

KARAKTERISTIK POLIMER HIBRID YANG DIDOPING DENGAN PHOSPHOR ORGANIK TUNGGAL SEBAGAI ALTERNATIF LAMPU HEMAT ENERGI

SAHRUL HIDAYAT[‡], HERLIN TARIGAN, NORMAN SYAKIR, FITRILAWATI

*Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21 Jatinangor, Sumedang 45363*

Abstrak. Inovasi pengembangan lampu SSL dari bahan kromofor organik tunggal merupakan salah alternatif untuk hemat energi. Penelitian yang dilakukan telah menunjukkan keberhasilan pengembangan prototipe lampu SSL dengan metode *partial color conversion* yang berbasis kromofor organik tunggal. Penelitian ini telah memberikan hasil berupa alur sintesis untuk mendapatkan bahan polimer hibrid dari monomer glymo yang memiliki sifat mekanik dan kelarutan yang baik. Hasil sintesis berupa poli(glymo) dapat dijadikan sebagai matrik untuk memperkuat sifat mekanik dari bahan kromofor DCM. Polimer hibrid yang dicampur dengan kromofor DCM dapat dibuat film yang memiliki sifat mekanik kuat dan menghasilkan emisi pada daerah hijau sampai oranye. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, komposisi yang menghasilkan intensitas emisi cukup tinggi adalah untuk 0,2% DCM di dalam matrik poli(glymo). Pada nilai komposisi tersebut, bahan pengkonversi warna menggunakan LED pengemisi biru dapat menghasilkan emisi putih pada daerah *cool light* dengan koordinat CIE: (0,3976; 0,3958).

Kata kunci : SSL, Kromofor organik, Polimer hibrid, Cool light

Abstract. The development of Solid State Lighting (SSL) made from organic chromophores is one of the alternative for energy saving lamps. Our research has been successful to fabricate the prototype of SSL lamps by the method of partial color conversion based on the single organic chromophores. This research has resulted the rule of synthesis of hybrid polymer materials from glymo monomer. The hybrid polymer has good mechanical properties and good solubility. The hybrid polymer named as poly (glymo) can be used as a matrix to strengthen the mechanical properties of chromophore DCM. The mixed of hybrid polymer and DCM chromophore can be use to fabricate films that having the strong mechanical properties and produce emission at around orange light. In this research, the high emission intensity is resulted by the composition of 0.2% DCM in poly (glymo) matrix. These composition, when used as a color conversion of the blue LED, can produce white emission in *cool light* area with CIE coordinates: (0.3976; 0.3958).

Keywords : SSL, Organic chromophore, Hybrid polymer, Cool light

1. Pendahuluan

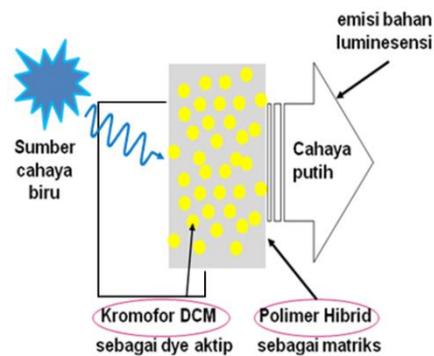
Lampu SSL yang dikenal sebagai lampu LED (*light emitting diode*) merupakan solusi untuk menggantikan lampu jenis sebelumnya, baik jenis lampu pijar atau lampu neon. Jika dibandingkan dengan lampu pijar, lampu SSL lebih unggul dalam konsumsi daya listriknya mencapai 80% lebih hemat [1]. Sedangkan jika dibandingkan dengan lampu LHE, lampu SSL lebih ramah lingkungan karena tidak mengemisikan gas merkuri dan lebih ramah kesehatan karena tidak mengemisikan cahaya UV.

Untuk menghasilkan emisi putih (*white emission*) ada tiga pendekatan yang dapat digunakan [2]. Pendekatan pertama, mengkombinasikan tiga buah LED RGB (*Red Green Blue*). Keuntungan dari pendekatan tersebut adalah efisiensi lumen yang tinggi, namun biayanya mahal karena setiap lampu membutuhkan tiga buah LED. Pendekatan kedua, menggunakan sumber pengeksitasi biru untuk mengkonversi kromofor RG (*Red Green*) sehingga kombinasinya menghasilkan emisi putih. Namun pendekatan ini menghasilkan warna putih yang tidak konsisten. Pendekatan ketiga,

[‡] email : sahrul@unpad.ac.id

menggunakan sumber pekeksitasi UV untuk mengkonversi kromofor RGB. Pendekatan ini tidak banyak digunakan karena belum ada LED UV dengan efisiensi yang cukup tinggi setara LED biru. Juga bilamana intensitas LED UV yang digunakan cukup besar akan tidak baik untuk kesehatan mata.

Kromofor DCM bersifat fotoluminesen dengan rentang spektrum sangat lebar dari 500nm sampai 700nm, karakteristik ini mendekati rentang spektrum emisi dari bahan phosphor kuning [3,4]. Bahan ini diharapkan dapat menggantikan fungsi phosphor anorganik dalam aplikasi divais LED dengan warna emisi putih. Secara skematik mekanisme bahan konversi spektrum emisi dari polimer hibrid dengan doping kromofor organik diperlihatkan pada Gambar 1. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kedua, yaitu menggunakan bahan luminesen berbasis polimer hibrid dengan kromofor RG dan sumber pekeksitasi LED Biru. Kromofor RG digantikan dengan bahan kromofor tunggal DCM yang memiliki spektrum emisi mendekati spektrum RG. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan prototipe lampu SSL sebagai lampu hemat energi yang ramah lingkungan.



Gambar 1. Mekanisme emisi lampu SSL berbahan polimer hibrid dengan kromofor kuning dan pekeksitasi LED biru

2. Eksperimen

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses sintesis prekursor polimer hibrid terdiri dari monomer Glymo (3-Glycidyoxy-propyl-trimethox-silane, Aldrich), chloroform (p.a. Merck), etanol, isopropanol, methanol, aseton (p.a. Merck), asam asetat (CH_3COOH) dan HCl (p.a. Merck). Bahan-bahan lain yang digunakan dalam eksperimen ini adalah inisiator IRGACURE 819 (Ciba), IRGACURE 369 (Ciba), pelarut toluen (p.a. Merck), dan kromofor DCM (4-dicyanmethylene-2-methyl-6-(p-dimethyl-aminostyryl)-4H -Pyran, Aldich).

Secara umum peralatan yang digunakan di dalam penelitian dikelompokkan menjadi peralatan sintesis, peralatan fabrikasi, dan peralatan karakterisasi. Peralatan yang digunakan untuk sintesis terdiri dari gelas kimia (*beaker glass*), timbangan digital, pengaduk magnetik, gelas ukur, botol timbang, *syringe* dan pipet tetes. Peralatan yang digunakan untuk fabrikasi terdiri dari *spin coater*, *chamber stainless steel*, pemanas (*hot plate*), penjepit (pinset) dan lampu UV.

Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi terdiri dari spektrofotometer UV-Vis (PG Instruments Ltd. T70) untuk mengukur sifat absorpsi bahan, spektrofotometer emisi Ocean Optik USB-400 untuk menentukan sifat dan rentang panjang gelombang emisi bahan serta menentukan koordinat warna emisi dengan menggunakan standar CIE-1931.

Pembuatan prekursor polimer hibrid poli-glymo dilakukan dengan metode sol-gel dari monomer glymo, pelarut isopropanol yang dicampur dengan etanol, akuades sebagai agen hidrolisis dan asam asetat (CH_3COOH) sebagai katalis. Proses sol-gel diawali dengan melarutkan monomer ke dalam campuran pelarut isopropanol dan etanol, kemudian diaduk sehingga menjadi satu fasa. Selanjutnya kedalam campuran ditambahkan akuades sambil diaduk dan dipanaskan pada suhu 60°C . Setelah akuades bereaksi dengan larutan monomer, ke dalam campuran tersebut ditambahkan asam asetat sebagai katalis. Campuran tersebut terus diaduk pada suhu 60°C sehingga terbentuk gel bening yang merupakan prekursor poli-glymo [5].

Prekursor polimer hibrid yang telah dibuat selanjutnya di larutkan di dalam kloroform dan ditambahkan termoinisiator Dycumil Peroxide (Bis(1-methyl-1-phenylethyl) peroxide, Aldrich). Konsentrasi berat Dycumil Peroxide di dalam prekursor polimer hibrid adalah 1% (w/w). Sebelum ditambahkan ke dalam larutan prekursor, termoinisiator dilarutkan terlebih dahulu di dalam kloroform dan diaduk sampai larut sempurna.

Prekursor poli-glymo yang telah dicampur dengan termoinisiator telah siap digunakan baik untuk keperluan karakterisasi atau dicampur dengan bahan kromofor DCM untuk dijadikan bahan pengkonversi warna. Untuk mengubah fasa prekursor poli-glymo menjadi fasa padat dapat dilakukan dengan memanaskan poli-glymo yang telah dideposisikan di dalam oven pada suhu sekitar 80°C selama 15 menit.

Karakterisasi yang dilakukan terdiri dari pengukuran absorpsi dan emisi. Pengukuran spektrum absorpsi dilakukan dalam rentang panjang gelombang cahaya tampak menggunakan alat ukur T70 UV-Vis Spektrometer PG Instrument Ltd. Software yang digunakan untuk menampilkan dan menganalisa data hasil pengukuran absorpsi adalah software UV-Win. Pengukuran spektrum emisi dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer fluoresensi USB-4000 dan menggunakan software spectrasuite. Hasil pengukuran kurva emisi selanjutnya dianalisa sifat emisinya dengan menghitung koordinat warna dengan menggunakan acuan koordinat warna emisi standar CIE-1931. Software yang digunakan untuk menghitung dan menganalisa koordinat warna adalah spectrasuite.

3. Hasil dan Pembahasan

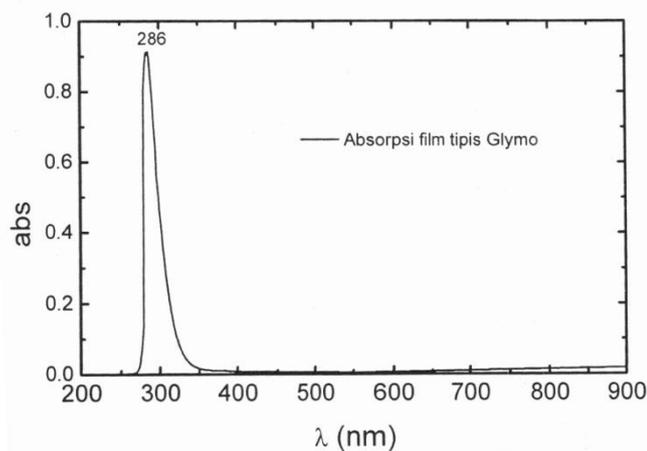
Polimer hibrid yang digunakan dalam penelitian ini adalah poli(glymo). Poli(glymo) memiliki keunggulan dibanding poli(TMSPMA), diantaranya adalah waktu sintesisnya lebih cepat, sifat mekaniknya lebih fleksibel dan proses polimerisasi bagian organik dapat melalui perlakuan termal di dalam lingkungan udara biasa [6]. Disamping itu poli(glymo) masih memiliki kelemahan dibanding poli(TMSPMA), yaitu kekuatan mekaniknya lebih rendah dan tidak tahan terhadap suhu tinggi (sampai 200°C).

Secara kimia poli(glymo) memiliki struktur yang hampir sama dengan poli(TMSPMA), ia memiliki unsur anorganik dan organik dalam satu senyawa. Monomer glymo memiliki unsur anorganik (-Si-) dan unsur organik berupa cincin epoxida. Polimerisasi gugus anorganik (-Si-O-Si) dilakukan dengan metode sol-gel yang mirip dengan sintesis poli(TMSPMA), sedangkan polimerisasi gugus organik dilakukan dengan perlakuan panas (termal) tanpa lingkungan khusus (tanpa gas Nitrogen/Argon).

Proses sintesis prekursor poli(glymo) sama seperti sintesis prekursor poli(TMSPMA), yaitu dengan proses sol-gel. Pelarut yang digunakan adalah campuran antara etanol dan isopropanol. Katalis yang digunakan adalah asam asetat. Komposisi yang digunakan untuk monomer glymo : isopropanol : H_2O : etanol : asam asetat adalah 3 : 2 : 1 : 2 : 3. Setelah diperoleh prekursor, proses

selanjutnya adalah polimerisasi bagian organik yang dilakukan dengan proses termal pada suhu antara 80 - 90°C. Untuk mengetahui karakteristik optik poli(glymo) dilakukan pengukuran spektroskopi absorpsi UV-Vis. Hasil pengukuran tersebut diperlihatkan pada Gambar 2. Selanjutnya, sebelum diaplikasikan sebagai matrik dilakukan uji kelarutan dengan menggunakan pelarut etanol, metanol dan isopropanol. Hasil uji kelarutan diperoleh kesimpulan bahwa poli(glymo) dapat larut dengan baik pada ketiga pelarut tersebut.

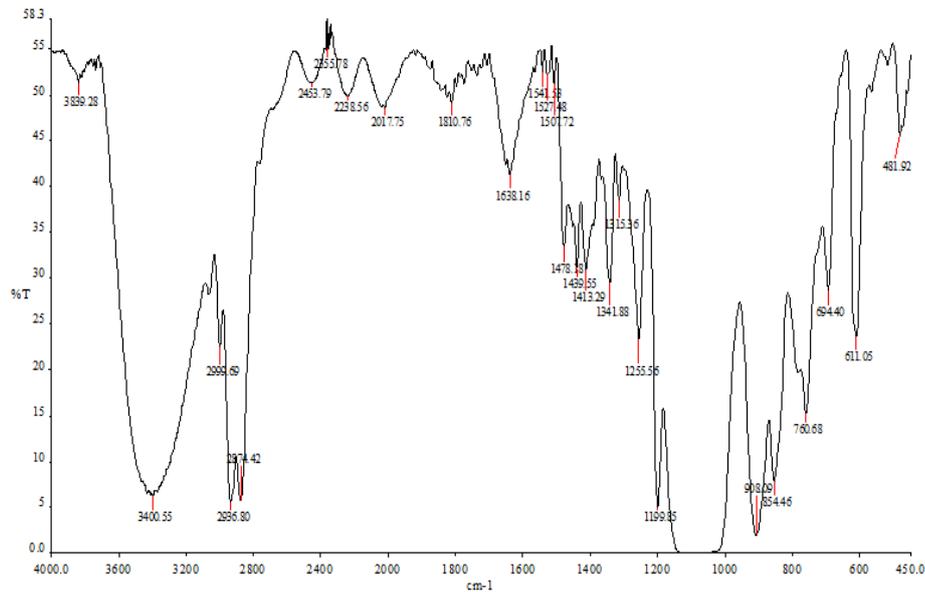
Berdasarkan Gambar 2 tampak bahwa poli(glymo) memiliki serapan pada daerah panjang gelombang UV yang puncaknya pada nilai 286 nm. Hasil tersebut sangat cocok untuk aplikasi sebagai bahan matrik material pengkonversi cahaya yang bekerja pada daerah cahaya tampak. Rentang panjang gelombang yang membentuk cahaya putih berada pada rentang antara 400 nm – 700 nm. Pada daerah tersebut bahan poli(glymo) tidak memiliki serapan, sehingga efisiensi konversinya pada daerah panjang gelombang tersebut sangat tinggi. Selain itu, serapan yang berada pada daerah panjang gelombang UV juga sangat baik, karena akan mereduksi emisi UV yang berasal dari LED pengeksitasi sehingga emisi lampu SSL-nya lebih ramah terhadap kesehatan.



Gambar 2. Spektrum absorpsi film poli(glymo).

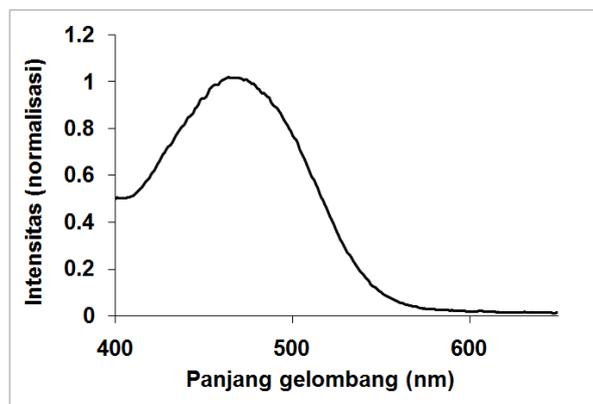
Untuk mengetahui struktur kimia dari bahan prekursor poly(glymo) dan tersebut setelah di termopolimerisasi dilakukan pengukuran spektroskopi FTIR. Hasil pengukuran spektroskopi FTIR untuk film poly(glymo) dan prekursornya diperlihatkan pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3 dapat diidentifikasi beberapa serapan IR yang menunjukkan identitas dari poli(glymo) diantaranya adalah serapan pada 3400 cm^{-1} , 2874 cm^{-1} , 1255 cm^{-1} , 1199 cm^{-1} dan 908 cm^{-1} . Munculnya serapan pada bilangan gelombang 3400 cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus -OH, serapan pada 2874 cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus -CH, serapan pada 1255 cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus -C-OC-, serapan pada 1199 cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus -Si-O-Si- dan serapan pada 908 cm^{-1} menunjukkan kehadiran gugus Si-OC- .



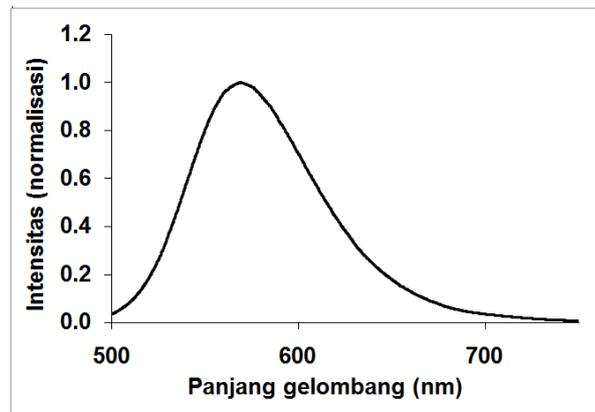
Gambar 3. Hasil Pengukuran FTIR film poli(glymo).

Untuk mengetahui rentang panjang gelombang serapan dan panjang gelombang emisi dilakukan pengukuran spektroskopi absorpsi UV-Vis dan spektroskopi emisi. Pengukuran dilakukan dalam bentuk film/lapisan pada kondisi sesudah proses termo-polimerisasi.



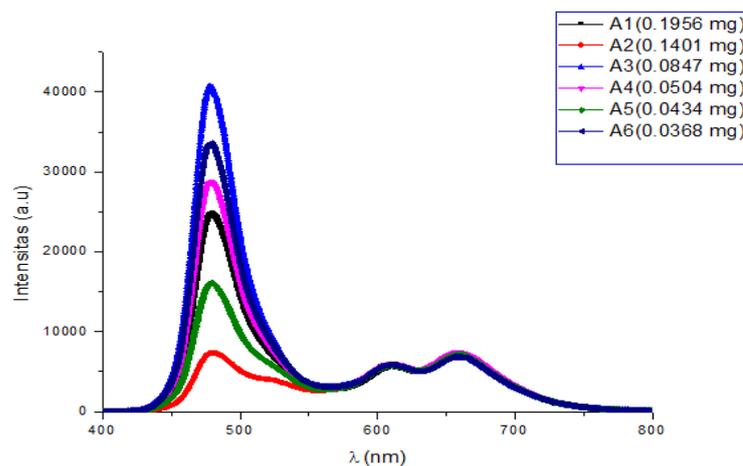
Gambar 4. Spektrum absorpsi UV-Vis film polimer hibrid yang telah didoping kromofor DCM

Berdasarkan Gambar 4 tampak bahwa puncak absorpsi muncul pada panjang gelombang 470 nm. Pada daerah cahaya tampak serapan yang muncul hanya berasal dari bahan kromofor DCM. Polimer hibrid yang berfungsi sebagai matriks tidak menyerap pada rentang panjang gelombang tersebut. Spektrum absorpsi memberikan informasi mengenai panjang gelombang yang harus digunakan pada sumber pengekstiasi. Panjang gelombang yang diserap dari sumber pengekstiasi berada pada rentang 400 nm sampai 550 nm. Rentang panjang gelombang tersebut bersesuaian dengan berkas cahaya biru sampai dengan hijau. Rentang panjang gelombang tersebut dibutuhkan untuk menghasilkan emisi putih, sehingga diperlukan optimasi ketebalan dari bahan pengkonversi supaya emisi dari sumber pengekstiasi tidak diserap secara keseluruhan.



Gambar 5. Spektrum emisi film polimer hibrid yang telah didoping kromofor DCM

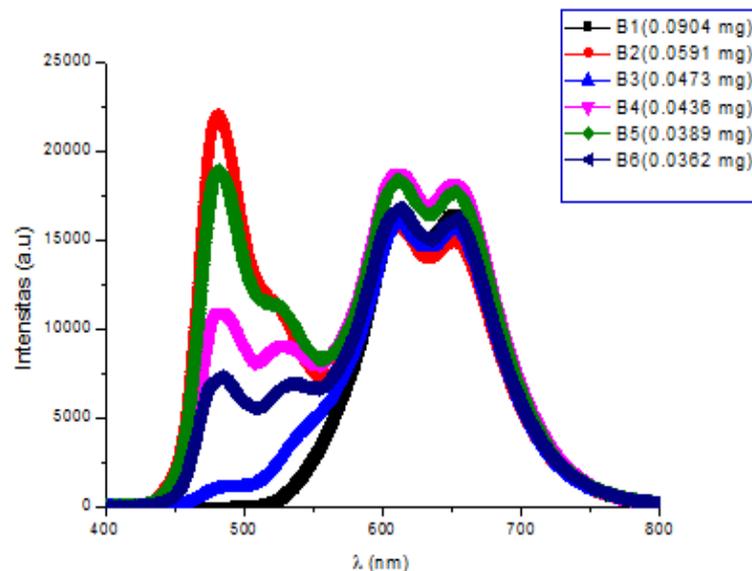
Pengukuran emisi dilakukan dengan menggunakan panjang gelombang pumping 470 nm. Panjang gelombang tersebut bersesuaian dengan absorpsi maksimum dari bahan polimer hibrid yang didoping dengan DCM. Berdasarkan spektrum pada Gambar 5, dapat diketahui bahwa rentang panjang gelombang emisi adalah antara 500 nm – 700 nm dan puncak panjang gelombang emisinya adalah 565 nm. Rentang panjang gelombang tersebut cukup lebar dan jika dikombinasikan dengan panjang gelombang dari sumber pengekstisasi LED biru diharapkan akan menghasilkan emisi putih. Untuk mendapatkan emisi putih, dalam penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi DCM didalam matriks polimer hibrid. Variasi konsentrasi yang dilakukan terdiri dari 0,1% DCM yang spektrum emisinya diperlihatkan pada Gambar 6, dan 0,2% DCM yang spektrum emisinya diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Spektrum emisi film poli(glymo) yang didoping dengan DCM 0,1%

Gambar 6 memperlihatkan kurva hasil pengukuran spektroskopi emisi bahan pengkonversi cahaya yang merupakan poli(glymo) didoping dengan DCM 1%. Puncak pada daerah 480 nm menunjukkan emisi yang berasal dari LED sebagai sumber pengekstisasi dan puncak pada daerah 609 nm serta 659 nm berasal dari emisi bahan pengkonversi. Intensitas emisi LED tampak lebih dominan dibandingkan intensitas emisi bahan pengkonversi pada hampir semua nilai variasi massa.

Hal tersebut menunjukkan jumlah bahan pengkonversi massa secara keseluruhan masih kurang sehingga emisi dari LED banyak yang diloloskan.



Gambar 7. Spektrum emisi film poli(glymo) yang didoping dengan DCM 0,2%

Gambar 7 memperlihatkan kurva hasil pengukuran spektroskopi emisi bahan pengkonversi cahaya yang merupakan poli(glymo) didoping dengan DCM 2%. Puncak pada daerah 480 nm menunjukkan emisi yang berasal dari LED sebagai sumber pengeksitasi dan puncak pada daerah 500 nm serta 700 nm berasal dari emisi bahan pengkonversi. Secara umum dari bahan pengkonversi muncul dua puncak emisi yaitu pada daerah 611 nm dan 652 nm.

Berdasarkan data hasil pengukuran kurva emisi, selanjutnya dapat dihitung koordinat warna emisi yang menyatakan nilai eksak dari warna emisi di dalam standar koordinat warna *International Commission on Illumination* (CIE 1931). Di dalam sistem koordinat CIE, setiap warna didefinisikan oleh nilai atau besaran kuantitatif X, Y dan Z. Warna emisi putih didefinisikan sebagai kombinasi dari tiga warna pokok yaitu merah (R), hijau (G) dan biru (B). Nilai-nilai terstimulus X, Y dan Z diperoleh dengan menggabungkan spektral *power distribution* radiasi $S(\lambda)$ dan kurva respon mata $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ dan $z(\lambda)$ dalam rentang panjang gelombang antara 380 nm sampai 780 nm. Koordinat warna x, y dan z diturunkan dari nilai terstimulus X, Y dan Z. Daerah warna CIE tiga dimensi merupakan dasar untuk semua sistem pengelolaan warna.

Hasil perhitungan kurva emisi pada Gambar 6 dan Gambar 7 yang dikonversi menjadi koordinat didalam kurva CIE. Untuk menyatakan emisi putih di dalam koordinat CIE didefinisikan beberapa standar putih, diantaranya emisi putih *equal light* (*equal energy*) terletak pada koordinat (0,333; 0,333), emisi putih *day light* (cahaya pada siang hari) terletak pada koordinat (0,3131; 0,337) dan emisi putih *cool light* (lampu pijar) terletak pada koordinat (0,372; 0,375). Emisi yang dihasilkan mendekati emisi *cool light* atau sama dengan cahaya yang dipancarkan lampu pijar (putih kekuningan).

4. Kesimpulan

Telah berhasil disintesis polimer hibrid dari monomer glymo yang memiliki sifat mekanik dan sifat kelarutan baik sehingga cocok digunakan sebagai matriks bahan pengkonversi cahaya berbasis phosphor organik. Bahan pengkonversi cahaya untuk mendapatkan emisi putih telah berhasil dibuat dengan menggunakan bahan kromofor DCM di dalam matriks poli(glymo). Berdasarkan hasil karakterisasi telah diperoleh bahwa kombinasi bahan tersebut menunjukkan karakteristik absorpsi dan emisi yang dapat digunakan sebagai bahan phosphor organik tunggal. Indikasi tersebut ditunjukkan dengan daerah absorpsi yang bersesuaian dengan panjang gelombang LED pengeksitasi dan rentang panjang gelombang emisi yang lebar. Puncak absorpsi berada pada panjang gelombang sekitar 470 nm dan rentang panjang gelombang emisi berada pada daerah 550 nm sampai 750 nm.

Prototipe lampu SSL dengan menggunakan pengkonversi cahaya phosphor organik tunggal berbasis bahan poly-glymo+DCM telah berhasil dibuat dengan daya 3 Watt dan menghasilkan emisi *cool light* yang cocok untuk penerangan ruangan kecil atau lampu tidur. Emisi yang dihasilkan menurut standar koordinat warna CIE berada pada posisi (0,3976; 0,3958). Nilai koordinat tersebut secara visual bersesuaian dengan emisi cahaya putih kekuningan.

Ucapan terima kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Padjadjaran yang telah membiaya penelitian melalui Hibah PPM Produktif, Nomor Kontrak: 0578/023-04.2.16/12/2012 tanggal 9 Desember 2012.

Daftar Pustaka

1. Zukaukas A., Shur, M.S., Gaska, R. 2002. *Introduction to Solid State Lighting*. Wiley Interscience.
2. Muthu, S., Schuurmans, F.J.P, Pashley, M.D. 2002. Red, Green, Blue LEDs for white light illumination. *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron* 8, 333-338.
3. Fitriana, P., Fitrilawati, Tola, P.S., Miranti, R., Hidayat, R. 2008. *Preparation of Hybrid Organic-Inorganic Polymers doped with Luminescent Molecules and their Characterizations*. Proceeding of The 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences, Bandung.
4. Fitrilawati, Masruri, I., Syakir, N., Pitriana, P., Hidayat, R. 2010. *Pembuatan Bahan Luminesen Berbasis Polimer Hibrid dengan Dopan RGB Organik Untuk Aplikasi Lampu Flouresen Padat*. Prosiding Seminar Nasional Energi 2010, Jatinangor 3 November 2010, ISSN 2087-7471.
5. Hidayat, S., Pitriana, P., Hidayat, R., Fitrilawati, Bahtiar, A., Siregar, R.E., Ozaki, M. 2011. *Application of Hybrid Polymer as Two Dimensional Grating and Its Lasing Characteristic*. *Sains Malaysiana* 40 (1), 39-42, ISSN 0126-6039.
6. Fitrilawati, Syakir, N., Pebriani, L., Handayani, Y. S, Hidayat, S., Saragi, T., Siregar, R.E., Pitriana, P., Hidayat, R. 2011. *Pengembangan Phosphor Organik sebagai Bahan Konversi Warna Emisi untuk Aplikasi Lampu SSL*. *Jurnal Material dan Energi Indonesia* 1 (3), 170-185, ISSN 2087-748X.