengan *software match* versi 2 menjadi Gambar 13. Dari Gambar 13 tersebut diperoleh hasil bahwa lapisan  $TiO_2$ -Cu mengandung  $TiO_2$  anatase sebanyak 64,7%;  $Cu_2O$  sebanyak 18,2% dan Cu sebanyak 17,2%. Hal ini berarti bahwa pada lapisan  $TiO_2$  yang disisipi dengan logam Cu mengandung Cu. Hasil ini bersesuaian dengan karakterisasi UV-Visible yang menyatakan bahwa celah energi  $TiO_2$ -Cu berbeda dengan celah energi  $TiO_2$  tanpa disisipi Cu.



Gambar 12. Difraktogram  $TiO_2$ -Cu



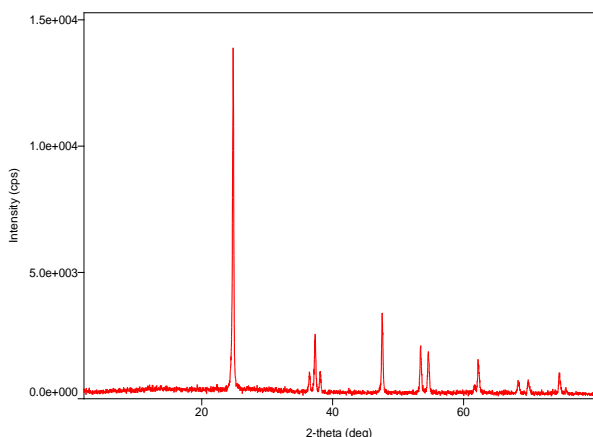
Gambar 13. Kandungan pada sampel TiO<sub>2</sub>-Cu hasil XRD



Gambar 15. Kandungan pada sampel TiO<sub>2</sub>-Fe hasil XRD

**c. Komposisi Bahan Lapisan TiO<sub>2</sub>-Fe**

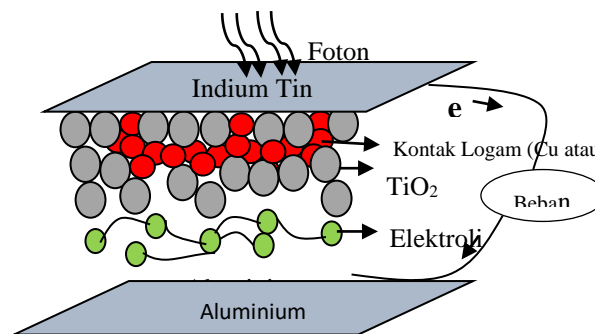
Berdasarkan Difraktogram pada Gambar 14 kemudian diolah dengan *software match* versi 2 menjadi Gambar 15. Dari Gambar 21 tersebut diperoleh hasil bahwa lapisan TiO<sub>2</sub>-Fe mengandung TiO<sub>2</sub> anatase sebanyak 25,2%; O<sub>2</sub> sebanyak 72,5% dan FeTi sebanyak 2,3%. Hal ini berarti bahwa pada lapisan TiO<sub>2</sub> yang disisipi dengan logam Fe hanya mengandung sejumlah kecil Fe dan banyak mengandung oksigen. Hal ini berarti lapisan yang dibuat telah teroksidasi [3]. Hasil ini bersesuaian dengan karakterisasi UV-Visible yang menyatakan bahwa celah energi TiO<sub>2</sub>-Fe hanya berbeda sedikit dengan celah energi TiO<sub>2</sub> tanpa disisipi Fe.



Gambar 14. Difraktogram TiO<sub>2</sub>-Fe

**3. Hasil Karakterisasi Arus-Tegangan (IV) Sel Surya Berbasis TiO<sub>2</sub>-Cu dan TiO<sub>2</sub>-Fe**

Pembuatan sel surya fotoelektrokimia dilakukan dengan cara memberikan lapisan elektrolit yang telah berbentuk gel pada lapisan aktif TiO<sub>2</sub>-Cu atau TiO<sub>2</sub>-Fe, dan ditutup dengan lempengan aluminium sebagai *counter* elektroda. Susunan sel surya yang terbentuk menyerupai *sandwich*, seperti pada Gambar 16.



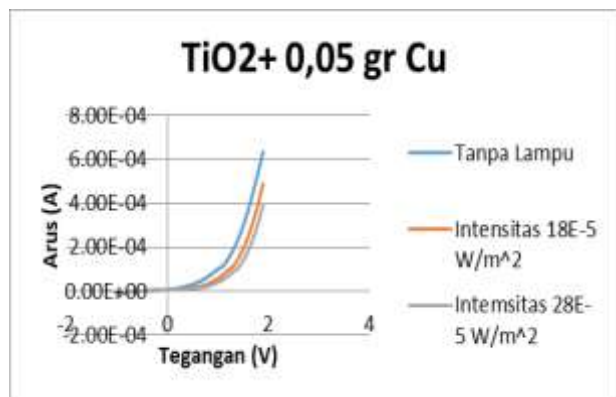
Gambar 16. Struktur sel surya berbasis TiO<sub>2</sub> dan logam Fe atau Cu

Dilakukan karakterisasi arus dan tegangan (IV) terhadap sampel sel surya yang telah terbentuk. Pengukuran arus-tegangan dilakukan dengan IV meter Keithley. Pengukuran I-V dilakukan dalam dua keadaan yaitu ketika tidak ada cahaya dan ketika sel surya diberi cahaya. Ketika sel surya disinari cahaya, maka akan terjadi generasi (timbulnya pasangan elektron-hole). Foton yang diserap oleh elektron pada TiO<sub>2</sub> menyebabkan elektron tereksitasi dan selanjutnya elektron

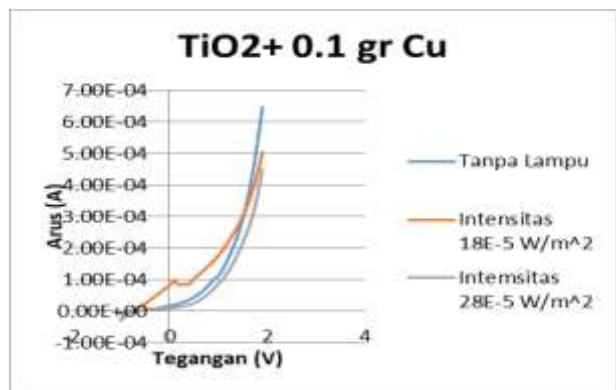


mengalir menuju ITO melalui lapisan kontak logam Cu. Lapisan kontak logam ini menjadi lintasan bagi elektron untuk mengalir lebih cepat menuju ITO. Selanjutnya elektron mengalir melalui beban luar menuju counter elektroda dan akan diterima oleh elektrolit. Sedangkan hole yang terbentuk akan berdifusi menuju elektrolit. Hal ini berarti elektron yang diterima elektrolit akan berekombinasi dengan hole membentuk pembawa muatan negatif [4].

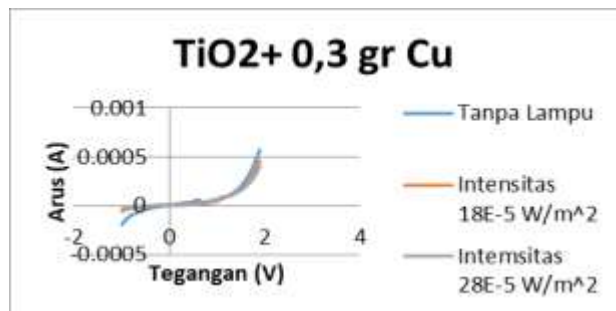
**a. Hasil Karakterisasi IV Sel Surya Berbasis TiO<sub>2</sub>-Cu**



**Gambar 17.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,05 gram Cu



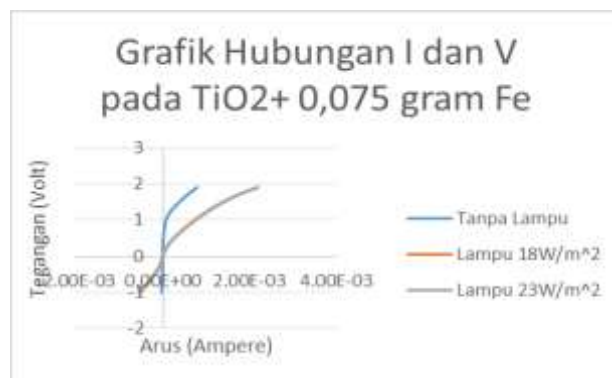
**Gambar 18.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,10 gram Cu



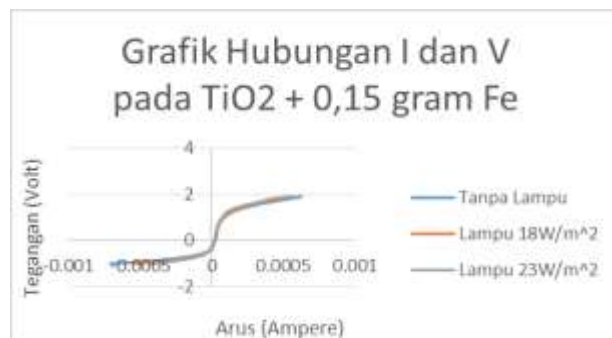
**Gambar 19.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,30 gram Cu

Gambar 17, 18, dan 19 merupakan kurva karakterisasi arus-tegangan dari lapisan TiO<sub>2</sub>-Cu untuk ketiga variasi massa Cu dengan menggunakan I-V meter Keithley, pada saat kondisi tidak disinari (gelap). Kurva tersebut menunjukkan terbentuknya persambungan antara logam dengan bahan semikonduktor pada sampel (*Schottky contact/ rectifying contact*) [6].

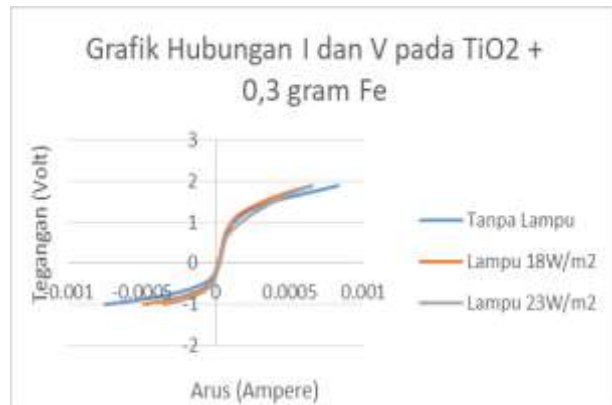
**b. Hasil Karakterisasi IV Sel Surya Berbasis TiO<sub>2</sub>-Fe**



**Gambar 20.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,075 gram Fe



**Gambar 21.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,15 gram Fe



**Gambar 22.** Kurva Arus-Tegangan Sel Surya dengan Lapisan Aktif TiO<sub>2</sub>+0,3 gram Fe

Gambar 20, 21 dan 22 merupakan kurva karakterisasi arus-tegangan dari lapisan TiO<sub>2</sub>-Fe untuk ketiga variasi massa Fe dengan menggunakan I-V meter Keithley, pada saat kondisi tidak disinari (gelap). Kurva tersebut menunjukkan terbentuknya persambungan antara logam dengan bahan semikonduktor pada sampel (*Schottky contact/rectifying contact*) [6].

## Simpulan

Energi celah pita titania merupakan penjumlahan dari berbagai kontribusi  $E_g$  dari unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Energi celah pita titania bergeser ketika disisipi logam Cu atau Fe. Berdasarkan fungsi probabilitas ditunjukkan kemungkinan adanya berbagai energi celah pita pada titania, yang menyebabkan energi celah pita titania bergeser. Berdasarkan data karakterisasi XRD diperoleh kandungan unsur atau senyawa pada TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>-Cu dan TiO<sub>2</sub>-Fe. Berdasarkan karakterisasi IV, ditunjukkan bahwa sudah terbentuk persambungan antara metal dengan bahan semikonduktor pada sampel.

## References

- [1] Green. A. Martin. (1982). *Solar Cells*. Australia : Prentice Hall.
- [2] U. Diebolt. (2003). The Surface Science of Titanium Dioxide, *Surface Science Reports* **48**, 53.
- [3] De Paoli, M.A., W. A. Gazotti (2002). Electrochemistry, Polymers and Opto-Electronic Devices: A Combination with a Future”, *Journal Brazillian Chemistry Society*. **13**, 410 – 424.
- [4] S. Liang, G. Wenbin, Z. Zhicheng, (2008), *Microelectroni. J.* **39**
- [5] L. Antonio and S. Hegedus. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Inggris : Wiley.
- [6] I. Nurmawati, M. Abdullah, Khairurrijal. 2009. *J. Nanosains dan Nanoteknologi* **2**, pp 38-42.
- [7] Cam Loc Luu, Quoc Tuan Nguyen and Si Thoang Ho. (2010). Synthesis and Characterization of Fe-doped TiO<sub>2</sub> Photocatalyst by the Sol–Gel method, *Adv. Nat.: Nanosci. Nanotechnol.* **1**, 015008 (5pp).
- [8] Sobolev, K. Flores, I. Hermosillo, R. & Torres-Mertinez, L.M. 2008. Nanomaterials and Nanotechnology for High-Performance

Cement Composites. *International Concrete Abstracts Portal*, 254: 93-120.

- [9] G. Phani, G. Tulloch, D. Vittorio, dan I. Skyrabin. (2001). Titania Solar Cells: New Photovoltaic Technology, *Renewable Energy* **22**, 303-309.