

Analisa Pengaruh Komposisi *Graphene*- TiO₂ terhadap Unjuk Kerja *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Indera C. Pradana, dan Diah Susanti

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: santiche@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Saat ini, 89,5% pembangkit tenaga listrik di Indonesia menggunakan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif dengan memanfaatkan energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik menggunakan *dye-sensitized solar cell*. Material semikonduktor pada fotoelektroda DSSC penelitian ini terdiri dari komposit TiO₂ dengan *graphene*. *Graphene* yang dikompositkan merupakan hasil sintesis dengan metode modifikasi Hummer sebagai salah satu komponennya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi 0; 5; 10 dan 15% wt *graphene* pada komposit *graphene*- TiO₂ yang terbaik untuk didapatkan efisiensi unjuk kerja yang maksimal. Pada penelitian ini, digunakan *dye* dari ekstrak bunga Geranium (*Geranium sylvaticum*). Unjuk kerja DSSC pada penelitian ini didasarkan pada efisiensi dan *fill factor* DSSC. Efisiensi dan *Fill Factor* terbaik didapatkan pada komposisi 10% wt *graphene* pada komposit *graphene*- TiO₂ dengan nilai efisiensi sebesar 0,00532% dan *fill factor* sebesar 0,69 (69%).

Kata Kunci—*Dye-sensitized solar cell*, *graphene*, komposit, TiO₂, unjuk kerja.

I. PENDAHULUAN

Saat ini, 89,5% pembangkit tenaga listrik di Indonesia menggunakan energi fosil. Pada tahun 2012 diperkirakan produksi energi listrik di Indonesia mencapai 192,590 GWh, di mana 172,360 GWh listrik yang diproduksi menggunakan energi fosil. Dampak penggunaan energi fosil salah satunya adalah menghasilkan emisi gas buang yang besar [1]. Atas dasar tersebutlah, berbagai energi alternative yang terbarukan dan lebih ramah lingkungan dikembangkan. Indonesia, sebagai negara yang beriklim tropis, salah satu energi alternatif yang mempunyai potensi adalah sinar matahari. Untuk dapat memanfaatkan energi dari cahaya matahari tersebut, maka diperlukan suatu alat pengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik yang disebut sebagai sel surya. Sayangnya, jenis sel surya yang banyak ditemui di sekitar kita, memiliki beberapa keterbatasan di antaranya: memerlukan material dengan kemurnian tinggi dan material yang digunakan berbahaya untuk lingkungan. Atas dasar itulah kemudian dikembangkan jenis sel surya baru yang dinamakan

sebagai *dye-sensitized solar cell* (DSSC). Prinsip kerja dari DSSC antara lain absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye* dan separasi muatan oleh inorganik semikonduktor nanokristal yang mempunyai *bandgap* lebar, salah satunya adalah TiO₂. TiO₂ banyak digunakan karena memiliki struktur *porous* yang dapat meningkatkan penyerapan *dye* dan meningkatkan efisiensi DSSC. Namun, struktur yang *porous* tersebut juga menyebabkan transfer muatan antar partikel TiO₂ dapat terhambat karena proses transfernya terjadi secara acak dan *hopping* [2]. Oleh karena itu, pada penelitian ini, TiO₂ dikompositkan dengan *graphene*, agar rekombinasi antar electron dan *dye* atau partikel dari elektrolit yang teroksidasi, yang menghalangi transport elektron sehingga menurunkan efisiensi DSSC, sebagai akibat dari fenomena yang telah dijelaskan di atas dapat teratasi.

II. METODE PENELITIAN

A. Sintesis *Graphene*

Sintesis *graphene* diawali dengan proses *stirring* terhadap 2g serbuk grafit (ukuran 150 μm , kemurnian 99%) dalam 80 ml H₂SO₄ 98% selama 4 jam yang diikuti dengan penambahan 8g KMnO₄ dan 4g NaNO₃ secara bertahap setelah *stirring* berjalan selama 1 jam. Hasil dari proses tersebut adalah berupa larutan hitam kehijauan selama proses penambahan. Selama proses *stirring*, larutan tersebut temperaturnya dijaga dibawah 20°C menggunakan *ice bath*.

Setelah 4 jam *stirring*, larutan dipindahkan dari *ice bath*, lalu *stirring* dilanjutkan selama 24 jam dan temperatur dijaga tetap berada pada 35°C sehingga menghasilkan larutan berwarna coklat. Larutan coklat tersebut selanjutnya ditambahkan 20 ml H₂O₂ 30%, sehingga larutan berubah warna dari coklat tua menjadi kuning cerah. Larutan kuning cerah tersebut kemudian dipisahkan endapan dan cairan dengan proses *centrifuging* selama 1 jam dengan kecepatan 3000 rpm sehingga terbentuk gel dalam larutan yang terpisah dengan pelarutnya. Endapan tersebut kemudian dipisahkan, untuk dilakukan pencucian pertama menggunakan HCl 5%, yang terus dilakukan hingga pH endapan tersebut netral (pH=7) dan tidak ada ion sulfat didalamnya. Yang perlu menjadi catatan di sini adalah, pada pencucian kedua sampai pH netral dan tidak ada ion sulfat di dalamnya, pencucian yang dilakukan hanya menggunakan air suling. Untuk mendeteksi

pH digunakan kertas lakmus pH, sedangkan untuk mendeteksi keberadaan ion sulfat (SO_4^-) digunakan metode titrasi dengan BaCl_2 1M.

Setelah pH mencapai netral dan titrasi dengan BaCl_2 tidak menghasilkan endapan sulfat, selanjutnya dilakukan proses *drying* terhadap *gel* grafit oksida tersebut dalam sebuah *muffle furnace* dengan temperatur 110°C selama 12 jam, sehingga didapatkan lembaran grafit oksida yang tipis dan berwarna kehitaman yang kemudian dilarutkan sebanyak 40 mg dalam 40 ml air suling menggunakan *magnetic stirrer* hingga didapatkan larutan grafit oksida yang homogen. Larutan grafit oksida tersebut kemudian diultrasonikasi selama 90 menit sehingga didapatkan larutan *graphene* oksida. Setelah itu, 10 ml larutan HCl 35% ditambahkan pada larutan *graphene* oksida tersebut dalam kondisi *non-stirring*. Selanjutnya, sebanyak 1,6 g serbuk Zink (Zn) ditambahkan agar terjadi proses reduksi. Pada proses reduksi tersebut akan terbentuk letupan- letupan kecil gelembung pada permukaan larutan yang disertai dengan peningkatan temperatur. Fenomena tersebut menandakan bahwa proses reduksi telah berjalan. Apabila reaksi reduksi tersebut telah selesai, yang ditandai dengan hilangnya gelembung- gelembung kecil pada larutan, dilakukan proses *stirring* 30 menit untuk homogenisasi larutan. Setelah itu, dilakukan penambahan HCl (35%) untuk kedua kalinya sebanyak 10 ml yang bertujuan untuk menghilangkan sisa Zn yang masih ada di larutan. Proses penambahan HCl tersebut menghasilkan endapan hitam yang selanjutnya dilakukan pencucian pertama menggunakan HCl 5%. Pencucian kedua dan seterusnya, hingga pH larutan *graphene* oksida netral (pH=7) dilakukan dengan air suling.

Setelah pH mencapai netral, endapan *graphene* oksida dimasukkan ke dalam autoclave untuk dilakukan proses hidrotermal dalam sebuah *muffle furnace* dengan temperatur hidrotermal 160°C selama 12 jam sehingga didapatkan lembaran atau serpihan *graphene* berwarna hitam.

B. Fabrikasi Lapisan Komposit *Graphene-TiO₂*

Serbuk TiO_2 P-25 seberat 3,5g dengan berbagai fraksi massa *graphene* (0wt %, 5wt %, 10wt % and 15wt %), dan PEG-400 sebanyak 15 ml dicampur menggunakan *magnetic stirrer* sampai merata. Selanjutnya, pasta TiO_2 di-*spin coating* pada substrat kaca FTO dengan kecepatan 2000 rpm selama 30 detik sehingga terbentuk lapisan TiO_2 - *graphene*

Lapisan yang terbentuk tersebut kemudian di kalsinasi dalam sebuah *muffle furnace* pada temperatur 450°C selama satu jam. Setelah itu, lapisan elektroda tersebut dicelupkan pada larutan *dye* selama 1 hari (24 jam).

C. Preparasi Larutan *Dye*

Larutan *dye* dibuat menggunakan ekstrak bunga geranium (*Geranium sylvaticum*), ekstrak daging bawang merah (*Allium ascalonicum*), bunga pohon kayuputih (*Melaleuca leucadendron*), daun pohon pucuk merah (*Oleina Syzygium*) dan daun sirih merah (*Piper crocatum*) dengan konsentrasi 0,52 g/mL. Bahan *dye* yang digunakan sebanyak 13 gr dan pelarut sebanyak 50 ml yang meliputi 21 ml ethanol, 4 ml asam asetat (CH_3COOH), dan 25 ml aquades.

Ekstrak dibuat dengan menghaluskan bunga geranium (*Geranium sylvaticum*), ekstrak daging bawang merah (*Allium ascalonicum*), bunga pohon kayuputih (*Melaleuca leucadendron*), daun pohon pucuk merah (*Oleina Syzygium*) dan daun sirih merah (*Piper crocatum*) menggunakan *blender*. Setelah halus, masing-masing ditambahkan 21 ml ethanol, 4 ml asam asetat (CH_3COOH), dan 25 ml aquades lalu diaduk sampai rata. Kemudian diamkan selama 24 jam untuk mendapatkan hasil ekstraksi yang maksimal. Setelah didiamkan selama 24 jam, lalu disaring dengan menggunakan kassa steril untuk mendapatkan larutan *dye*-nya.

D. Preparasi Larutan Elektrolit DSSC

Larutan elektrolit DSSC dibuat dengan melarutkan campuran antara 0,8 g KI 0,5 M (*Pottassium Iodide*) ke dalam larutan polietilena glikol (PEG) 400 sebanyak 10 ml, kemudian diaduk secara merata. Selanjutnya, ditambahkan 0,127 g I_2 (*Iodine*) ke dalam larutan tersebut sampai ketiga bahan tersebut terlarut dengan sempurna.

E. Sensitisasi Lapisan Komposit *Graphene-TiO₂*

Sensitisasi terhadap *layer* oksida dilakukan dengan mencelupkan lapisan fotoelektroda *Fluorine Tin-doped Oxide* (FTO) yang telah dilapisi dengan *layer* TiO_2 dan TiO_2 -*graphene* yang telah dikalsinasi ke dalam larutan *dye*. Selanjutnya, kaca FTO diletakkan dengan posisi *layer* oksida menghadap ke atas. Lalu didiamkan selama 24 jam sehingga larutan *dye* menyerap sempurna ke dalam *layer* oksida. Setelah didiamkan di dalam larutan *dye* tersebut, *layer* FTO dibilas dengan aquades dan *ethanol* dan dikeringkan dengan kertas *tissue*.

F. Preparasi Counter Katalis Elektroda

Pada penelitian ini, digunakan *counter* katalis elektroda berupa kaca FTO yang telah di-*sputter* dengan lapisan Pd/Au menggunakan mesin *coating Quantachrome* untuk didapatkan penyebaran yang merata dari *coating* Pd/Au pada kaca *Fluorine Tin-doped Oxide* (FTO) yang konduktif selama 90 menit.

G. Perakitan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC)

Pada penelitian ini, perakitan *Dye Sensitized Solar* dilakukan sebagai berikut:

1. Kaca FTO dengan *layer graphene-TiO₂* yang telah disensitasi dan sebuah *counter* elektroda Pd/Au ditumpuk dengan permukaan yang saling berhadapan. Kemudian, kaca FTO disusun membentuk sebuah struktur *sandwich*
2. Diberikan *offset* pada bagian ujung dari masing-masing elektroda sebesar 0,5 cm untuk kontak elektrik.
3. Kedua bagian pinggir sel *Dye Sensitized Solar Cell* yang tidak diberi *offset* dijepit dengan penjepit kertas.
4. Kemudian ditetaskan 2 – 3 tetes larutan elektrolit triiodide dari kedua ujung *offset prototipe Dye Sensitized Solar Cell*. Pastikan larutan elektrolit menyerap sempurna ke seluruh *layer* oksida.

5. *Dye Sensitized Solar Cell* sudah siap untuk diuji kelistrikkannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian UV-Vis

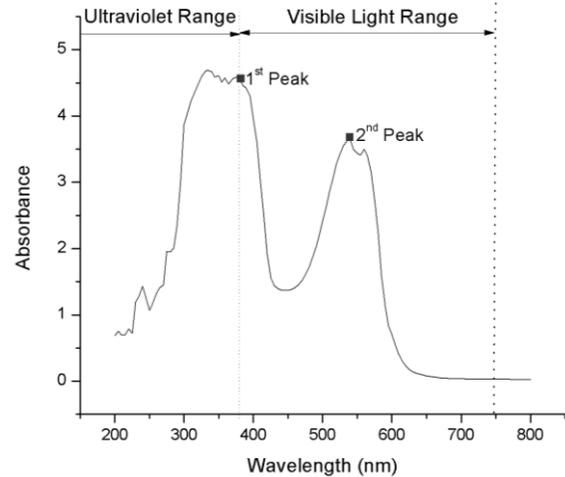
Spektrofotometri UV Vis dilakukan menggunakan *Thermo Genesys 10S UV-Vis Spectrometer* terhadap *dye* dengan tujuan untuk mengetahui absorbansinya terhadap cahaya. Sampel uji yang digunakan pada pengujian ini berupa beberapa kandidat larutan *dye* yang terbuat dari ekstrak bunga geranium (*Geranium sylvaticum*), ekstrak daging bawang merah (*Allium ascalonicum*), bunga pohon kayuputih (*Melaleuca leucadendron*), daun pohon pucuk merah (*Oleina Syzygium*) dan daun sirih merah (*Piper crocatum*).

Salah satu pertimbangan utama dalam pemilihan *dye* yang optimal, adalah bagaimana kemampuan absorpsi *dye* tersebut terhadap cahaya. Cahaya yang dipertimbangkan untuk memenuhi kriteria *dye* yang baik merupakan cahaya yang memiliki spektrum cahaya tampak (rentang panjang gelombang cahaya 380- 700 nm).

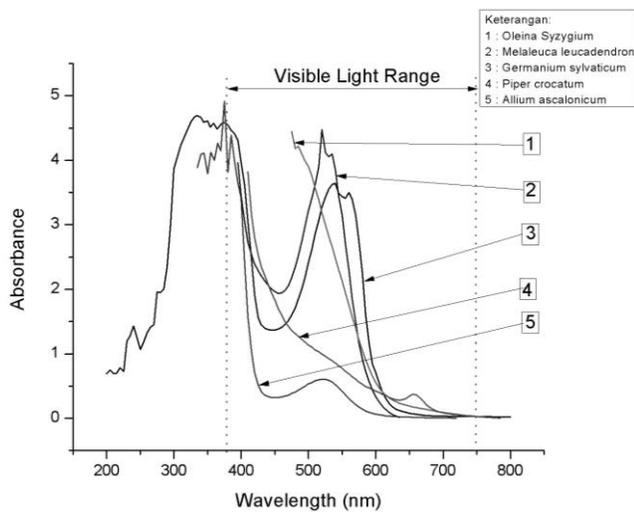
Dari pengukuran spektrofotometri yang dilakukan, didapatkan data berupa panjang gelombang cahaya

dengan kandidat *dye* yang lainnya.

Selain memiliki intensitas yang tertinggi, *dye* dari ekstrak bunga geranium juga memiliki kelebihan yang tidak dimiliki oleh kandidat *dye* yang lain, yaitu memiliki puncak absorbansi kedua yang intensitasnya relatif tinggi. Yang dimaksud dengan puncak absorbansi kedua merupakan puncak yang intensitasnya lebih rendah dibandingkan dengan puncak



Gambar 2. Spektrum absorbansi UV- Vis *dye* ekstrak bunga Geranium



Gambar 1. Grafik Absorbansi Untuk Berbagai Kandidat *Dye*

Tabel 2. Panjang gelombang dan absorbansipuncak spektrum UV-Vis untuk berbagai kandidat *dye*

Panjang Gelombang	Absorbansi	Spektrum
335	4.691	Ultraviolet
540	3.638	Hijau

(*wavelength*) yang dapat diabsorpsi (dalam skala nm), dan intensitas absorbansinya. Data hasil pengujian absorbansi UV-Vis antara lain sebagai berikut:

Dari data di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa pada rentang panjang gelombang tampak, *dye* dari bunga Geranium memiliki absorbansi tertinggi dengan intensitas sebesar 4,5455 pada panjang gelombang 380 nm. Intensitas yang relatif tinggi dibandingkan dengan kandidat *dye* lainnya menandakan bahwa *dye* dari ekstrak bunga geranium memiliki kemampuan untuk menyerap cahaya matahari yang paling baik dibandingkan

Tabel 1. Panjang gelombang dan absorbansipuncak spektrum UV-Vis untuk berbagai kandidat *dye*

Dye	Puncak (Rentang Cahaya Tampak)		Spektrum Warna
	Wavelength (nm)	Absorbance	
Geranium (<i>Geranium sylvaticum</i>)	380	4,5455	Ungu
Bawang Merah (<i>Allium ascalonicum</i>)	385	4,390	Ungu
Bunga Kayuputih (<i>Melaleuca leucadendron</i>)	520	4,479	Kuning
Daun Pucuk Merah (<i>Oleina Syzygium</i>)	475	4,450	Biru
Daun Sirih Merah (<i>Piper crocatum</i>)	410	3,821	Merah

berintensitas tertinggi, yang berada dalam rentang spektrum cahaya tampak. Adapun secara rinci, spektrum *dye* dari bunga geranium dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

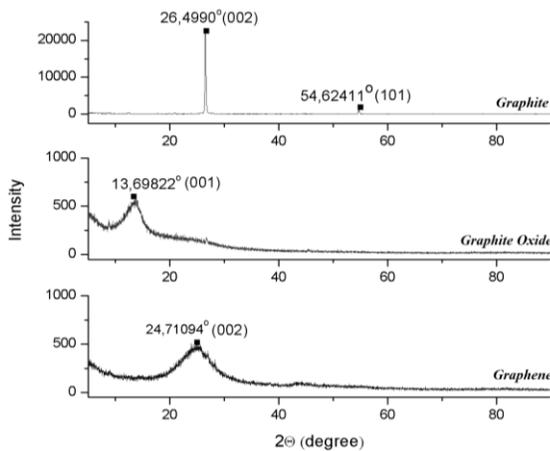
Pengaruh dari adanya rentang kedua yang relatif tinggi pada *dye* dari ekstrak bunga geranium tersebut adalah semakin banyak spektrum warna pada cahaya yang terabsorpsi oleh *dye*. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan *dye* dari ekstrak dari bunga geranium.

Nilai absorbansi *dye* geranium diatas lebih tinggi dibandingkan dengan yang telah dilakukan oleh Nafi [3]

Prasetya [4], dan Nadeak [5]. Nafi (2013) melaporkan bahwa dye dari ekstrak daging terung belanda (*Solanum betaceum*) memiliki absorbansi sebesar 3,720 pada *wavelength* 495 nm. Prasetya (2012) melaporkan bahwa dye dari ekstrak daging terung belanda (*Solanum betaceum*) memiliki absorbansi sebesar 4,036 pada *wavelength* 499 nm. Nadeak (2012) melaporkan bahwa dye dari ekstrak buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) memiliki absorbansi sebesar 3,300 pada *wavelength* 538 nm.

B. Hasil X-ray Diffractometry (XRD)

X-ray diffractometry (XRD) dilakukan untuk mengamati struktur dan fasa yang terbentuk pada grafit, grafit oksida dan *graphene* serta mengamati struktur yang dihasilkan pada permukaan DSSC. Pada penelitian ini, pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan X-ray Diffractometer Philips Analytical. Pengamatan menggunakan XRD dilakukan pada



Gambar 3. Hasil XRD untuk Grafit, Grafit Oksida, dan *Graphene*.

Tabel 3. Data puncak tertinggi untuk material grafit, grafit oksida, dan *graphene*

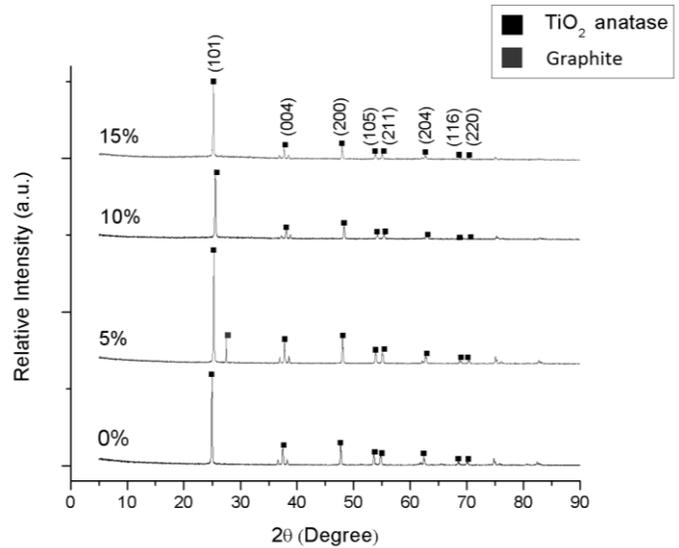
Sampel	2θ (°)	FWHM	d-spacing (Å)
Grafit	26,4866	0,1004	3,36527
Grafit Oksida	13,6600	2,2059	7,41680
Graphene	25,6505	0,4015	3,47302

sudut $2\theta = 5^\circ - 90^\circ$ dengan λ Cu-K α 1,54060 Å. Hasil XRD dari grafit, grafit oksida, dan *graphene* dapat dibandingkan pada gambar berikut:

Dari gambar 3 dapat dilihat untuk material grafit, hasil difraksinya tertinggi terdapat pada $2\theta = 26,4866^\circ$ dengan d-spacing sebesar 3,36527 Å, puncak tersebut apabila grafit telah teroksidasi seluruhnya menjadi grafit oksida tidak tampak kembali dan muncul puncak baru pada $2\theta = 13,66^\circ$ yang memiliki d-spacing = 7,4168 Å. Dengan d-spacing grafit oksida yang lebih lebar daripada grafit, dapat ditunjukkan adanya gugus-gugus fungsi oksigen dalam grafit oksida yang teridentifikasi pada puncak $2\theta = 13,66^\circ$ dengan d-spacing = 7,4168 Å. Puncak grafit oksida tersebut berubah lagi dengan tereduksi dan terkelupasnya lapisan-lapisan grafit oksida menjadi *graphene*. Puncak material *graphene* teridentifikasi pada puncak $2\theta = 25,65$ dengan d-spacing = 3,473Å. Nilai d-spacing yang lebih kecil dibanding grafit oksida menunjukkan bahwa grafit oksida telah tereduksi menjadi *graphene*. Selain itu nilai

d-spacing *graphene* yang lebih besar daripada grafit mengindikasikan bahwa telah terjadi pengelupasan lapisan grafit. [6]

Pengujian XRD pada DSSC dilakukan dengan menggunakan sampel lapisan Titanium Dioksida (TiO₂) dan TiO₂ dengan komposisi *graphene* 5; 10; 15% yang telah terdposisi di kaca konduktif FTO. Pengujian terhadap DSSC



Gambar 4. Hasil XRD untuk TiO₂- 0% Graphene, 5% Graphene, 10% Graphene, 15% Graphene.

dimaksudkan untuk mengamati fasa dan struktur yang terbentuk pada elektroda kerja DSSC yang terdiri dari material semikonduktor TiO₂ yang dikompositkan dengan berbagai variasi persentase *graphene*. Hasil pengujian XRD untuk berbagai variasi antara lain sebagai berikut:

Dari gambar di atas dapat diamati pada variasi 0%, fasa TiO₂ yang terbentuk adalah fasa anatase. Fasa anatase dapat diketahui dengan mencocokkan data yang didapat menggunakan standar ICDD nomor 01-070-7348. Penggunaan TiO₂ nanopartikel fase anatase pada DSSC sangat potensial untuk mencapai efisiensi lebih tinggi dalam mengubah cahaya menjadi listrik karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. Fotokatalisis adalah suatu proses yang dibantu oleh adanya cahaya dan material katalis [7].

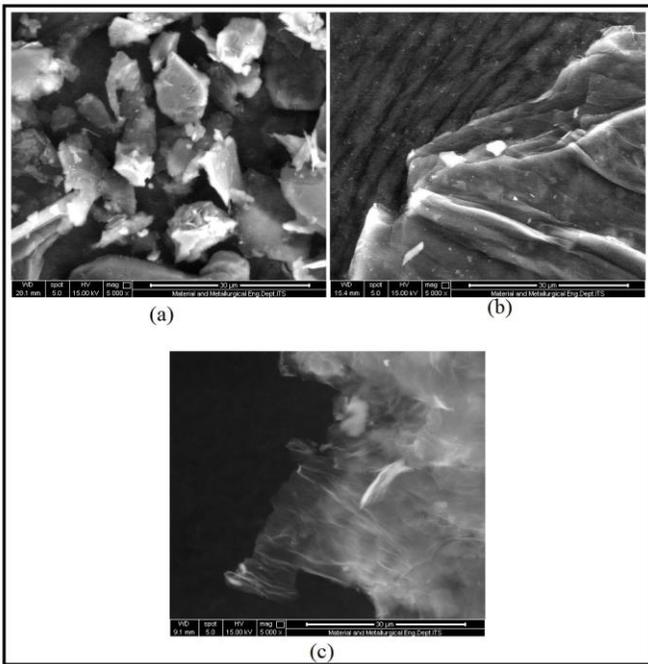
Yang perlu menjadi catatan di sini adalah antara 0%, 10%, 15% tidak ada perbedaan signifikan pada data XRD-nya. Perbedaan seharusnya timbul karena pada 10% dan 15% terdapat penambahan *graphene* yang seharusnya berdampak pada munculnya puncak difraksi *graphene* pada data XRD. Namun, fenomena tersebut tidak terjadi, karena salah satunya karena material *graphene* dalam campuran TiO₂-*graphene* kristalinitasnya lebih rendah dengan kristalinitas TiO₂, karena *graphene* bersifat *amorf* (tidak memiliki struktur kristal), sehingga ketika didifraksi dengan sinar-x, tidak memunculkan puncak pada data difraksi XRD sebagaimana yang telah dilaporkan oleh N.R. Khalid, dkk. [8] pada kompositisasi *graphene* dengan TiO₂, puncak *graphene* pada XRD dapat tidak muncul karena karakteristik puncak *graphene* pada posisi 25,9° yang memiliki intensitas yang relatif lemah dan mengalami *overlap* dengan puncak TiO₂ anatase pada 25,4°

yang memiliki intensitas jauh lebih tinggi daripada puncak *graphene* tersebut.

Selain itu, pada gambar 4 terdapat puncak pada data XRD. Puncak tersebut bukanlah puncak untuk material *graphene* karena posisinya berada pada 2θ 27,4643° dan d-spacing sebesar 3,24496 Å, sehingga dalam kata lain dapat disimpulkan bahwa puncak tersebut adalah puncak untuk material grafit. Grafit tersebut dapat muncul karena proses oksidasi, reduksi, ultrasonikasi ataupun hidrotermal yang kurang cermat pada proses sintesis *graphene*, sehingga reaksi yang diharapkan berjalan belum sesuai dengan yang diharapkan.

C. Hasil Pengamatan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui apakah proses sintesis material *graphene* yang dilakukan berhasil dengan mengamati morfologi dari material *graphene* yang dibandingkan dengan grafit, grafit oksida, dan proses sintesis

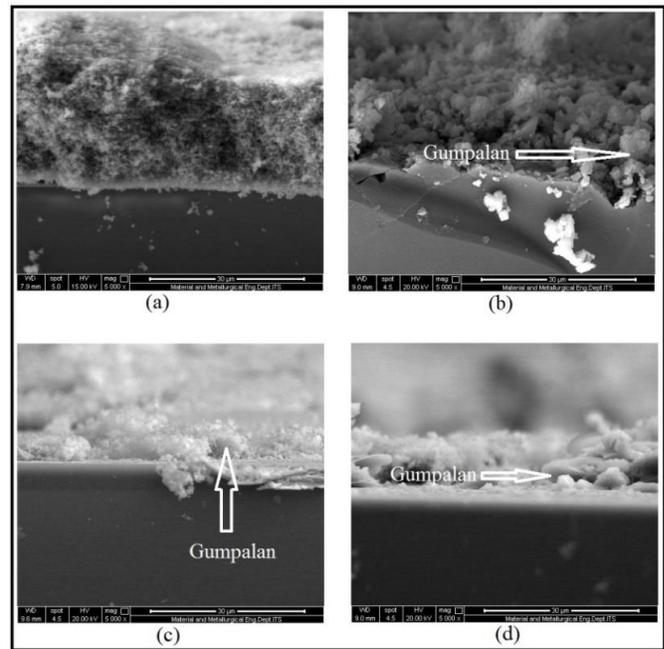


Gambar 5. Morfologi grafit (a), grafit oksida (b) dan *graphene* (c) diamati dengan SEM perbesaran 5000× *graphene* yang telah dilakukan sebelumnya. Pengamatan terhadap morfologi ini dilakukan menggunakan instrumen SEM FEI Inspect S50. Hasil SEM dari grafit, grafit oksida, dan *graphene* dapat dibandingkan dari gambar di bawah ini

Dari Gambar 5 dapat diamati perubahan morfologi selama proses sintesis *graphene*. Pada awal sebelum proses sintesis, grafit yang digunakan sebagai bahan baku sintesis adalah berbentuk serbuk. Grafit merupakan tumpukan dari lembaran-lembaran tipis *graphene* sehingga ketika diamati dengan SEM, morfologi yang didapatkan berupa serpihan- serpihan yang tebal sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. Proses oksidasi yang dialami grafit selanjutnya dalam proses sintesis, menghasilkan grafit oksida yang morfologinya diamati dengan SEM tidak jauh berbeda dengan grafit, tebal. Namun demikian, karena *drying* yang dilakukan setelah proses oksidasi grafit menghasilkan grafit oksida berbentuk lembaran,

morfologi *flake* yang ada pada grafit tidak lagi ditemui pada grafit oksida. Seiring dengan proses sintesis yang berjalan, proses reduksi, ultrasonikasi dan hidrotermal yang dilakukan mendapatkan *graphene* sebagai hasil akhir yang strukturnya berupa lembaran tipis transparan karena terkelupasnya lapisan-lapisan tebal grafit selama proses sintesis yang menjadi salah satu parameter dari berhasilnya proses sintesis *graphene* [9].

Pengamatan SEM pada DSSC bertujuan untuk melihat dan membandingkan morfologi material semikonduktor sebelum dan sesudah dikompositkan dengan *graphene*. Hasil SEM dari DSSC dapat dilihat pada gambar 7. Dari gambar 7 dapat kita ketahui bahwa dengan penambahan *graphene* dalam TiO₂ dapat menimbulkan gumpalan pada TiO₂. Gumpalan (atau disebut juga sebagai aglomerat) tersebut dapat muncul karena pada saat pencampuran TiO₂ dengan *graphene* yang menggunakan pelarut larutan Polietilena Glikol, proses pencampuran basah yang terjadi tidak berlangsung secara merata. Akibat dari fenomena tersebut, partikel- partikel partikel-partikel yang memiliki muatan yang sama cenderung untuk berkumpul menjadi satu. Adapun karena pada penelitian



Gambar 6. Morfologi *Cross-sectional* DSSC (a) 0%, (b) 5% , (c) 10%, (d) 15%

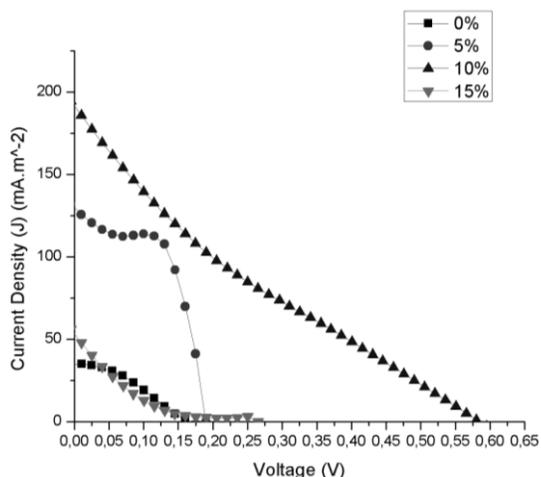
ini ukuran partikel dan persentase massa TiO₂ lebih dominan daripada *graphene*, maka partikel tersebut memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk mengalami aglomerasi (penggumpalan) [10].

D. Hasil Pengukuran Sifat Kelistrikan DSSC

Tabel 4. Nilai Kelistrikan DSSC Pada Berbagai Variasi Komposisi *Graphene*

Sampel	I _{sc} (A)	V _{oc} (mV)	P _{max} (mW)	FF	η (%)
0%	0,0073	160	4,21 x 10 ⁻⁴	0,36	0,00042
5%	0,0265	189,839	32,6 x 10 ⁻⁴	0,65	0,00326
10%	0,0130	595,198	52,3 x 10 ⁻⁴	0,69	0,00532
15%	0,0051	265,259	8,15 x 10 ⁻⁴	0,60	0,00082

Pengujian sifat kelistrikan DSSC dilakukan dengan menggunakan *Keithley 2606A i-V Measurement*. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui *electrical properties* dari DSSC. Adapun data kelistrikan untuk berbagai variasi komposisi *graphene* dapat dilihat pada gambar 7 dan tabel 4. Dari gambar 7 dapat diketahui bahwa dengan penambahan *graphene* dari 0% sampai 10% akan meningkatkan efisiensi



Gambar 7. Perbandingan Kurva Untuk Keempat Variasi Komposisi *Graphene*

DSSC, hingga pada penambahan 15% nilai efisiensi tersebut merosot. Fenomena tersebut dapat terjadi karena pada kompositisasi TiO_2 dengan *graphene*, *graphene* berperan sebagai jembatan dari lapisan TiO_2 yang bersifat *porous*.

Dengan semakin meningkatnya persentase *graphene* dalam TiO_2 , dapat meningkatkan *specific surface area* lapisan TiO_2 meningkat, sehingga dampaknya dapat meningkatkan kemampuan elektroda kerja dalam mengabsorpsi *dye*. Akhirnya cahaya matahari yang ditangkap *dye* akan lebih banyak, dan efisiensi dari DSSC akan semakin meningkat pula. Ketika melewati batas maksimal penambahan sebesar 10%, partikel *graphene* akan teragregasi dan menutupi permukaan TiO_2 sehingga *specific surface area*-nya menurun. Dampaknya, kemampuan elektroda kerja dalam menyerap *dye* akan menurun juga, sehingga kemampuannya dalam menyerap cahaya matahari menurun dan nilai efisiensinya akan semakin menurun pula.

Selain itu, *graphene* dalam TiO_2 juga dapat berperan sebagai penghubung pada struktur TiO_2 yang *porous*. Dengan adanya *graphene* dalam TiO_2 , muatan dari *dye* dapat ditangkap oleh *graphene* dan secara cepat dapat diteruskan dengan cepat ke partikel TiO_2 yang selanjutnya. Fenomena tersebut menyebabkan jarak penghantaran *charge* menjadi lebih pendek sehingga J_{sc} dapat ditingkatkan. Namun apabila melebihi batas maksimum penambahannya, *graphene* dapat menutupi permukaan TiO_2 , sehingga akibatnya akan mengganggu penghantaran *charge* dari satu partikel TiO_2 ke partikel yang lain, hal tersebut dapat membuat rekombinasi *charge* tidak dapat dikendalikan, dan *short circuit* akan dengan mudah terjadi. Apabila hal yang seperti demikian terjadi, maka

secara otomatis nilai efisiensi yang didapatkan DSSC akan semakin menurun [2].

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dye-sensitized Solar Cell (DSSC) berhasil difabrikasi menggunakan material semikonduktor TiO_2 yang dikompositkan dengan *graphene* dan *dye* dari ekstrak bunga geranium dengan konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik paling maksimal pada variasi 10 wt% *graphene* dengan efisiensi 0,00532%, daya maksimal (P_{max}) $52,3 \times 10^{-4}$ W; dan *fill factor* sebesar 0,69. Apabila penambahan dilakukan melebihi 10%, *graphene* akan menghalangi proses penghantaran *charge* dan absorpsi *dye* sehingga menurunkan efisiensi DSSC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis I.C.P. mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia atas dukungan pembiayaan dan fasilitas yang diberikan melalui Hibah Penelitian Unggulan 2014 (pendanaan BOPTN) dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) – Surabaya, Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Rohi, "Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik yang Ramah Lingkungan di Indonesia," *Prosiding EECCIS* (2008).
- [2] X. Fang, M. Li, K. Guo, X. Liu, Y. Zhu, B. Sebo, X. Zhao, "Graphene-compositing optimization of the properties of dye-sensitized solar cells," *Solar Energy*, Vol. 101 (2014) 176-181.
- [3] M. Nafi, dan D. Susanti. "Aplikasi Semikonduktor TiO_2 dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi Sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*)," Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia (2013).
- [4] A.N. Prasetya, D. Susanti. "Pengaruh Temperatur Kalsinasi pada Kaca FTO yang di-coating ZnO terhadap Efisiensi DSSC (Dye Sensitized Solar Cell) yang Menggunakan Dye dari Buah Terung Belanda (*Solanum betaceum*)," Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia (2013).
- [5] S.M.R. Nadeak, D. Susanti. "Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi Terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO_2 Sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah," Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia (2012)
- [6] J. Hae-Mi, C. Sung-Ho, S. Hun. "X-Ray Diffraction Pattern of Thermally Reduced Graphenes," *Journal of The Korean Physics Society*, Vol. 57 (2010) 1649 – 1652
- [7] V. Ekasari, G. Yudoyono. "Fabrikasi DSSC dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Linn Var. *Rubrum*) Variasi Larutan TiO_2 Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating" *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, Vol. 2 (2013) 2337-3520
- [8] N.R. Khalid, E. Ahmed, Z. Hong, L. Sana, M. Ahmed. "Enhanced photocatalytic activity of graphene TiO_2 composite under visible light irradiation," *Current Applied Physics*. Vol. 13 (2013) 659 - 663
- [9] Y. Pradesar, D. Susanti. "Pengaruh Waktu Ultrasonikasi dan Waktu Tahan Proses Hydrothermal Terhadap Struktur dan Sifat Listrik Material Graphene," Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya (2014)
- [10] Widyastuti, E.S. Siradj, D. Priadi, A. Zulfa. "Kompaktibilitas Komposit Isotropik $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan Variabel Waktu Tahan Sinter," *Makara, Sains*. Vol. 12 (2008) 113-119