

# Deposisi Lapisan Tipis Polimer Hibrid TMSPMA:DCM dengan Teknik *Spray-air Brush* sebagai Bahan Luminesensi pada LWC-SSL Planar Beserta Karakteristik Optiknya

Annisa Aprilia<sup>1\*</sup>, Norman Syakir<sup>1</sup>, Hendro<sup>2</sup>, Fitrilawati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran, Jl. Raya Jatinangor KM 21, Kabupaten Sumedang 45363, Jawa Barat

<sup>2</sup>Program Studi Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132, Jawa Barat

\*) Email: a.aprilia@phys.unpad.ac.id

## Abstrak

Pendekatan kopling cahaya atau *light wave coupling* (LWC) pada lampu *solid state lighting* (SSL) panel lebar (*planar*), merupakan salah satu teknik untuk menghasilkan distribusi pencahayaan yang lebih efisien. Pada sistem LWC, proses pendistribusian cahaya menggunakan bantuan pelat pandu gelombang yang diintegrasikan dengan sumber pegeksitasi yaitu lampu led. Pelat pandu gelombang tersebut berupa *light guide plate* (LGP) berbahan dasar PMMA (*polimethyl methacrylate*) yang biasa digunakan pada dislay layar datar. Pada penelitian ini dikembangkan proses pembuatan lapisan tipis polimer hibrid TMSPMA (*trimethoxysilylpropyl methacrylate*) terdoping fosfor organik DCM (4-(*dicyanomethylene*)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl-4H-pyran) di atas substrat pandu gelombang menggunakan teknik *spray-air brush*. Lapisan tipis tersebut berfungsi sebagai bahan luminesensi untuk mengkonversi emisi cahaya yang berasal dari sumber pegeksitasi. Penggunaan polimer hibrid sebagai matriks merupakan salah satu upaya dalam menjaga daya tahan (*life time*) fosfor organiknya agar tidak mudah mengalami degradasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa teknik *deposisi spray-air brush* cocok digunakan untuk membuat lapisan polimer hibrid berukuran besar (> 10 cm<sup>2</sup>) secara lebih efektif dan efisien, dibandingkan dengan teknik deposisi lainnya. Selain itu, penggunaan pelat pandu gelombang pada sistem kopling cahaya terbukti dapat meningkatkan intensitas emisi dan menghasilkan distribusi pencahayaan lebih luas.

**Kata Kunci:** *Solid State Lighting (SSL), Light Wave Coupling (LWC), TMSPMA, fosfor organik, spray-air brush*

## Abstract

Light wave coupling (LWC) approach in solid state lighting (SSL) planar is the one of method that offer an efficient in light distribution. In LWC system, optical wave guide plate is used in order to enhance light distribution which is integrated with LED lamp as an excitation source. PMMA based light guide plate (LGP) is used which is commonly utilized in flat panel display technology. This research introduce the thin film preparation of hybrid polymer TMSPMA (*trimethoxysilylpropyl methacrylate*) doped by organic chromophore DCM (4-(*dicyanomethylene*)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl-4H-pyran) via sol-gel route and deposited onto LGP as a substrate using spray-air brush technique. Poly-TMSPMA is used as a matrix to trap the molecules of organic phosphor to avoid it from color degradation. This thin film serves as material luminescence for color conversion from source led lamp as an excitation source. The results shows that spray-air brush technique is suitable for deposition in large area (>10 cm<sup>2</sup>) and effectively and efficiently compared with the other technique. Besides that, it is shown that the irradiance of luminescence thin film on optical wave guide substrate would be increase and produce a better apportionment light.

**Keywords:** *Solid State Lighting (SSL), Light Wave Coupling (LWC), TMSPMA, organic chromophore, spray-air brush.*

## 1. Pendahuluan

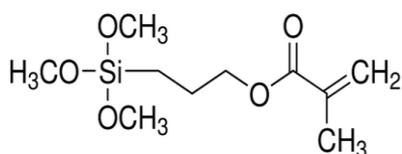
Teknologi lampu berkembang cukup pesat semenjak ditemukannya lampu fluoresensi gas merkuri yang dipatenkan oleh Hewwit lebih dari satu abad yang lalu [1]. Lampu fluoresensi pada saat itu dinyatakan sebagai lampu dengan efisiensi tinggi dan umur yang lebih panjang bila dibandingkan dengan

jenis lampu pijar (filamen karbon). Jenis lampu fluoresensi (FL) mulai dikomersialisasikan sejak tahun 1940 dan terus mengalami perkembangan berkaitan dengan ditemukannya material fosfor baru yang dapat mengkonversi sinar ultra-violet menjadi sinar tampak. Hingga saat ini, lampu FL umum digunakan sebagai sumber penerangan pada perangkat *display*/layar LCD (*liquid crystal display*).

Layar LCD kemudian berkembang menjadi teknologi layar datar pada televisi, laptop dan telepon genggam, dengan sumber penerangan berawal dari jenis lampu FL kemudian berubah menggunakan lampu LED (*light emitting diode*) atau yang dikenal dengan istilah SSL (*solid state lighting*). Keunggulan jenis SSL adalah 50% lebih efisien dibanding lampu FL, lebih ramah lingkungan karena tidak mengemisikan gas merkuri, dan lebih ramah kesehatan karena tidak mengemisikan cahaya UV dan IR [2,3].

Lampu LED atau SSL merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan lampu pijar dan lampu FL [4]. Terdapat dua pendekatan yang dapat digunakan untuk lampu SSL yaitu eksitasi langsung (DPE-*direct path emission*) oleh sumber energi eksitasi langsung dan pendekatan kopling cahaya (LWC-*light wave coupling*) yang menggunakan pandu gelombang optik untuk mentransmisi sumber energi eksitasi [5]. Dalam pembuatan lampu SSL, pendekatan DPE menghasilkan lampu berdimensi kecil dan pendekatan LWC dapat menghasilkan lampu berdimensi besar yang berbentuk panel lebar.

Berkaitan dengan perkembangan lampu SSL tersebut, makalah ini membahas dan mengkaji penggunaan jenis polimer hibrid (poly-TMSPMA) dan didoping dengan fosfor organik DCM (4-(*dicyanomethylene*) -2 - methyl - 6 - 4 - *dimethylaminostyryl* - 4H - *pyran*) sebagai bahan luminesensi untuk model planar (panel lebar) menggunakan pendekatan LWC. Pelat pandu gelombang yang berasal dari panel layar datar digunakan sebagai substrat yang berperan sebagai pengkopling cahaya. Pelat pandu gelombang (*light guide plate* -LGP) tersebut pada umumnya berbahan dasar resin akrilik. Teknik pelapisan menggunakan perangkat *spray-air brush* dengan konsentrasi larutan prekursor divariasikan, yang bertujuan untuk menghasilkan lapisan paling baik dan optimum.

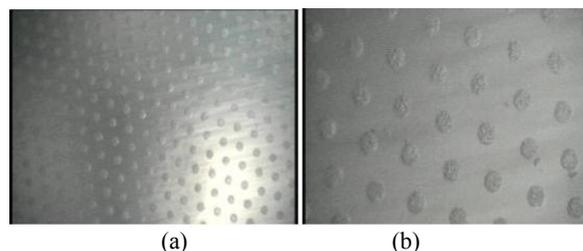


Gambar 1. Struktur kimia monomer TMSPMA.

## 2. Metode Penelitian

Bahan luminesensi berbasis polimer hibrid sebagai matriks dan dimodifikasi dengan fosfor organik (DCM) disintesis menggunakan prosedur yang sudah digunakan pada penelitian sebelumnya, yaitu menggunakan metode sol-gel [6]. Monomer yang digunakan adalah 3-(*Trimethoxysilyl*) propyl methacrylate) (TMSPMA) dengan struktur kimia diperlihatkan pada Gambar 1, etanol digunakan sebagai pelarut dan akuades ditambahkan untuk memfasilitasi proses hidrolisis dan kondensasi. Perbandingan dari masing-masing bahan adalah 1:4:8

(monomer:etanol:akuades). Selanjutnya fosfor organik berupa DCM ((4-(*dicyanomethylene*)-2-methyl-6-(4-dimethylaminostyryl)-4H-pyran) digunakan sebagai dopan yang berfungsi sebagai pengkonversi emisi. Pencampuran fosfor organik dengan prekursor polimer hibrid dilakukan menggunakan etanol sebagai *co-solvent*. Prekursor polimer hibrid beserta fosfor organik diencerkan menggunakan etanol dengan komposisi tertentu, dimana konsentrasi fosfor ditetapkan yaitu sebesar 0,2% dari berat polimer hibrid yang digunakan. Penggunaan etanol sebagai pelarut telah dikaji pada penelitian sebelumnya yaitu dapat menghasilkan kualitas lapisan yang baik seperti halnya pelarut kloroform [7]. Selain itu penggunaan pelarut etanol berkaitan dengan bahan dasar dari substrat LGP yang terbuat dari akrilik sehingga pelarut non-polar seperti chloroform tidak dapat digunakan. Konsentrasi atau tingkat kekentalan dari prekursor polimer hibrid divariasikan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi terhadap kualitas lapisan yang dihasilkan. Selanjutnya adalah penambahan fotoinisator *Irgacure* 819 sebesar 1 % dari berat prekursor gel yang digunakan. Pembuatan lapisan tipis menggunakan perangkat *spray air-brush* dan pelapisan dilakukan di atas substrat LGP (*light guide plate*) dan substrat kaca. Struktur permukaan dari LGP yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2. Pola yang terdapat pada substrat LGP menghasilkan refleksi internal total sehingga mampu meningkatkan intensitas emisi dengan efisiensi pemantulan meningkat hingga 95% [8]. Selanjutnya adalah proses fotopolimerisasi dengan proses penyinaran oleh sinar ultraviolet selama 30 menit. Pada proses ini fotoinisiatif akan memfasilitasi pembentukan gugus organik pada polimer hibrid. Pengukuran emisi dan absorbansi dalam fasa larutan dan lapisan tipis dilakukan untuk mengetahui karakteristik optik dari prekursor fasa gel dan lapisan luminesensi yang dihasilkan.

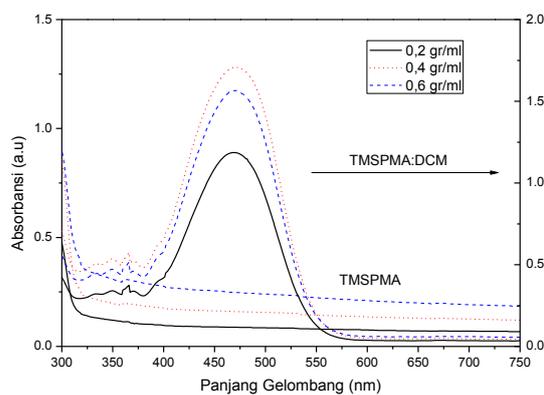


Gambar 2. Struktur pelat pandu gelombang yang umum digunakan pada panel layar datar LCD. (a) Perbesaran 4 kali menggunakan mikroskop optik, (b) Perbesaran 40 kali.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui karakteristik optik dari lapisan luminesensi yang dihasilkan dilakukan pengukuran absorbansi UV-Vis pada fasa koloid-gel (sebelum terpolimerisasi) yang berperan sebagai "tinta" pada

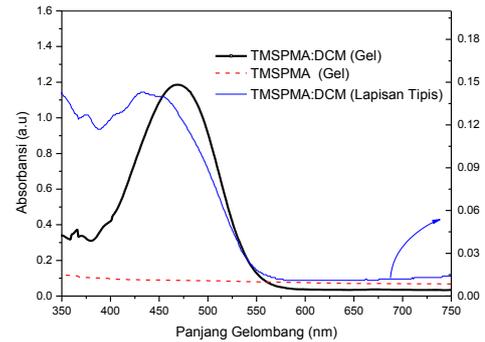
perangkat *spray air brush* dan setelah mengalami polimerisasi. Pengukuran spektrum absorbansi menggunakan spektrometer UV-Vis T70+ *PG Instrument Ltd.* Hasil pengukuran spektrum absorbansi UV-Vis untuk fasa koloid-gel diperlihatkan pada Gambar 3 yang menunjukkan bahwa larutan prekursor TMSPMA bersifat transparan yaitu tidak menyerap cahaya pada daerah sinar tampak dan mulai menyerap pada panjang gelombang 300 nm. Ketika fosfor organik DCM ditambahkan maka terdapat puncak serapan pada panjang gelombang 472 nm. Semakin tinggi konsentrasi gel maka sifat transparansi larutan prekursor TMSPMA akan semakin menurun, ditandai dengan peningkatan spektrum absorbansi di interval panjang gelombang sinar tampak. Sedangkan peningkatan absorbansi DCM terjadi untuk konsentrasi larutan 0,4 gr/ml dan kembali menurun ketika konsentrasi prekursor gel dinaikkan menjadi 0,6 gr/ml. Penurunan absorbansi DCM pada konsentrasi yang lebih tinggi kemungkinan diakibatkan oleh kekentalan larutan prekursor.



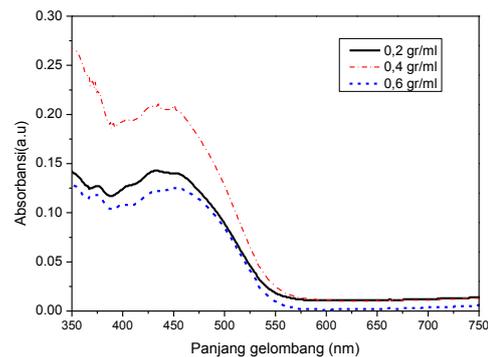
**Gambar 3.** Spektrum absorbansi dari prekursor gel TMSPMA dan TMSPMA:DCM (0,2%).

Karakteristik absorbansi antara prekursor polimer hibrid TMSPMA dan TMSPMA:DCM beserta lapisan polimer hibrid TMSPMA dapat dilihat pada gambar 4. Terlihat adanya pergeseran puncak serapan ke arah panjang gelombang lebih pendek (*blue shift*), pada DCM di dalam matriks polimer hibrid TMSPMA setelah mengalami polimerisasi.

Proses pelapisan di atas substrat LGP menghasilkan struktur permukaan yang berbeda untuk masing-masing konsentrasi prekursor, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Selain itu hasil pemindaian mikroskop optik (*Mitra Digital*) dengan pembesaran 40 kali memperlihatkan bahwa masih terdapat butiran debu/kotoran. Salah satu hal menarik adalah terlihatnya pola tertentu pada lapisan dengan konsentrasi prekursor sebesar 0,6 gr/ml. Hal ini dapat dikorelasikan dengan kualitas film mulai dari sifat secara mekanik ataupun sifat optiknya yang berkaitan dengan konsentrasi prekursor sebagai larutan "tinta".



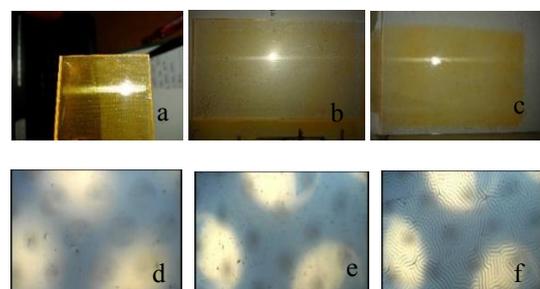
(a)



(b)

**Gambar 4.** Spektrum absorbansi UV-Vis (a) Larutan prekursor TMSPMA, TMSPMA:DCM setelah dan sesudah polimerisasi, (b) Lapisan tipis TMSPMA:DCM variasi konsentrasi gel prekursor.

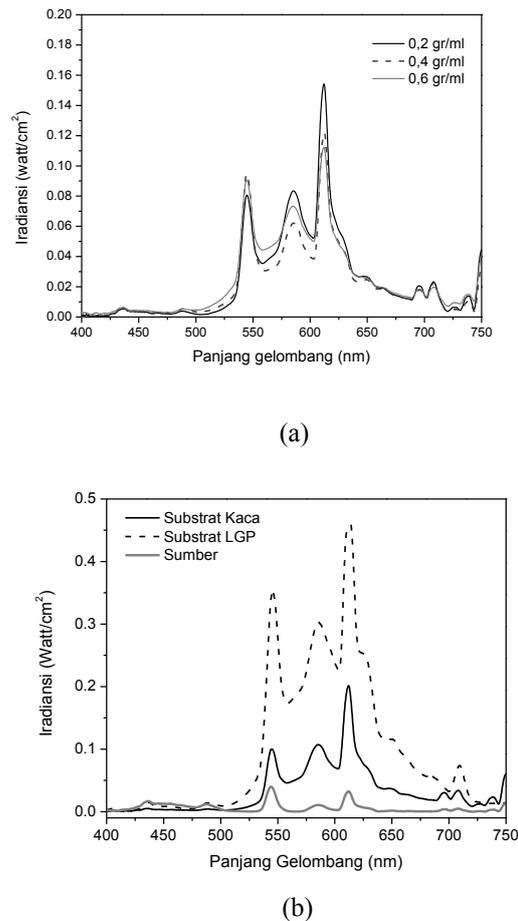
Pada Gambar 4b diperlihatkan bahwa serapan DCM pada lapisan tipis TMSPMA:DCM mengalami penurunan bahkan lebih kecil dibandingkan dengan konsentrasi gel 0,2 gr/ml. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh degradasi dari fosfor organik DCM pada lapisan tipis 0,6 gr/ml. Degradasi/*bleaching* fosfor organik dapat terjadi dikarenakan proses fotopolimerisasi yang kurang sempurna pada lapisan yang lebih tebal. Hasil polimerisasi yang kurang baik pada lapisan dengan konsentrasi 0,6 gr/ml dapat dilihat pada Gambar 5 (c-f).



**Gambar 5.** Foto (gambar atas) lapisan luminesensi TMSPMA:DCM pada susbtat LGP dan perbesaran (40 kali) menggunakan mikroskop optik (gambar bawah) dengan variasi konsentrasi gel prekursor sebesar 0,2 gr/ml (a,d), 0,4 gr/ml (b,e) dan 0,6 gr/ml (c,f). Ukuran sampel adalah 18 cm<sup>2</sup>.

Pada konsentrasi gel prekursor sebesar 0,6 gr/ml, larutan prekursor memiliki kekentalan yang cukup tinggi, yaitu sekitar 1,75 mPa.s. Sedangkan untuk konsentrasi 0,2 dan 0,4 gr/ml masing-masing sebesar 0,51 dan 0,61 mPa.s, dimana kekentalan dari etanol adalah sebesar 0,45 mPa.s. Kekentalan pada larutan prekursor menghasilkan lapisan yang cenderung lebih tebal. Pada dasarnya lapisan yang lebih tebal membutuhkan waktu fotopolimerisasi yang lebih lama dibandingkan dengan konsentrasi lainnya. Ketika proses fotopolimerisasi kurang sempurna maka lapisan yang dihasilkan akan lebih lunak dan fosfor organik di dalamnya akan mudah mengalami degradasi. Penggunaan fosfor organik pada dasarnya dikaitkan dengan kekurangan dari penggunaan fosfor anorganik, dimana fosfor organik memiliki efisiensi kuantum yang lebih tinggi dan mudah diproses [9]. Tetapi salah satu kekurangan dari fosfor organik adalah keterbatasan dalam stabilitas, sehingga penggunaan matriks polimer hibrid diupayakan dapat mengatasi keterbatasan tersebut. Beberapa hasil penelitian telah memperlihatkan bahwa penggunaan polimer sebagai matriks dapat meningkatkan stabilitas fosfor organik secara signifikan [10]. Dikaitkan dengan hasil penelitian, diketahui bahwa hal tersebut berkaitan secara erat dengan kualitas lapisan. Kualitas lapisan polimer hibrid yang kurang baik dapat menyebabkan fosfor organik mudah mengalami degradasi dalam waktu yang relatif singkat.

Untuk mengetahui karakteristik iradiansi pada lapisan luminensi TMPSMPA:DCM, dilakukan pengukuran spektrum emisi menggunakan perangkat *Ocean Optics* USBF 4000. Sumber eksitasi yang digunakan adalah lampu FL (*fluorecent lamp*). Spektrum iradiansi dengan variasi konsentrasi pada substrat LGP tidak mengalami perubahan secara signifikan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6a. Sumber eksitasi yang digunakan mengemisikan cahaya putih dengan sebaran panjang gelombang yang luas mulai dari 525 nm hingga 725 nm. Intensitas emisi (iradiansi) yang tertinggi diperankan oleh lapisan 0,2 gr/ml, hal ini dapat dikaitkan kondisi optimum dari lapisan yang dihasilkan. Pada lapisan dengan konsentrasi larutan prekursor 0,2 gr/ml, larutan tinta memiliki sifat transparansi yang paling tinggi, dan serapan yang paling rendah. Konsentrasi larutan prekursor yang lebih rendah berkaitan dengan lapisan yang dihasilkan lebih tipis, sehingga lebih sedikit pula sumber eksitasi terserap dan teredam oleh matriks polimer beserta fosfor organiknya. Selain itu penggunaan substrat *light guide plate* (LGP) sebagai pandu gelombang pada sistem LWC memang terbukti dapat meningkatkan intensitas emisi dari sumber eksitasi bila dibandingkan dengan penggunaan substrat kaca dan tanpa penggunaan substrat, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6b.



**Gambar 6.** (a) Spektrum Iradiansi lapisan tipis TMSPMA:DCM variasi konsentrasi gel prekursor. (b) Perbandingan intensitas spektrum iradiansi yang berasal dari lampu FL pada substrat kaca dan LGP.

#### 4. Kesimpulan

Teknik deposisi *spray-air brush* merupakan metoda yang cocok serta terbukti lebih efektif dan efisien dalam pelapisan polimer hibrid berukuran besar ( $> 10 \text{ cm}^2$ ), dibandingkan dengan teknik deposisi lainnya. Konsentrasi gel prekursor yang baik digunakan pada teknik *spray air brush* adalah dengan konsentrasi rendah  $< 0,4 \text{ gr/ml}$  terhadap pelarut etanol. Hal mendasar yang mempengaruhi kualitas lapisan tersebut adalah kekentalan larutan prekursor yang berkaitan langsung dengan faktor ketebalan lapisan. Faktor ketebalan berkaitan dengan proses fotopolimerisasi yang kurang sempurna bagi lapisan yang lebih tebal sehingga fosfor organik di dalam matriks polimer hibrid cepat mengalami degradasi. Selain itu, penggunaan pelat pandu gelombang pada sistem kopling cahaya terbukti dapat meningkatkan intensitas emisi dan menghasilkan distribusi cahaya yang lebih luas.

## Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai oleh Penelitian Desentralisasi (Penelitian Unggulan Tinggi) Tahun Anggaran 2015 DIPA UNPAD berdasarkan surat penugasan nomor 393/UN6.R/PL/2015 pada tanggal 16 Februari 2015.

## Daftar Acuan

- [1] H. KIM Tak, W. Wentai, and Q. Li, Advancement in materials for energy-saving lighting devices, *Front. Chem. Sci. Eng.*, (2011), 11705-011.
- [2] E.F Schubert, J.K. Kim, Solid-State Lighting Sources Getting Smart, *Science* 308 (2005), 1274-1278.
- [3] C. J. Humphreys, Solid-State Lighting, *MRS Bulletin* 33 (2008), 459-470.
- [4] Fitrilawati, N. Syakir, L. Febriani, Y. S. Handayani, S. Hidayat, T. Saragi, R. Siregar, Pengembangan Phosphor Organik Sebagai Bahan Konversi Warna Emisi Untuk Aplikasi Lampu SSL, *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Vol. 01, No. 3 (2011) 180-195.
- [5] 10. J. Steckl, J. Heikenfeld, S. C. Allen, Light Wave Coupled Flat Panel Display and Solid-State Lighting using Inorganic/organic Materials, *IEEE/OSA J. of Display Technology* 1 (2005), 157-166
- [6] N. Syakir, Y. S. Handayani, Fitrilawati, Pengaruh Panjang Gelombang Eksitasi Terhadap Koordinat Warna Emisi pada Bahan Konversi Warna Berbasis Polimer Hibrid, *Jurnal Material dan Energi Indonesia* 1 (2011), Vol. 01, No. 3 (2011) 173-179
- [7] Fitrilawati, N. Syakir, A. P. Mastiti, U. Yuliani, A. Aprilia, Penggunaan Polimer Hibrid TMSPMA dan Fosfor Organik sebagai Bahan Luminesensi Untuk Aplikasi Solid State Lighting Planar, *Jurnal Kimia dan Kemasan*, (2015), Edisi April.
- [8] A. Travis, T. Large, N. Emerton, and S. Bathiche, Collimated light from a waveguide for a display backlight, *OPTICS EXPRESS* 19714, (2009), Vol. 17, No. 22.
- [9] S. Nakamura, Current Status of GaN-based Solid State Lighting, *MRS Bulletin* 34 (2009), 101 – 107.
- [10] D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, C. Collins, R.M. Fletcher, M. O. Holcomb, M. J. Ludowise, P. S. Martin, and S. L. Rudaz, Illumination With Solid-State Lighting Technology, *IEEE J. on Selected Topics in Quantum Electronics* 8 (2002), 310-320.

