

## ABSTRAK

# EKSPLOITASI SIFAT OPTOELEKTRONIK *GRAPHENE* SEBAGAI LAPISAN *BOOSTER* PEMBAWA & MEDIA EFEKTIF TRANSPORT MUATAN PADA SEL SURYA FILM TIPIS BERBASIS $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$

oleh

**Ahmad Rosikhin**

**NIM: 30213015**

**(Program Studi Doktor Fisika)**

Penelitian disertasi ini membahas tentang sebuah permasalahan secara spesifik terkait dinamika produksi pembawa (pasangan elektron-*hole*), media efektif transport muatan serta sifat *interface* pada divais sel surya berbasis  $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$  dengan melibatkan *graphene sheet* (GS) sebagai solusi untuk mengoptimalkan kinerja yang ada pada divais secara simulasi analitik. Produksi pembawa dianggap cukup esensial dalam proses konversi dari cahaya menjadi listrik disebabkan tahap awal terciptanya arus adalah terciptanya muatan pembawa (pasangan elektron – hole) yang selanjutnya muatan akan terdisosiasi melalui *interface* hingga terpisah bergerak menuju elektroda atau mengalami *transport* dan akhirnya keluar dari sistem divais membentuk arusfoto. Ada beberapa kendala yang menyebabkan kinerja divais menjadi kurang optimal diantaranya adalah kurangnya kemampuan lapisan *absorber* (penghasil arusfoto) dalam menyerap cahaya dengan baik. Kemudian cahaya lebih banyak yang dipantulkan kembali daripada diserap dan pengumpulan muatan pada elektroda yang juga kurang optimal. Selain itu sifat mikroskopis internal bahan penyusun divais yang kurang ramah secara *interfacial* dengan bahan lainnya juga berpotensi menyebabkan proses propagasi optik yang melewati lapisan menjadi fluktuatif. Konsekuensi lain dari ketidakramahan *interfacial* pada struktur elektronik ini juga berdampak pada terganggunya sifat transport muatan oleh karena itu dibutuhkan sebuah bahan tambahan lain yang mampu mengatasi beberapa masalah tersebut. Bahan yang digunakan harus memiliki sifat optik maupun elektronik yang sangat unggul dan ramah (secara *interface*) pada saat dipadukan dengan bahan lainnya karena jika tidak maka akan beresiko terhadap peningkatan hambatan parasit yang akan membebani kinerja divais. Nanomaterial *graphene* telah dipilih untuk dimanfaatkan menjadi sebuah lapisan yang mampu mengoptimalkan proses dinamika pembawa dan transport muatan. Pada penelitian ini, basis material yang digunakan adalah  $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$  untuk film tipis tipe-p maupun tipe-n sedangkan  $\text{a-SiO}_x\text{:H}$  untuk film tipe-i. Ada dua jenis konfigurasi yang digunakan yaitu tipe pertama adalah ITO/*graphene*/(p-i-n)/Al dan tipe kedua adalah ITO/(p-i-n)/*graphene*/Al. Jenis konfigurasi pertama berfungsi meningkatkan produksi pembawa (*boosting carrier*), jenis kedua berfungsi

meningkatkan *transport* muatan menuju elektroda logam (Al). Secara garis besar, ada dua model perhitungan kinerja yang digunakan yaitu model eksponensial tunggal (MET) dan model eksponensial ganda (MEG) sementara untuk memverifikasi keabsahan hasil perhitungan, telah dilakukan perbandingan dengan hasil eksperimen dari referensi. Perbandingan dilakukan dengan pencocokan *trend* hasil simulasi dengan eksperimen untuk divais berkonfigurasi (p-i-n) berbasis silikon yang dilanjutkan dengan pengembangannya untuk divais (p-i-n) yang ber-interface dengan graphene pada dua keadaan yaitu *graphene/(p-i-n)/Al* dan *(p-i-n)/graphene/Al*. Pada penelitian ini ketebalan lapisan *graphene* yang digunakan divariasikan mulai dari 0.4 sampai 2.0 nm berdasarkan data eksperimen referensi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada model divais jenis pertama diperoleh efisiensi konversi daya (PCE) kondisi optimum sebesar 16.17% dengan rapat arus hubung singkat ( $J_{sc}$ ) sebesar 30.86 mA/cm<sup>2</sup> dan laju generasi pembawa sebesar  $65.31 \times 10^{21}/s$  pada ketebalan *graphene* 0.67 nm sementara pada divais konvensional diperoleh efisiensi sebesar 11.31%, rapat arus  $J_{sc}$  sebesar 23.01 mA/cm<sup>2</sup> dan generasi pembawa sebesar  $48.27 \times 10^{21}/s$ . Pada model divais kedua (kondisi ketebalan *graphene* 0.67 nm atau kondisi optimum) diperoleh efisiensi sebesar 18.47% dengan  $J_{sc}$  sebesar 34.59 mA/cm<sup>2</sup> sementara pada divais konvensional 14.34% dan arus 27.85 mA/cm<sup>2</sup>. Perbandingan hambatan seri untuk divais jenis kedua adalah 18.22  $\mu\Omega/cm^2$  dengan *graphene* dan 14.64  $\mu\Omega/cm^2$  tanpa *graphene* atau mengalami penurunan 24.5%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa baik generasi pembawa maupun sifat *transport* dipengaruhi bukan hanya pada ketebalan saja akan tetapi juga oleh *geometrical mismatch* (GM) yang berkontribusi terhadap transmitansi optik maupun *transport* elektronik. Di sisi lain, walaupun jumlah lapisan *graphene* bisa dikendalikan namun GM tidak mudah dikendalikan pada saat penumbuhan secara eksperimen sehingga untuk *graphene* tipe FLG sangat mungkin terjadi kondisi yang berbeda pada saat diaplikasikan pada divais walaupun jumlah lapisan adalah sama. Berdasarkan hasil simulasi perhitungan seperti yang telah diuraikan maka cukup jelas bahwa keberadaan *graphene* mampu meningkatkan produksi pembawa lebih besar selain itu  $R_s$  sebagai salah satu faktor parasit yang menghambat mobilitas *transport* muatan juga menurun. Hal ini menunjukkan bahwa *graphene* mampu berperan sebagai lapisan *booster* pembawa, media efektif *transport* muatan yang baik dan mengatasi masalah buruk yang disebabkan sifat *interface* terhadap elektroda.

**Kata kunci** : sel surya, konstanta optik, Ellipsometry, *graphene*, *boosting* pembawa, *transport* muatan. Metode eksponensial tunggal, eksponensial ganda.

## ABSTRACT

# EXPLOITATION OF GRAPHENE OPTOELECTRONICS PROPERTIES AS CARRIER BOOSTER LAYER AND EFFECTIVE CHARGES TRANSPORT MEDIUM IN THIN FILM $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$ BASED SOLAR CELLS

by

**Ahmad Rosikhin**

**NIM: 30213015**

**(Doctoral program in Physics)**

This dissertation research discusses a specific problem related to the dynamics of carrier production (electron-hole pair), effective media of charge transport as well as their interface properties in  $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$  based solar cell device by involving graphene sheet (GS) as a solution to optimize the performance using analytic simulation technique. Carrier production is considered as essential problem in light-to-electricity conversion process due to the initial stage of output current is charge carrier generation then charges dissociate passing through the interface moves separately toward electrode to exits from the device forming a photocurrent. There are some problems leading to reduce device performance involve the lack of ability of absorber layer to absorb incident light properly. On the other hand, light prefers to reflected back compared with transmitted as well as charge collection is not sufficiently optimum. Furthermore, the internal microscopic properties of material sometimes does not has appropriate interface with other so that potentially leading to light propagation process passing through junction become more fluctuated. Other consequence due to incompatibility of its electronics structure is also affects on disturbing charge transport properties therefore it need additional material which is able to overcome the problems. The materials must have excellent both optics and electronics properties as well as interfacially flexible when layered with other thin layer unless leading to increase the risk of parasitic resistance which will burdening device performance. Graphene nanomaterial has been chosen to be exploited become a layer which able to optimize the process of both charge transport and carrier dynamics in device system. In this research, materials used for photovoltaics device is  $\mu\text{c-SiO}_x\text{:H}$  for both p-type and n-type while a- $\text{SiO}_x\text{:H}$  has used for i-type layer. There are two configuration used in this study, the first one is  $\text{ITO/graphene}/(\text{p-i-n})/\text{Al}$  and other one is  $\text{ITO}/(\text{p-i-n})/\text{graphene}/\text{Al}$ . The first type is designed to boost charge carrier generation while the second type is to improve charge transport toward metal electrode (Al). In general, there are two models used in this simulation, single exponential method (SEM) and double exponential method (DEM) while for verification of the result, the method has compared with other experimental report from reference at specific case for device with (p-i-n)

configuration using silicon as material based. Furthermore, the method has been developed for similar case where graphene has interfaces with (p-i-n) system under two type *graphene/(p-i-n)/Al* dan *(p-i-n)/graphene/Al*. In this research graphene layer thickness was varied from 0.4 to 2.0 nm according to experimental reference. Simulation result has shown that in first model the power conversion efficiency (PCE) at optimum condition reach 16.17% with short circuit current 30.86 mA/cm<sup>2</sup> and carrier generation rate 65.31 x 10<sup>21</sup>/s at 0.67 nm graphene thickness while for conventional device the PCE has reach 11.31% with short circuit current 23.01 mA/cm<sup>2</sup> and carrier generation rate 48.27 × 10<sup>21</sup>/s. For the second model (graphene thickness 0.67 nm called optimum condition) the efficiency reached 18.47% with short circuit current 34.59 mA/cm<sup>2</sup> while for conventional device the efficiency reached 14.34% with short circuit current 27.85 mA/cm<sup>2</sup>. Series resistance for second model device with and without graphene is 18.22 μΩ/cm<sup>2</sup> and 14.64 μΩ/cm<sup>2</sup> respectively. Simulation taking into account result has shown that both carrier generation as well as transport properties are depend not only on thickness but also geometrical mismatch (GM) which is contribute to optical transmission and electronic transport. On the other hand, even the number or graphene layer can be controlled but geometrical mismatch is not easy to be controlled too when it experimentally synthesized so that fewlayer graphene (FLG) is highly potential to result in different properties among other even they have similar number of layer. According to this simulation as obviously discussed before that the existence of graphene inside solar cells device able to boost carrier production more compared with without graphene involvement. In addition, the series resistance as one of the parasitic factor which become inhibits charges transport mobility is also reduced. This obviously shown that graphene takes a role as booster carrier as well as charge transport medium layer and also reduce interfacial problem with electrode.

**Keywords** : solar cells, optical constant, Ellipsometry, graphene, booster carrier, charge transport muatan, singel exponential model, double exponential model.