

KOMPOSISI KROMOFOR RGB PADA BAHAN LUMINESEN BERBASIS POLIMER HIBRID DAN KOORDINAT WARNA EMISINYA

NORMAN SYAKIR, YOLLA SUKMA HANDAYANI, FITRILAWATI[‡]

*Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km.21 Jatinangor 45363, Sumedang, Jawa Barat*

Abstrak. Bahan luminesensi berbasiskan polimer hibrid dibuat melalui doping prekursor polimer hibrid dengan kromofor luminesensi RGB (*Red, Green, Blue*). Matriks prekursor polimer hibrid dibuat dari monomer TMSPMA (3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate) dengan metode sol-gel. Selanjutnya, prekursor tersebut didoping dengan kromofor RGB yang terdiri dari *Nile Red* (R), *Coumarine 6* (G), dan *Coumarine 1* (B) dengan berbagai komposisi. Film tipis dari bahan tersebut dibuat dengan teknik spincoating yang dilanjutkan dengan proses fotopolimerisasi. Kaitan antara komposisi kromofor dan koordinat warna dari bahan yang dibuat diperoleh melalui data spektrum emisi dan persamaan tristimulus XYZ. Hasil yang diperoleh menunjukkan koordinat warna dari polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB berada dalam daerah segitiga putih pada diagram CIE-1931. Peningkatan konsentrasi kromofor tertentu menghasilkan pergeseran koordinat warna menuju daerah kromofor tersebut. Bahan yang dibuat dengan komposisi RGB 1:1:1 menghasilkan cahaya putih yang berada di sekitar koordinat warna Tungsten yang memiliki CCT (*Correlated Color Temperature*) sekitar 2856 Kelvin, yang dikenal sebagai *warm light*.

Kata kunci : polimer hibrid, luminesensi, Coumarine 1, Coumarine 6, Nile Red, diagram CIE-1931

Abstract. Hybrid polymer based luminescent materials were prepared by doped an hybrid polymer precursor with luminescent RGB (Red, Green, Blue) chromophores. Matrix of hybrid polymer precursor was synthesized from monomer of TMSPMA (3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate) using sol-gel method. The precursor then was doped with RGB chromophores of Nile Red (R), Coumarine 6 (G), and Coumarine 1 (B) with varied compositions. Thin films of the synthesized materials were prepared using spincoating technique and followed by photopolymerization process. Correlation between chromophore compositions and color coordinates of the synthesized materials were calculated using emission spectral data and tristimulus XYZ equation. The results show that the obtained color coordinates of the synthesized RGB luminescent materials are within area of the white triangle CIE-1931 diagram. An addition of a certain chromophore to the materials will shift the color coordinate into that chromophore. The synthesized luminescent material with the RGB composition of 1:1:1 result to a white color emission close to the Tungsten that have a CCT (*Correlated Color Temperature*) of 2856 Kelvin, which is known as the warm light.

Keywords : hybrid polymer, luminescence, Coumarine 1, Coumarine 6, Nile Red, CIE-1931 diagram

1. Pendahuluan

Bahan luminesensi untuk sumber cahaya buatan telah dimanfaatkan sejak sebelum perang dunia kedua. Pada awalnya bahan tersebut dikembangkan dari bahan berbasis fosfor dan semikonduktor seperti AlInGaP dan InGaN [1]. Tujuannya adalah untuk menghasilkan LED putih yang berdaya emisi tinggi. Dengan daya emisi yang tinggi diharapkan LED yang tadinya berfungsi sebagai indikator dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk aplikasi *Solid State Lighting* (SSL). Selain bahan-bahan tersebut telah diteliti juga komposit dari polimer seperti PMMA dengan bahan flouresen RGB [1] dan komposit bahan semikonduktor dengan polimer terkonjugasi yang berfungsi sebagai bahan luminesensi [2].

[‡] email : fitrilawati@phys.unpad.ac.id

Lampu flouresen padat, atau dikenal sebagai lampu SSL, merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan lampu pijar dan lampu flouresen gas. Dengan lampu flouresen padat, penggunaan gas berbahaya seperti merkuri dapat dihindari. Melalui pemilihan bahan yang tepat, lampu flouresen padat diharapkan dapat dibuat dalam bentuk panel lebar, sehingga distribusi emisi pencahayaan dalam ruang dapat menjadi lebih baik dibanding lampu flouresen biasa.

Ada dua metode untuk menghasilkan emisi cahaya putih, yaitu metode *color-mixing* dan metode *wavelength conversion*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode *color-mixing* membutuhkan biaya produksi mahal, karena satu lampu putih membutuhkan tiga buah LED. Selama ini, metode *wavelength conversion* memanfaatkan material pengkonversi panjang gelombang dari bahan fosfor anorganik. Penggunaan bahan fosfor anorganik tersebut membutuhkan teknologi vakum yang menyebabkan biaya produksi mahal. Oleh karena itu diperlukan alternatif lain, diantaranya penggunaan kromofor organik sebagai material pengkonversi panjang gelombang. Bahan fosfor organik dikenal memiliki efisiensi yang tinggi. Komposit bahan polimer dan fosfor organik diharapkan dapat memiliki efisiensi yang tinggi, waktu pakai yang lama, emisi yang mencakup daerah cahaya tampak, harga bahan yang murah, dan *color-rendering index* (CRI) yang bagus [3]. Salah satu bahan yang dapat dioptimasi agar memiliki spesifikasi tersebut adalah bahan luminesensi berbasis polimer hibrid dengan doping kromofor organik dengan fluorensi RGB. Polimer hibrid berfungsi sebagai matriks dan kromofor flouresen RGB berfungsi sebagai sumber emisi. Pengaturan komposisi RGB diharapkan dapat menghasilkan warna emisi yang tepat. Dalam makalah ini dilaporkan hasil eksperimen pembuatan bahan luminesensi berbasis polimer hibrid dan kromofor RGB organik.

2. Eksperimen

Penelitian ini meliputi eksperimen pembuatan bahan luminesensi dan karakterisasi spektrum emisi serta penentuan koordinat warna emisi dengan menggunakan diagram standard CIE-1931.

Pembuatan bahan luminesensi diawali dengan pembuatan prekursor polimer hibrid dengan metode sol gel. Bahan yang digunakan adalah TMSPMA sebagai monomer pembentuk polimer hibrid, etanol sebagai pelarut, akuades sebagai agen hidrolisis, dan larutan HCl 1 molar sebagai katalisator.

Tahap selanjutnya adalah penyiapan larutan kromofor R, G, B yang akan didoping ke dalam polimer hibrid. Kromofor yang digunakan adalah Coumarin 1 (B), Coumarin 6 (G), dan Nile Red (R) yang berturut-turut berfungsi sebagai sumber emisi biru, hijau, dan merah. Larutan kromofor disiapkan dengan cara melarutkan kromofor dengan kloroform dengan perbandingan tertentu. Dalam usaha untuk menghasilkan bahan dengan emisi cahaya putih dilakukan *blending* larutan prekursor polimer hibrid-kromofor. *Blending* dilakukan dengan mencampurkan ketiga larutan prekursor polimer hibrid yang masing-masing mengandung kromofor Coumarin 1 (PH C1), Coumarin 6 (PH C6), dan Nile Red (PH NR) dengan perbandingan tertentu. Komposisi larutan prekursor polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB dibuat dengan memvariasikan konsentrasi masing-masing larutan prekursor polimer hibrid dengan kromofor tunggal R, G, dan B. Komposisi prekursor polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB yang dibuat diperlihatkan pada Tabel 1

Selanjutnya larutan kromofor-polimer hibrid dan larutan *blend* kromofor-polimer hibrid digunakan pada pembuatan lapisan tipis dengan metode *spin-coating*. Film tipis yang dihasilkan tersebut selanjutnya dikenakan proses *pre-baked* di atas *hotplate* pada suhu 60°C, kemudian difotopolimerisasi dengan lampu UV selama 10 menit. Untuk menyempurnakan proses fotopolimerisasi film tipis dilanjutkan dengan proses *post-baked* pada suhu 60°C dalam oven

vakum. Film tipis yang telah kering selanjutnya dikarakterisasi dengan spektroskopi fluoresensi untuk mengukur spektrum emisinya.

Tabel 1. Komposisi prekursor polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB untuk berbagai perbandingan konsentrasi PH C1 : PH C6 : PH NR

Label Larutan	Kode Sampel	Perbandingan	PH C1 (gram)	PH C6 (gram)	PH NR (gram)	Total <i>blend</i> (gram)
Blend 111	E ₁	1 : 1 : 1	0,1	0,1	0,1	0,3
Blend 112	E ₂	1 : 1 : 2	0,1	0,1	0,2	0,4
Blend 121	E ₃	1 : 2 : 1	0,1	0,2	0,1	0,4
Blend 211	E ₄	2 : 1 : 1	0,2	0,1	0,1	0,4

Perhitungan koordinat warna emisi dengan diagram standard CIE-1931 dilakukan dengan menggunakan data emisi dan persamaan tristimulus XYZ [4, 5]. Nilai-nilai tristimulus untuk masing-masing warna dengan *spectral power distribution* diberikan sebagai *standard observer* dengan nilai X, Y, dan Z seperti diperlihatkan oleh persamaan (1) [4].

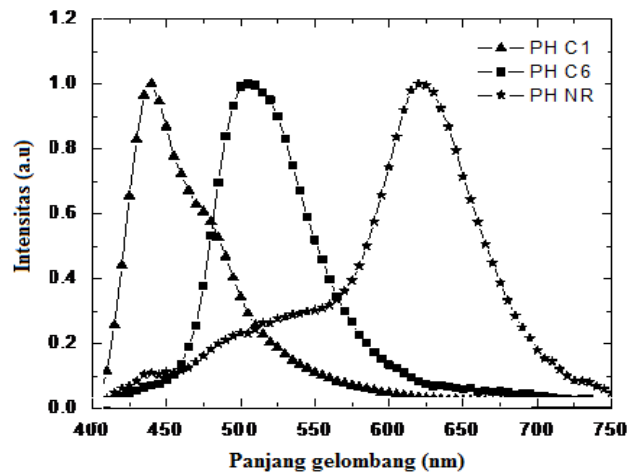
$$\begin{aligned}
 X &= \int_{380nm}^{780nm} I(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda \\
 Y &= \int_{380nm}^{780nm} I(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots(1) \\
 Z &= \int_{380nm}^{780nm} I(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda
 \end{aligned}$$

dengan I merupakan *spectral power distribution*, \bar{x} , \bar{y} , \bar{z} adalah nilai dari *standard observer color matching functions*, λ adalah panjang gelombang dalam nm, dan merupakan nilai-nilai tristimulus CIE XYZ.

3. Hasil dan Pembahasan

Prekursor polimer hibrid yang dibuat dengan metode sol-gel berupa gel yang bening. Jumlah prekursor polimer yang di dapat dinyatakan dalam yield, yaitu perbandingan massa prekursor polimer dengan massa monomer. Yield prekursor polimer hibrid yang diperoleh dari hasil sintesis adalah sekitar 74%. Prekursor polimer hibrid yang didapat tersebut digunakan sebagai matriks untuk doping dengan kromofor Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red. Larutan prekursor polimer hibrid yang mengandung Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red yang diberi fotoinisiator digunakan untuk pembuatan film tipis.

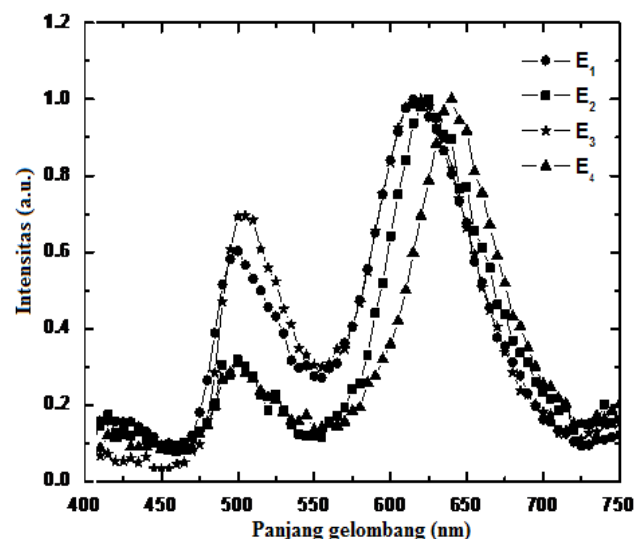
Film tipis yang dihasilkan dari larutan blend kromofor RGB dengan komposisi tertentu pada umumnya tampak mengemisikan warna orange. Sampel yang menghasilkan emisi mendekati putih adalah sampel polimer hibrid dengan blend kromofor RGB dengan komposisi PH C1 : PH C6 : PH NR adalah 1 : 1 : 1. Spektrum emisi dari film tipis polimer hibrid yang mengandung Coumarin 1 (PH C1), Coumarin 6 (PH C6), dan Nile Red (PH NR) diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum emisi polimer hibrid yang didoping Nile Red (PH NR), Coumarin 6 (PH C6), dan Coumarine 1 (PH C1).

Tampak pada gambar tersebut puncak emisi Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red di dalam polimer hibrid berturut-turut adalah 435 nm, 512 nm, dan 630 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa puncak emisi Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red di dalam polimer hibrid berada pada masing-masing daerah emisi bahan

Hasil karakterisasi emisi dari polimer hibrid dengan blend kromofor RGB memperlihatkan adanya tiga puncak emisi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2. Puncak emisi paling kanan berasal dari Nile Red, puncak emisi tengah berasal dari Coumarin 6, dan puncak emisi paling kiri berasal dari Coumarin 1. Puncak emisi Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red dalam polimer hibrid adalah pada panjang gelombang 435 nm, 512 nm, dan 630 nm.



Gambar 2. Spektrum emisi polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB untuk berbagai komposisi kromofor RGB.

Dalam sampel polimer hibrid dengan blend kromofor RGB puncak emisi yang berasal dari masing-masing kromofor umumnya mengalami pergeseran ke arah panjang gelombang yang lebih kecil. Data masing-masing puncak spektrum emisi pada polimer hibrid dengan blend kromofor RGB dengan berbagai komposisi PH C1 : PH C6 : PH NR diperlihatkan dalam Tabel 2. Dari perhitungan yang dilakukan didapatkan koordinat warna emisi sampel hasil eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Input dari perhitungan koordinat warna tersebut adalah spektrum emisi dari sampel polimer hibrid dengan kromofor tunggal dan sampel polimer hibrid dengan blend kromofor RGB.

Tabel 2. Nilai intensitas dan λ_{maks} masing-masing puncak spektrum emisi pada polimer hibrid dengan *blend* kromofor RGB untuk berbagai komposisi PH C1 : PH C6 : PH NR

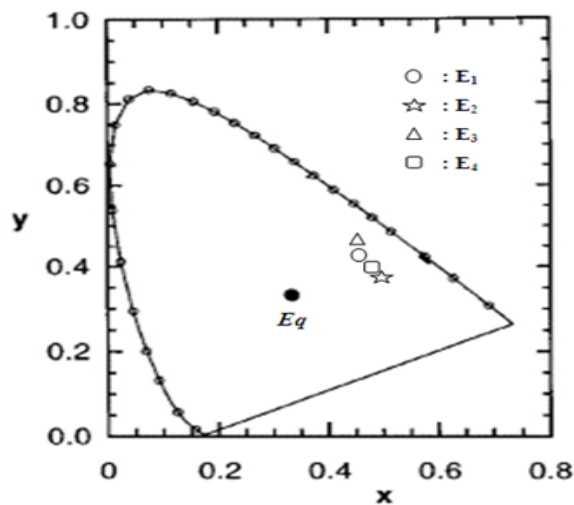
Kode Sampel	Komposisi	PH C1		PH C6		PH NR	
		λ_{maks} (nm)	Intensitas (a.u)	λ_{maks} (nm)	Intensitas (a.u)	λ_{maks} (nm)	Intensitas (a.u)
E ₁	1 : 1 : 1	425	190,1	500	736,7	615	1221,0
E ₂	1 : 1 : 2	415	94,7	500	173,3	625	545,4
E ₃	1 : 2 : 1	-	-	505	628,8	620	904,9
E ₄	2 : 1 : 1	-	-	500	266,0	640	854,4

Tabel 3. Koordinat warna emisi sampel hasil eksperimen

Kode Sampel	Koordinat warna emisi (x,y)	
	x	y
B (Blue)	0.163	0.109
G (Green)	0.266	0.626
R (Red)	0.662	0.338
E ₁	0.461	0.400
E ₂	0.505	0.355
E ₃	0.472	0.437
E ₄	0.489	0.363

Hasil plot koordinat warna emisi pada diagram CIE-1931 diperlihatkan pada Gambar 3. Berdasarkan diagram CIE tersebut terlihat bahwa koordinat warna emisi dari masing-masing sampel polimer hibrid dengan kromofor berada pada daerah R, G, dan B dan telah membentuk daerah segitiga RGB. Koordinat warna emisi dari sampel polimer hibrid yang didoping Coumarin 1 (PH C1) berada pada daerah biru, begitu juga dengan Coumarin 6 (PH C6) dan Nile Red (PH NR), masing-masing berada pada daerah hijau dan merah pada diagram CIE.

Semua koordinat sampel polimer hibrid dengan blend kromofor RGB berada pada daerah merah. Tampak bahwa setiap penambahan konsentrasi salah satu kromofor, maka koordinat warnanya akan cenderung bergeser menuju daerah koordinat kromofor yang konsentrasinya ditingkatkan tersebut. Dalam hal ini, sampel E1 digunakan sebagai acuan untuk melihat perubahan tersebut. Dari Gambar 3 dapat diamati bahwa ketika konsentrasi kromofor Nile Red ditingkatkan, maka koordinat warnanya akan bergeser ke arah merah. Diantara bahan luminesensi yang dibuat, koordinat warna emisi sampel dengan komposisi 1 : 1 : 1 berada dekat dengan koordinat warna emisi lampu Tungsten yang mempunyai CCT sekitar 2856 Kelvin. Emisi yang dihasilkan tersebut (dikenal sebagai warm light) merupakan salah satu emisi bahan yang diinginkan dalam penelitian ini.



Gambar 3. Diagram CIE 1931 dengan koordinat warna emisi sampel.

4. Kesimpulan

Komposisi RGB mempengaruhi koordinat warna emisi dari bahan luminisen berbasis polimer hibrid. Komposisi sampel E1 yaitu untuk komposisi PH C1 : PH C6 : PH NR = 1 : 1 : 1 bisa digunakan sebagai suatu bahan luminesensi dengan koordinat emisi mendekati lampu Tungsten sebagai sumber cahaya putih dengan CCT 2856 Kelvin. Dengan pengaturan komposisi RGB yang tepat dapat dihasilkan bahan luminesensi dengan emisi putih.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terimakasih pada DIKTI atas bantuan dana melalui program Riset Unggulan Strategis Nasional, Nomor 486/SP2H/PL/Dit.Litabanas/IV/2011.

Daftar Pustaka

1. S. Guha, et al., *J. Appl. Phys.* 82, No. 8 (1997), 4126.
2. F. Hide, et al., *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 70, No. 20 (1997), 2664.
3. A. J. Steckl et al., 2005, *IEEE/OSA Journal of Display Technology*, Vol. 1, No. 1 (2005), 157.
4. G. Hoffmann, 2006, *CIE Color Space*, www.fho-empden.de.
5. Technical Report *Colorimetry Third Edition*, CIE (International Commission on Illumination), 2004.