

# PEMBENTUKAN NANOPARTIKEL $TiO_2$ DENGAN METODE BERVARIASI

Kaeksi Yuliarti Astuti S.Si.,M.Eng

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik

UNIVERSITAS ISLAM KALIMANTAN MUHAMMAD ARSYAD ALBANJARI

Jl. Adhyaksa No. 2 Kayu Tangi Banjarmasin 70123

e-mail: kaeksi\_yuliarti@uniska-bjm.ac.id

**Abstrak** – Nanopartikel  $TiO_2$  telah berhasil disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi pada kondisi hidrotermal. Sintesis  $TiO_2$  bertujuan membentuk fasa anatase dan rutil, serta mengetahui ukuran dan komposisi fasanya. Sampel yang telah disintesis dikarakterisasi menggunakan XRD. Pola difraksi dari XRD menghasilkan  $TiO_2$  dengan fasa anatase memiliki ukuran 6-25 nm, dan fasa rutil memiliki ukuran 10-186 nm. Berdasarkan hasil TEM terlihat morfologi yang bervariasi dan adanya aglomerasi partikel pada setiap sampel.

**Kata kunci** –  $TiO_2$ , Fase Anatase, SEM

## I. PENDAHULUAN

**B**ERANJAK dari pengehrtiannya Titania ( $TiO_2$ ) adalah material anorganik yang sangat populer dalam dunia industri. Material ini disebut polimorf karena memiliki tiga fasa (anatase, rutil dan brookite). Rutil adalah fasa yang paling stabil. Sehingga pada saat sintesis anatase akan terbentuk lebih dahulu sebelum rutil. Titania dapat dipakai dalam beberapa aplikasi, diantaranya sebagai bahan fotokatalis, sensor gas, pembersih polutan (darat, air dan udara), campuran cat agar tahan korosi, pelapis alat-alat kedokteran, kosmetik, sel surya, penyerap gelombang elektromagnetik (Castro dkk, 2008). Pemanfaatan titania biasanya tergantung pada struktur kristal, morfologi, dan stabilitas fasa.

Sintesis titania dapat dilakukan dengan berbagai metode, diantaranya kopresipitasi, sol gel, solvotermal, mikroemulsion, elektrokimia dll. Dari seluruh metode yang dapat digunakan, kopresipitasi adalah metode yang memerlukan biaya relatif murah dan mudah (Crap dkk, 2004). Bahan dasar sebagai sumber titanium yang paling sering digunakan adalah  $TiCl_4$ ,  $TiCl_3$ , titanium alkoxide.  $TiCl_3$  dan  $TiCl_4$  adalah bahan yang cukup murah dan mudah didapatkan dibandingkan larutan lainnya. Sehingga pada penelitian kali ini menggunakan larutan  $TiCl_3$ .

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Energi Surya

Energi surya adalah radiasi yang diproduksi oleh reaksi fusi nuklir pada inti matahari. Matahari mensuplai hampir semua panas dan cahaya yang diterima bumi untuk digunakan makhluk hidup. Energi surya sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton.

Energi surya merupakan sumber energi yang tak habis-habisnya berpotensi memenuhi sebagian besar energi masa

depan dengan konsekuensi minimal yang merugikan lingkungan. Energi surya sampai ke bumi dalam bentuk paket-paket energi yang disebut foton.

Parameter penting yang berkaitan dengan sel surya sebagai perangkat yang mengkonversi radiasi sinar matahari menjadi listrik antara lain intensitas radiasi, yaitu jumlah daya matahari yang mengenai permukaan per luasan dan karakteristik spektrum cahaya matahari. Intensitas radiasi matahari diluar atmosfer bumi sebesar  $1365 \text{ W/m}^2$ . Setelah disaring oleh atmosfer bumi, beberapa spektrum cahaya hilang dan intensitas puncak radiasi menjadi sekitar  $1000 \text{ W/m}^2$ . Intensitas sinar matahari ke bumi bervariasi karena orbit bumi mengitari matahari adalah elips Energi solar atau radiasi cahaya terdiri dari biasan foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi dari foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel surya, maka foton tersebut dapat dibiarkan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel tersebut. Foton yang terserap oleh sel surya inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik [1].

### B. Sel Surya

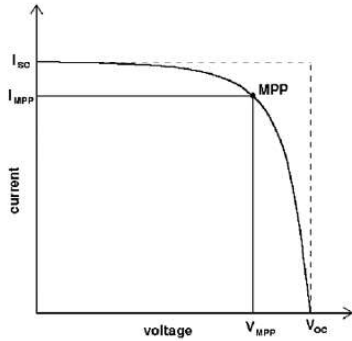
Sel surya merupakan suatu peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaiik[2]. Peralatan ini dibuat dari bahan semikonduktor yang merupakan suatu zat padat dengan nilai resistivitas dari bahan konduktor dan lebih kecil dari pada bahan isolator. Efek fotovoltaiik merupakan peristiwa terciptanya suatu muatan didalam bahan akibat penyerapan cahaya dari bahan. Prinsip dari sel surya adalah pembagian spektrum cahaya matahari dalam dua bagian atau lebih. Kemudian bagian tersebut diserap oleh beberapa sel surya yang memiliki celah pita energi yang berbeda. Prinsip tersebut dapat dilakukan dengan cara lain yaitu membuat tumpukan sel surya. Tumpukan tersebut terdiri dari sel surya yang paling atas harus memiliki celah pita energi terbesar yang dibuat transparan terhadap spektrum panjang gelombang yang tidak diserapnya sehingga dapat lolos dan diserap oleh sel surya dibawahnya yang memiliki celah energi yang lebih kecil[1].

Perkembangan sel surya ini sampai kepada generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991. Sel surya yang dikembangkan oleh Gratzel dinamakan sel surya pewarna tersensitisasi atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)[3].

### C. Performasi Sel Surya

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut

untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus



melalui beban pada waktu yang sama. Kemampuan ini dipresentasikan dalam kurva arus-tegangan (I-V) yang ditunjukkan pada gambar berikut.

Gambar 2.1 Karakteristik Kurva I-V pada Sel Surya

Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus maksimum atau arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ). Titik pada kurva I-V yang menghasilkan arus dan tegangan maksimum disebut titik daya maksimum (MPP). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *fill factor* (FF), dengan persamaan,

$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan *fill factor* maka maksimum daya dari sel surya didapat dari persamaan,

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (2.2)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel ( $P_{MAX}$ ) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang ( $P_{cahaya}$ ) :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \quad (2.3)$$

Nilai efisiensi ini yang menjadi ukuran global dalam menentukan kualitas performansi suatu sel surya.

#### D. Antosianin

Antosianin (bahasa Inggris: *anthocyanin*, dari gabungan kata Yunani: *anthos* = “bunga”, dan *cyanos* = “biru”) adalah pigmen larut air yang secara alami terdapat pada berbagai jenis tumbuhan [1]. Sesuai namanya, pigmen ini memberikan warna pada bunga, buah, dan daun tumbuhan hijau, dan telah banyak digunakan sebagai pewarna alami pada berbagai produk pangan dan berbagai aplikasi lainnya [1]. Warna diberikan oleh antosianin berkat susunan ikatan rangkap terkonjugasinya yang panjang, sehingga mampu menyerap cahaya pada rentang cahaya tampak. Sistem ikatan rangkap terkonjugasi ini juga yang mampu menjadikan Antosianin

sebagai antioksidan dengan mekanisme penangkapan radikal. Antosianin merupakan sub-tipe senyawa organik dari keluarga flavonoid, dan merupakan anggota kelompok senyawa yang lebih besar yaitu polifenol. Beberapa senyawa antosianin yang paling banyak ditemukan adalah pelargonidin, peonidin, sianidin, malvidin, petunidin, dan delphinidin.

Vakuola (*vaccus* – kosong) adalah rongga-rongga yang terbentuk didalam lumen sel ketika sel bertambah besar dan sel bertambah tua. Berisi cairan vakuola, yaitu suatu larutan cair berbagai bahan organik dan anorganik, gula, protein, lemak, minyak, gas dan garam-garam yang kebanyakan merupakan bahan cadangan makanan atau hasil sampingan metabolisme. Vakuola ini umumnya tidak berwarna, tetapi mungkin berpigmen kebiru-biruan atau kemerah-merahan tergantung lingkungannya. Pigmen ini termasuk zat kimia kelompok antosianin dan terdapat pada bagian tumbuhan seperti akar, daun atau bunga.

Antosianin adalah metabolit sekunder dari famili flavonoid, dalam jumlah besar ditemukan dalam buah-buahan dan sayur-sayuran. Antosianin adalah suatu kelas dari senyawa flavonoid, yang secara luas terbagi dalam polifenol tumbuhan. Flavonol, flavon-3-ol, flavon, flavanon dan flavanonol adalah kelas tambahan flavonoid yang berbeda dalam oksidasi dari antosianin. Larutan pada senyawa flavonoid adalah tak berwarna atau kuning pucat.

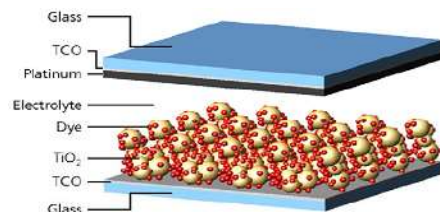
Antosianin adalah senyawa flavonoid dan merupakan glikosida dari antosianidin yang terdiri dari 2-phenyl benzopyrylium (Flavium) tersubstitusi, memiliki sejumlah gugus hidroksil bebas dan gugus hidroksil termetilasi yang berada pada posisi atom karbon yang berbeda. Seluruh senyawa antosianin merupakan senyawa turunan dari kation flavilium. Pada umumnya seluruh antosianin memiliki struktur dasar kation flavilium ( $AH^+$ ).

Sebagian besar tumbuhan memiliki kandungan antosianin terbesar pada bagian buahnya. Sebagian tanaman lain, seperti teh, kakao, sereal, buncis, tomat merah dan petunia juga memiliki kandungan antosianin pada bagian tubuh selain buah.

#### E. Dye-Sensitized Solar Cell

*Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC), sejak pertama kali ditemukan oleh profesor Michael Grätzel pada tahun 1991, telah menjadi salah satu topik penelitian yang dilakukan intensif oleh peneliti di seluruh dunia. DSSC bahan disebut juga terobosan pertama dalam teknologi sel surya sejak sel surya silikon [4].

Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC adalah sel surya fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Selain elektrolit, DSSC terbagi menjadi beberapa bagian yang terdiri dari nanokristal pori  $TiO_2$ , molekul *dye* yang teradsorpsi di permukaan  $TiO_2$  dan katalis yang semuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif.



Gambar 2.2 Komponen dan Struktur *Dye-Sensitized Solar Cell*

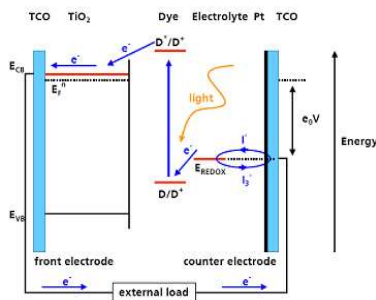
Pada bagian atas sel surya merupakan *glass* yang sudah dilapisi oleh TCO (*Transparent Conducting Oxide*), yang berfungsi sebagai elektroda dan *counter*-elektroda. Pada TCO *counter*-elektroda dilapisi katalis untuk mempercepat reaksi redoks dengan elektrolit. Pasangan redoks yang umumnya dipakai yaitu  $I^-/I_3^-$  (iodide/triiodide).

pada permukaan elektroda dilapisi oleh nanokristal pori  $TiO_2$  yang mana *dye* teradsorpsi di  $TiO_2$ . Jumlah pori yang lebih banyak dengan pengaturannya dalam struktur nano, memungkinkan *dye* yang teradsorpsi lebih banyak menghasilkan proses absorpsi cahaya yang lebih efisien. *Dye* yang umumnya digunakan yaitu jenis ruthenium complex.

F. Prinsip Kerja *Dye-Sensitized Solar Cell*

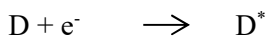
Foton (sinar matahari) yang terabsorpsi oleh *dye* akan mengalami eksitasi elektron pada *dye*. Kejadian ini memberikan energi yang cukup kepada elektron untuk pindah menuju *conduction band* dari  $TiO_2$ . Akibatnya elektron mengalir menuju elektroda, rangkaian listrik sampai *Counter* elektroda. Elektrolit membawa elektron-elektron kembali ke *dye* yang berasal dari *counter* elektroda (CE).

*Dye* yang digunakan pada DSSC umumnya berupa *dye* sintetik Ruthenium kompleks. Ruthenium kompleks memiliki kemampuan berikatan baik dengan semikonduktor karena memiliki ikatan carboxylate. Ikatan tersebut memberikan efek elektron yang mengalir baik tanpa harus melakukan lompatan dan hambatan dalam proses pengalirannya. Awal penemuan DSSC oleh Michael Gratzel, digunakan *dye* sintetik ruthenium kompleks tipe N3 yang menghasilkan efisiensi konversi energi sebesar 7,9%.

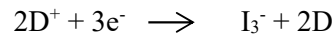


Gambar 2.3 Skema Kerja dari DSSC

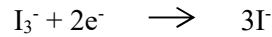
Pada dasarnya prinsip kerja dari DSSC merupakan reaksi dari transfer elektron. Proses pertama dimulai dengan terjadinya eksitasi elektron pada molekul *dye* akibat absorpsi foton. Elektron tereksitasi dari *groundstate* (D) ke *excited state* ( $D^*$ ).



Elektron dari *excited state* kemudian langsung terinjeksi menuju *conduction band* ( $E_{CB}$ ) titania sehingga molekul *dye* teroksidasi ( $D^+$ ). Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit ( $I^-$ ) maka molekul *dye* kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Setelah mencapai elektroda TCO, elektron mengalir menuju *counter*-elektroda melalui rangkain eksternal. Dengan adanya katalis pada *counter*-elektroda, elektron diterima oleh elektrolit sehingga hole yang terbentuk pada elektrolit ( $I_3^-$ ), akibat donor elektron pada proses sebelumnya, berekombinasi dengan elektron membentuk iodide ( $I^-$ ).



Iodide ini digunakan untuk mendonor elektron kepada *dye* yang teroksidasi, sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron. Dengan siklus ini terjadi konversi langsung dari cahaya matahari menjadi listrik.

G. Deskripsi Buah Kasturi

Kasturi (*Garcinia mangostana L.*) adalah sejenis pohon hijau abadi dari daerah tropika yang diyakini berasal dari kepulauan Nusantara. Tumbuh hingga mencapai 7sampai 25 meter. Buahnya juga disebut kasturi, berwarna merah keunguan ketika matang, meskipun ada pula varian yang kulitnya berwarna merah. Buah kasturi ini mengandung antioksidan dan antiinflamasi. Kadar antioksidan buah kasturi diyakini sebagai kadar antioksidan tertinggi didunia. [5]

Klasifikasi ilmiah

Kerajaan	: <i>Plantae</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Ordo	: <i>Malpighiales</i>
Famili	: <i>Clusiaceae</i>
Genus	: <i>Garcinia</i>
Spesies:	: <i>G. Mangostana</i>

Nama Binomial : *Garcinia Mangostana L.*[5]

Buah kasturi merupakan buah yang mempunyai banyak keunggulan dibandingkan buah lainnya. Bagian kulit buah kasturi dapat dimanfaatkan sebagai penghasil zat warna alami yang dapat digunakan sebagai pewarna makanan, juga dapat dimanfaatkan sebagai antioksidan, antidiare dan antikanker. Penampilan buah kasturi yang berwarna ungu menunjukkan adanya pewarna alami yang terkandung didalamnya. Salah satu senyawa flavonoid yang terkandung dalam kulit buah kasturi adalah antosianin. [6]

### III. METODOLOGI PERCOBAAN

#### A. Material

Seluruh bahan kimia yang dipakai dari Merck, Jerman. Bahan dasar titanium adalah Titanium Klorida (15 wt%, 10 wt% HCl).  $\text{NH}_4\text{OH}$ , NaCl, HCl digunakan untuk sintesis. Sintesis yang dilakukan menggunakan metode kopresipitasi pada kondisi hidrotermal.

#### B. Pembuatan $\text{TiO}_2$ dengan Pemanasan

HCl (2 M) ditambahkan pada larutan  $\text{TiCl}_3$  (15 %) dan diaduk di atas pengaduk magnetik.  $\text{NH}_4\text{OH}$  ditambahkan pada larutan (pH 9) sehingga didapatkan presipitat ungu kehitaman. Suspensi terus diaduk sampai didapatkan presipitat putih dan didiamkan semalam. Endapan disaring, dicuci dan dipanaskan dalam furnace pada temperatur 1000°C (4, 7, 8 jam) dan 200°C (15 jam).

#### C. Pembuatan $\text{TiO}_2$ dengan Pengadukan

Larutan  $\text{TiCl}_3$  (15 %) ditambahkan dengan air destilasi dan diaduk di atas pengaduk magnetik dengan variasi waktu (25, 45, 65, dan 85 jam). Larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$  ditambahkan (pH 9), diaduk sampai presipitat ungu berubah menjadi putih dan didiamkan semalam. Endapan disaring, dicuci dan dikeringkan di oven dengan temperatur 200°C (6 jam).

#### D. Pembuatan $\text{TiO}_2$ dengan Penambahan NaCl

Larutan  $\text{TiCl}_3$  (0,15 M) ditambahkan dengan NaCl (1, 3, 5 M) yang diaduk di atas pengaduk magnetik. Larutan di oven pada temperatur 200°C (5 jam).  $\text{NH}_4\text{OH}$  (10 %) ditambahkan (pH 9), diaduk sampai presipitat ungu berubah menjadi putih dan didiamkan semalam. Endapan disaring, dicuci dan dikeringkan pada temperatur 200°C (6 jam).

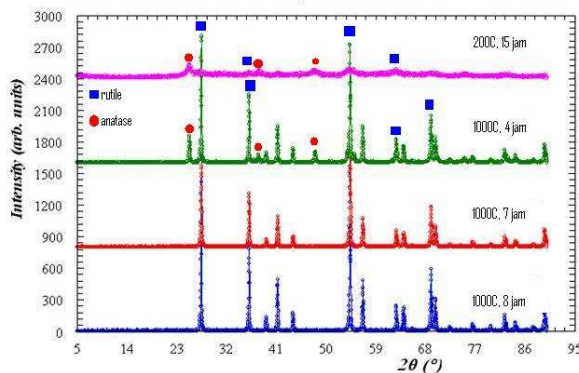
#### E. Karakterisasi

Serbuk titania dianalisis menggunakan SEM untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk. Morfologi partikel titania dilihat menggunakan TEM Tecnai G2 (Philips, 200-kV).

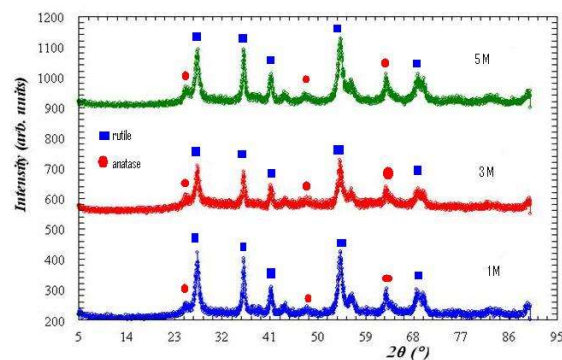
### IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Serbuk titania yang dihasilkan hanya mengandung dua fasa, anatase dan rutile. Gambar 1 memperlihatkan pola XRD dari titania yang diberi perlakuan pemanasan. Fasa anatase terbentuk pada temperatur (200-800°C) sedangkan rutile mulai tumbuh pada temperatur 900°C ke atas (Castro dkk, 2008). Pernyataan ini dikuatkan oleh Gambar 1. Dari gambar tersebut juga dapat dikatakan bahwa pembentukan fasa rutile bisa terjadi pada temperatur 200°C tetapi membutuhkan waktu yang sangat lama. Perlakuan pengadukan selama 65 jam telah dilakukan oleh Khaled dkk, 2006. Dari penelitian sebelumnya didapatkan titania fasa rutile. Hasil serupa didapatkan pada penelitian kali ini. Setelah dilakukan variasi waktu pengadukan diperoleh titania yang berbeda fasa. Pengadukan 25 jam menghasilkan fasa anatase dan semakin lama pengadukan menyebabkan fasa titania berubah menjadi rutile. Transformasi fasa terjadi pada waktu pengadukan 45 jam.

Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 2. Pada penambahan NaCl dengan menjaga keadaan pH akan memperoleh fasa yang berbeda. Fasa rutile terjadi ketika saat sintesis dijaga pada kondisi asam dengan pH 1-5, sedangkan saat kondisi basa (pH 11-14) diperoleh fasa anatase. Sehingga titania dua fasa diperoleh dengan kondisi pH 7-10 (X. Bae dkk, 2008). Pada penelitian ini pH saat sintesis adalah 9. Sehingga pembuatan titania dengan penambahan NaCl diperoleh dua fasa seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Transformasi fasa dapat diperoleh dengan memvariasi tiga faktor, yaitu temperatur, mekanik dan kimia (X. Bae dkk, 2008). Pada penelitian ini dilakukan variasi perlakuan, sehingga hasil yang diperoleh membuktikan pengaruh faktor-faktor tersebut. Keadaan ini menyatakan bahwa rutile adalah fasa yang stabil dibandingkan anatase (Castro dkk, 2008).



Gbr. 1 Pola XRD serbuk titania dengan pemanasan.



Gbr. 2 Pola XRD serbuk titania dengan pengadukan.

Seluruh pola XRD dianalisis menggunakan program Rietica dan MAUD. Ukuran kristal, komposisi fasa dan distribusi ukuran dapat dilihat pada Tabel 1. Distribusi ukuran kristal ada dua, monodispersif dan polidispersif. Monodispersif berarti ukuran kristal yang diperoleh seragam dan polidispersif berarti sebaliknya. Gambar 4 memperlihatkan pola distribusi ukuran Kristal fasa anatase pada pemanasan. Tabel 1 memperlihatkan sebagian besar ukuran kristal yang diperoleh berukuran kurang dari 50 nm. Titania yang diberi perlakuan pemanasan menghasilkan ukuran kristal lebih dari 100 nm, terutama pada pemanasan menggunakan temperatur 1000°C. Terjadinya perbesaran ukuran kristal ini dikarenakan adanya pertumbuhan kristal yang disebabkan temperatur tinggi.

*Gbr. 3 Pola XRD serbuk titania dengan penambahan NaCl*

.diambil secara random pada titik-titik tertentu arus dan tegangan tiap perubahan hambatan yang dilakukan. Data dicatat dan didapatkan grafik hubungan I-V.

## V. KESIMPULAN

TiO<sub>2</sub> nanopartikel berhasil disintesis dengan menggunakan metode kopresipitasi pada kondisi hidrotermal dari bahan dasar TiCl<sub>3</sub>. Fasa yang terbentuk adalah anatase dan rutil dalam ukuran kurang dari 6-186 nm. Morfologi yang diperoleh ada beberapa macam, yaitu tidak beraturan, batang, jarum dan ada yang persegi. Kenaikan temperatur, lamanya waktu pengadukan, dan pemberian NaCl serta penjagaan pH menyebabkan terjadinya transformasi fasa dan perubahan morfologi pada titania.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bae, Eunyoung, Naoya Murakami, Teruhisa Ohno, (2009) "Exposed Crystal Surface-Controlled TiO<sub>2</sub> Nanorods having Rutile Phase from TiCl<sub>3</sub> under Hydrothermal Condition", *Journal of Molecular Catalysis A : Chemical* 300 (72-79), Elsevier : Japan.
- [2] Bai, Xuelian., Bin Xie, Nan Pan, Xiaoping Wang, Haiqian Wang, (2008) "Novel Three-Dimensional Dandelion-Like TiO<sub>2</sub> Structure With High Photocatalytic Activity", *Journal of Solid State Chemistry* 181 (450-456), Elsevier: China.
- [3] Callister, Jr, William D. (2007) "Materials Science and Engineering An Introduction Seven Edition", John Wiley and Sons, Inc, United States of America.
- [4] Carp, O., C. L. Huisman, A. Reller, (2004) "Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide", *Progress in Solid State Chemistry* 32 (33-177), Elsevier : Germany.
- [5] Cassaignon, Sophie., Magali Koelsch, Jean-Pierre Jolivet, (2007) "From TiCl<sub>3</sub> to TiO<sub>2</sub> Nanoparticle (Anatase, Brookite and Rutile): Thermohydrolysis and Oxidation in Aqueous Medium", *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 68 (695-700), Elsevier : France.
- [6] Castro, A. L., M. R. Nunes, A. P. Carvalho, F. M. Costa, M. H. Florencio, (2008) "Synthesis of Anatase TiO<sub>2</sub> Nanoparticles with High Temperature Stability and Photocatalytic Activity", *Solid State Science* 10 (602-606), Elsevier : Portugal.
- [7] Chiang, Yet-Ming., Dunbar P. Birnie, W. David Kingery, (1997) "Physical Ceramics Principles for Ceramics Science and Engineering", John Wiley & Sons. Inc : Canada.
- [8] Gajovic, A., N. Tomasic, S. Music, "Nanostructured TiO<sub>2</sub>-Mechanochemical Preparation, Characterisation and Sintering" Croatia.
- [9] Kakiuchi, Keita., Eiji Hosono, Hiroaki Imai, Toshio Kimura, Shinobu Fujihara, (2006) "{111}-Faceting of

Low-Temperature Processed Rutile TiO<sub>2</sub> Rods", *Journal of Crystal Growth*, Elsevier : Japan.

- [10] Melghit, Khaled and Salma S. Al-Rabaniah, (2006) "Photodegradation of Congo Red under Sunlight Catalysed by Nanorod Rutile TiO<sub>2</sub>", *Journal Photochemistry and Photobiology A : Chemistry* 184(331-334), Elsevier : Oman.

Pedraza, Fransisco, Armando Vazquez, (1999) "Obtention of TiO<sub>2</sub> Rutile at Room Temperature Through Direct Oxidation of TiCl<sub>3</sub>", *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 60 (445-448), Elsevier : Mexico.