

EFEK PENAMBAHAN rGO PADA FOTOANODA TiO₂ TERHADAP PERFORMA SEL SURYA TERSENSITASI DYE

LUSI SAFRIANI*, RAHMADANI, AYUNITA CHINTIA CELLINE, SRI SURYANINGSIH, ANNISA APRILIA

*Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran,
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363
Telepon (022) 7796014*

Abstrak. Sel surya tersensitasi dye merupakan sel surya yang banyak menarik perhatian karena proses pembuatannya mudah dengan biaya fabrikasi yang rendah, namun efisiensi sel surya ini masih relatif rendah. Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sel surya tersensitasi dye, salah satunya adalah dengan menambahkan *reduced graphene oxide* (rGO) pada fotoanoda TiO₂ membentuk nanokomposit TiO₂-rGO. Metode pencampuran larutan digunakan untuk membuat nanokomposit TiO₂-rGO dari pasta TiO₂ dan serbuk rGO dengan konsentrasi 5wt% dalam etanol. Metode *screen printing* digunakan untuk membuat fotoanoda nanokomposit TiO₂-rGO. Sel surya tersensitasi dye dengan fotoanoda nanokomposit TiO₂-rGO menunjukkan rapat arus *short circuit* (J_{sc}) 6,68 mA cm⁻², tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) 0,65 V dan efisiensi konversi 3,11%; yang lebih tinggi dari sel surya dengan fotoanoda TiO₂ murni. Peningkatan efisiensi konversi terjadi karena rGO dapat mempermudah transport elektron dan mengurangi terjadinya proses rekombinasi pada interface antar lapisan.

Kata kunci: sel surya tersensitasi dye, fotoanoda, rGO, nanokomposit TiO₂-rGO.

Abstract. Dye-sensitized solar cells attract a lot of attention because of their simple manufacturing process and low fabrication costs, however the efficiency of this solar cell is still relatively low. Various efforts have been made to increase the efficiency of dye-sensitized solar cell by adding reduced graphene oxide (rGO) to TiO₂ photoanode formed TiO₂-rGO nanocomposite. Solution mixing method was used to prepare TiO₂-rGO nanocomposite using TiO₂ paste and 5wt% of rGO powder in ethanol. Screen printing method was used to fabricate TiO₂-rGO photoanode. The solar cells assembled with the photoanode consisting of nanocomposite TiO₂-rGO exhibited short-circuit current density (J_{sc}) of 6.68 mA cm⁻², open-circuit voltage (V_{oc}) of 0.65 V and conversion efficiency of 3.11%, which were higher than that of pure TiO₂. The increasing of efficiency due to rGO facilitate electron transport and reduce the recombination process at the material interface.

Keywords: dye sensitized solar cell, photoanode, rGO, TiO₂-rGO nanocomposite.

1. Pendahuluan

Salah satu sumber energi alternatif yang memiliki potensi pengembangan khususnya di Indonesia adalah sumber energi dari matahari. Energi yang berasal dari matahari diubah menjadi energi listrik melalui perangkat yang disebut dengan sel surya yang menghasilkan efek fotovoltaiik. Sel surya tersensitasi dye atau *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) merupakan salah satu jenis sel surya generasi ketiga yang bekerja berdasarkan prinsip fotosintesis. Dalam sel surya tersensitasi dye terdapat zat aktif (*dye*) yang berfungsi untuk menyerap foton dari sinar matahari pada daerah panjang gelombang ultraviolet dan cahaya tampak yang kemudian diubah menjadi energi listrik [1]. Sel surya tersensitasi dye pertama kali dikembangkan oleh Michael Gratzel dan O'Regan pada tahun 1991 [2]. Sel surya tersensitasi dye ini memiliki beberapa kelebihan yaitu biaya produksi yang murah, proses fabrikasi mudah, tidak beracun, dan memiliki tingkat pencemaran yang rendah [3]. Akan tetapi sel surya tersensitasi dye ini memiliki juga kekurangan seperti stabilitas yang rendah karena penggunaan elektrolit cair yang mudah mengalami degradasi atau kebocoran [4] serta efisiensi yang masih rendah dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon [5].

*email : lusi.safriani@phys.unpad.ac.id

Sel surya tersensitasi dye terdiri dari beberapa komponen yaitu fotoanoda, molekul dye yang merupakan material aktif untuk menyerap cahaya matahari, elektrolit dan elektoda lawan [6]. Fotoanoda merupakan komponen penting dari sel surya tersensitasi dye karena berfungsi untuk menyimpan dye serta mentransfer elektron [7]. Material berbasis oksida logam biner seperti TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , ZrO_2 , Nb_2O_5 , Al_2O_3 , dan CeO_2 adalah berbagai material yang telah diuji penggunaannya sebagai fotoanoda pada sel surya tersensitasi dye [8]. Diantara material tersebut, semikonduktor oksida TiO_2 menunjukkan potensi sebagai material fotoanoda karena menghasilkan efisiensi sel surya tersensitasi dye yang cukup baik. TiO_2 dalam ukuran nanopartikel memiliki kemampuan transfer elektron yang tinggi, stabilitas kimia baik, energi pengikat exciton besar (60 meV) serta struktur pita energi yang tepat untuk injeksi muatan dari dye [9]. Namun, struktur kristal TiO_2 tidak teratur dan mobilitas elektronnya rendah ($0.1\text{-}4\text{ cm}^2/\text{Vs}$) sehingga dapat menyebabkan adanya rekombinasi pada daerah interface dalam lapisan fotoanoda.

Material berbasis karbon telah digunakan dalam lapisan fotoanoda TiO_2 membentuk nanokomposit TiO_2 -rGO dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja sel surya tersensitasi dye [10]. Di antara berbagai bentuk dari material berbasis karbon tersebut, *graphene* dan material turunannya seperti *graphene oxide* (GO) dan *reduced graphene oxide* (rGO) menjadi pilihan karena memiliki sifat listrik dan struktur yang luar biasa [11]. Penggunaan nanokomposit TiO_2 -rGO sebagai fotoanoda pada sel surya tersensitasi dye telah meningkatkan efisiensi sel surya sebesar 30% dari sel surya tersensitasi dye dengan fotoanoda nanopartikel TiO_2 murni [12].

Nanokomposit TiO_2 -rGO sebagai fotoanoda dalam sel surya tersensitasi dye dapat dibuat melalui beberapa rute, yaitu dengan mencampurkan larutan GO/rGO dengan nanopartikel TiO_2 [13] ataupun dengan prekursor TiO_2 [14]. Dalam kajian ini, akan dilaporkan hasil pembuatan nanokomposit TiO_2 -rGO menggunakan pasta TiO_2 dan dispersi rGO sebagai fotoanoda sel surya tersensitasi dye.

2. Eksperimen

Pembuatan nanokomposit TiO_2 -rGO diawali dengan mendispersikan 1 ml pasta TiO_2 (Solaronix) dan 5 mg serbuk rGO (Graphenea) masing-masing dalam 1 ml etanol (Merck). Konsentrasi rGO terhadap pasta TiO_2 adalah 5wt%. Kedua larutan kemudian dicampurkan dan dikenakan proses sonifikasi menggunakan *ultrasonic bath* selama 2 jam pada suhu 70°C . Larutan TiO_2 -rGO selanjutnya dievaporasi untuk menghilangkan pelarut etanol sehingga diperoleh pasta TiO_2 -rGO yang kemudian digunakan sebagai lapisan fotoanoda dalam sel surya tersensitasi dye. Pembuatan fotoanoda dilakukan menggunakan teknik *screen printing* pada substrat FTO yang sebelumnya telah dibersihkan menggunakan etanol dan isopropanol. Lapisan TiO_2 -rGO kemudian disintering pada suhu 450°C selama 40 menit untuk menghasilkan kristal nanopartikel TiO_2 . Fotoanoda TiO_2 -rGO direndam dalam Ruthenium N719/dye-Ru (Solaronix) selama $\pm 12\text{-}15$ jam, selanjutnya diangkat dan dibilas dengan asetronitril (Merck) untuk menghilangkan sisa dye yang tidak menempel pada permukaan TiO_2 .

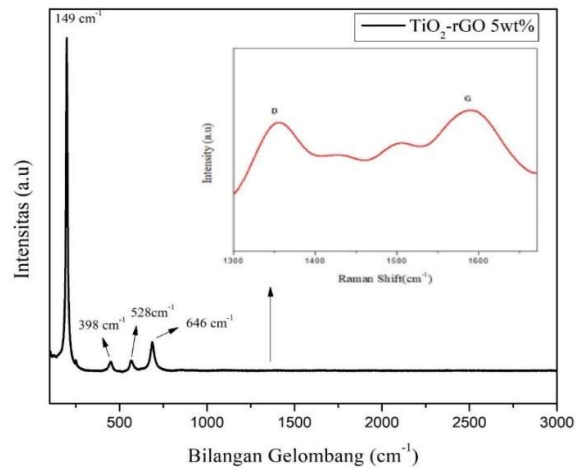
Perakitan perangkat sel surya tersensitasi dye dimulai dengan melapiskan *surlyn* untuk memisahkan lapisan fotoanoda dan elektroda lawan yaitu Platina (Pt) yang terdeposisi pada substrat FTO. Elektrolit *mosalyte* (Solaronix) kemudian diinjeksikan melalui lubang yang terdapat pada elektroda lawan lalu ditutup dengan perekat bening. Struktur DSSC yang dibuat adalah FTO/ TiO_2 -rGO/dye-Ru/*mosalyte*/Pt/FTO.

Pengukuran spektrum Raman dan UV-Vis dilakukan untuk mengetahui keberhasilan proses pembuatan nanokomposit TiO_2 -rGO dan sifat optiknya, sedangkan pengukuran XRD untuk menentukan struktur kristal TiO_2 . Pengukuran rapat arus-tegangan (J-V) dilakukan menggunakan

lampu dengan daya masukan 100 mW/cm² yang terintegrasi dengan Kalibrator LB02 dan multimeter digital (Yokogawa 7555).

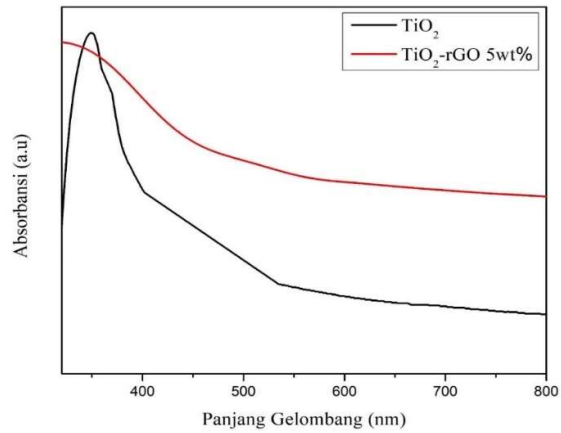
3. Hasil

Hasil pengukuran spektrum Raman TiO₂-rGO yang ditunjukkan dalam Gambar 1 memperlihatkan puncak yang muncul pada bilangan gelombang 145 cm⁻¹, 196 cm⁻¹, 395 cm⁻¹, 516 cm⁻¹, dan 637 cm⁻¹ bersesuaian dengan kristal TiO₂ pada fase anatase. TiO₂ dengan fase anatase memiliki *direct bandgap* yang diperlukan dalam proses transfer elektron dari dye ke elektroda (FTO). Keberadaan rGO dalam nanokomposit TiO₂-rGO ditandai dengan adanya puncak pada bilangan gelombang 1348 cm⁻¹ dan 1596 cm⁻¹ yang disebut sebagai pita D dan pita G. Pita D menunjukkan informasi cacat pada atom karbon sp³ dalam lapisan rGO sedangkan pita G menunjukkan informasi gerakan regangan ikatan pasangan karbon sp² pada cincin aromatik [15, 16].

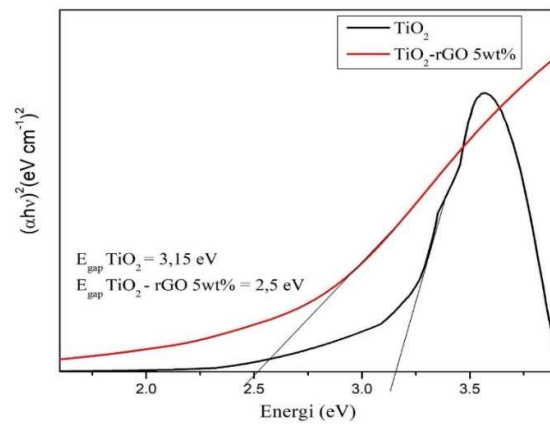


Gambar 1. Spektrum Raman nanokomposit TiO₂-rGO 5wt%.

Gambar 2 memperlihatkan spektrum UV-Vis TiO₂-rGO yang dibandingkan dengan spektrum UV-Vis TiO₂. Puncak absorbansi maksimum untuk kedua spektrum tersebut berada pada panjang gelombang sekitar 350 nm yang merupakan daerah absorbansi maksimum dari TiO₂. Penambahan rGO pada TiO₂ menunjukkan terjadinya kenaikan absorbansi pada rentang cahaya tampak yaitu pada daerah panjang gelombang 400-800 nm. Hasil ini sesuai dengan hasil yang diperlihatkan oleh kelompok peneliti lainnya [17]. Metode Tauc plot digunakan untuk menentukan energi *gap* baik sampel TiO₂ maupun TiO₂-rGO. Berdasarkan Tauc plot yang diperlihatkan pada Gambar 3, energi *gap* TiO₂ dan TiO₂-rGO masing-masing adalah 3,15 dan 2,5 eV. Penambahan rGO pada TiO₂ menunjukkan penurunan energi *gap* yang berkorelasi dengan semakin mudahnya transport elektron dalam lapisan TiO₂-rGO.

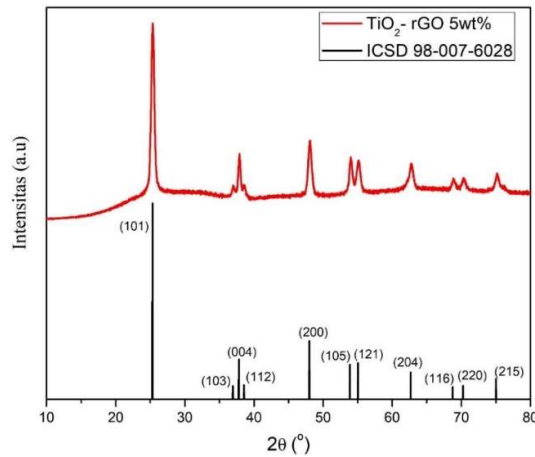


Gambar 2. Spektrum absorpsi UV-Vis TiO₂ dan nanokomposit TiO₂-rGO 5wt%.

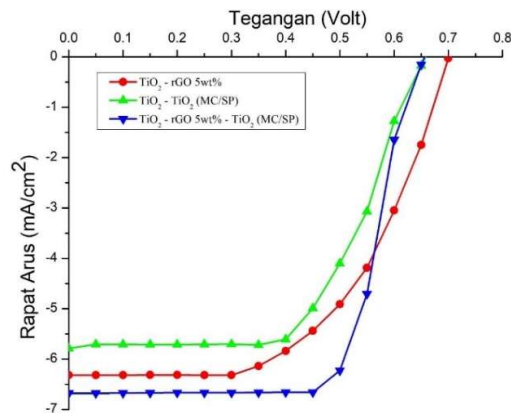


Gambar 3. Tauc plot dari spektrum absorpsi TiO₂ dan nanokomposit TiO₂-rGO 5wt%.

Hasil pengukuran XRD sampel TiO₂-rGO yang diperlihatkan pada Gambar 4, menunjukkan pola difraksi dengan intensitas maksimum berada pada 2θ sebesar $25,3^\circ$. Pola difraksi tersebut mengkonfirmasi telah terbentuknya kristal TiO₂ dengan fase anatase yang sesuai dengan data standar COD No. Ref. 00-901-5929. Hasil pengukuran XRD sejalan dengan hasil pengukuran spektrum Raman yang menunjukkan bahwa kristal TiO₂ memiliki fase anatase. Fase anatase merupakan fase metastabil dari TiO₂ yang cocok ketika TiO₂ digunakan dalam aplikasi sel surya tersensitasi dye sebagai fotoanoda. Hasil pengolahan data XRD menunjukkan bahwa kristal TiO₂ memiliki struktur tetragonal dengan ukuran kristal adalah 28,65 yang dihitung menggunakan Persamaan Debye Scherrer.



Gambar 4. Pola XRD nanokomposit TiO₂-rGO 5wt%.



Gambar 5. Kurva rapat arus (J) – tegangan (V) sel surya tersensitasi dye dengan fotoanoda TiO₂-TiO₂ (MC/SP), TiO₂-rGO 5wt% dan TiO₂-rGO 5wt%/TiO₂ (MC/SP).

Dalam sel surya tersensitasi dye, fotonoda terdiri dari lapisan TiO₂ mesopori dan lapisan TiO₂ dalam bentuk *micro-channel* (TiO₂ MC/SP) yang berfungsi sebagai *light scattering layer* untuk memperpanjang lintasan cahaya dalam fotonoda. Dalam penelitian ini dilakukan pula pengukuran arus-tegangan pada sel surya tersensitasi dye dengan penambahan lapisan TiO₂ (MC/SP) baik pada fotonoda TiO₂ maupun pada fotonoda TiO₂-rGO. Gambar 5 menunjukkan kurva karakteristik J-V sel surya tersensitasi dye dengan struktur divais FTO/fotonoda/Ru-dye/mosalyte/Pt/FTO dan fotonoda yaitu TiO₂-TiO₂ (MC/SP), TiO₂-rGO dan TiO₂-rGO/TiO₂ (MC/SP). Kurva karakteristik J-V digunakan untuk menentukan parameter divais yaitu J_{sc}, V_{oc}, FF, serta efisiensi dan ditampilkan pada Tabel 1. Nilai V_{oc} dan FF yang diperoleh mendekati nilai V_{oc} dan FF dari penelitian yang dilakukan oleh Ramamoorthy dkk [12]. Akan tetapi nilai arus foto masih kecil yang menyebabkan nilai efisiensi berbeda cukup jauh. Perbedaan tersebut dapat disebabkan beberapa faktor seperti perbedaan karakteristik fotonoda yang dihasilkan atau perbedaan ketebalan fotonoda yang mempengaruhi efisiensi konversi energi. Efisiensi dari sel surya tersensitasi dye dengan fotonoda TiO₂/TiO₂ (MC/SP) adalah 2,25% dan meningkat ketika rGO ditambahkan pada lapisan TiO₂ menjadi 2,46%. Penambahan lapisan TiO₂ (MC/SP) membentuk fotonoda TiO₂-rGO/TiO₂ (MC/SP) meningkatkan efisiensi menjadi 3,11% atau bertambah sebesar 28% dibandingkan dengan fotonoda tanpa rGO dan TiO₂ (MC/SP). Parameter divais yang memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi ini berasal dari arus foto (J_{sc}) yang meningkat dengan adanya

rGO dan lapisan TiO₂ (MC/SP). Hal ini menunjukkan bahwa rGO mempermudah transport elektron seperti juga diperlihatkan dari energi *gap* yang menurun dengan penambahan rGO. Di sisi lain, lapisan TiO₂ (MC/SP) juga memberikan kontribusi dalam peningkatan foton yang diserap oleh lapisan fotoanoda

Tabel 1. Parameter divais sel surya tersensitasi dye dengan fotoanoda TiO₂-TiO₂ (MC/SP), TiO₂-rGO 5wt% dan TiO₂-rGO 5wt%/TiO₂ (MC/SP).

Fotoanoda	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc}	FF (%)	η (%)
TiO ₂ -TiO ₂ (MC/SP)	5,74	0,66	59,30	2,25
TiO ₂ -rGO 5wt%	6,32	0,75	51,81	2,46
TiO ₂ -rGO 5wt%/TiO ₂ (MC/SP)	6,68	0,65	71,72	3,11

4. Kesimpulan

Nanokomposit TiO₂-rGO telah berhasil disintesis dari material awal pasta TiO₂ dan serbuk rGO dalam pelarut etanol. Berdasarkan hasil pengukuran arus-tegangan, penambahan rGO dan lapisan TiO₂ (MC/SP) telah meningkatkan efisiensi sel surya sebesar 28% dari efisiensi sel surya dengan TiO₂ murni sebagai fotoanoda. Adanya rGO pada TiO₂ berkontribusi pada peningkatan arus foto sehingga transfer elektron menjadi lebih mudah selama proses penyinaran serta menekan terjadinya proses rekombinasi pada interface antar lapisan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Direktorat Riset, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (DRPMI) Universitas Padjadjaran atas dukungan dana melalui Hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) dengan nomor kontrak 1827/UN6.3.1/LT/2020 tanggal 12 Mei 2020.

Daftar Pustaka

- [1] A. Ali Umar, S. Nafisah, S. K. Md Saad, S. Tee Tan, A. Balouch, M. Mat Salleh, M. Oyama, *Poriferous Microtablet of Anatase TiO₂ growth on an ITO Surface for High-Efficiency Dye-Sensitized Solar Cells*, Solar Energy Materials and Solar Cells. 122 (2014) 174-182.
- [2] B. O'Regan and M. Grätzel, *A Low-cost, High-Efficiency Solar Cell based on Dye-Sensitized Colloidal TiO₂ Films*, Nature 353 (1991) 737-739.
- [3] N. Mariotti, M. Bonomo, L. Fagiolari, N. Barbero, C. Gerbaldi, F. Bella and C. Barolo, *Recent Advances in Eco-Friendly and Cost-Effective Materials towards Sustainable Dye-Sensitized Solar Cells*, Green Chem. 22 (2020) 7168-7218.
- [4] Ru-Yuan Yang, Huang-Yu Chen, and Fu-Der Lai, *Performance Degradation of Dye-Sensitized Solar Cells Induced by Electrolytes*, Advances in Materials Science and Engineering 2012 (2012) 902146.
- [5] A. Blakers, N. Zina, K. R. McIntosh, K. Fong, *High Efficiency Silicon Solar Cells*, Energy Procedia 33 (2013) 1-10.
- [6] K.A. Kumar, K. Subalakshmi, J. Senthilselvan, *Effect of Co-Sensitization in Solar Exfoliated TiO₂ Functionalized rGO Photoanode for Dye-Sensitized Solar Cell Applications*, Material Science Semiconductor. Process. 96 (2019) 104-115.
- [7] Lu-Ting Yan, Fang-Lue Wu, Lan Peng, Li-Juan Zhang, Pu-Jun Li, Sui-Yang Dou, and Tian-Xiang Li, *Photoanode of Dye-Sensitized Solar Cells Based on a ZnO/TiO₂ Composite Film*, International Journal of Photoenergy 2012 (2012) 613969.
- [8] R. Jose, V. Thavasi, and S. Ramakrishna, *Metal Oxides for Dye-Sensitized Solar Cells*, J. Am. Ceram. Soc. (2009) 92 [2] 289-301.

- [9] X. Wang, Z. Li, J. Shi, and Y. Yu, *One-Dimensional Titanium Dioxide Nanomaterials: Nanowires, Nanorods, and Nanobelts*, Chem. Rev. 114 (2014) 9346-9384.
- [10] X. Guo, G. Lu and J. Chen, *Graphene-Based Materials for Photoanodes in Dye-Sensitized Solar Cells*, Frontiers in Energy Research 3 (2015) 50.
- [11] K. Surana, S. Konwar, P. K. Singh, B. Bhattacharya, *Utilizing Reduced Graphene Oxide for Achieving Better Efficient Dye Sensitized Solar Cells*, Journal of Alloys and Compounds 788 (2019) 672-676.
- [12] R. Ramamoorthy, V. Eswaramoorthi, M. Sundararajan, M. Boobalan, A. D. Sivagami, R. Victor Williams, *Reduced Graphene Oxide Modified Titania Photoanodes for Fabrication of The Efficient Dye-Sensitized Solar Cell*, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 30, (2019) 12966-12980.
- [13] S. Z. Siddick, C. W. Lai, J. C. Juan and S. B. Hamid, *Reduced Graphene Oxide–Titania Nanocomposite Film for Improving Dye-Sensitized Solar Cell (DSSCs) Performance*, Current Nanoscience, 2017, 13, 494-500.
- [14] H. Dinga, S. Zhang, J. T. Chen, X. P. Hud, Z. F. Du, Y. X. Qiu, D. L. Zhao, *Reduction of Graphene Oxide at Room Temperature with Vitamin C for RGO–TiO₂ Photoanodes in Dye-Sensitized Solar Cell*, Thin Solid Films 584 (2015) 29-36.
- [15] N.M.S. Hidayah, W.W. Liu, C.W. Lai, N.Z. Noriman, C.S. Khe, U. Hashim, H.C. Lee, *Comparison on Graphite, Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide: Synthesis and Characterization*, AIP Conference Proceedings 1892 (2017) 150002.
- [16] F. Hardcastle, *Raman Spectroscopy of Titania (TiO₂) Nanotubular Water Splitting Catalysts*, Journal of Arkansa Academy of Science. 65 (2011) 9.
- [17] S.A. Kazmi, S. Hameed, A.S. Ahmed, M. Arshad, A. Azam, *Electrical and Optical Properties of Graphene-TiO₂ Nanocomposite and its Applications in Dye Sensitized Solar Cells (DSSC)*, Journal Alloys Compound. 691 (2017) 659–665.