

PENGEMBANGAN *PHOSPHOR* ORGANIK SEBAGAI BAHAN KONVERSI WARNA EMISI UNTUK APLIKASI LAMPU SSL

FITRILAWATI[‡], NORMAN SYAKIR, LINDA PEBRIANI, YOLLA SUKMA HANDAYANI, SAHRUL HIDAYAT, TOGAR SARAGI, RUSTAM SIREGAR

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

PINA PITRIANA, RAHMAT HIDAYAT

*Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No.10, Bandung 40132, Jawa Barat*

Abstrak. Penelitian dan pengembangan lampu *solid state lighting* (SSL) merupakan salah satu cara yang penting untuk mengatasi keterbatasan sumber energi dan masalah lingkungan. Konfigurasi lampu SSL yang banyak dikembangkan adalah kombinasi dari LED berbasis bahan semikonduktor anorganik dengan *phosphor* yang berfungsi sebagai bahan konversi panjang gelombang (warna emisi) LED. Selain *phosphor* anorganik, dikembangkan juga bahan *phosphor* organik sebagai bahan konversi warna emisi. Bahan *phosphor* organik merupakan kromofor fluoresen organik yang didispersikan dalam matriks pelarut atau polimer. Walaupun memiliki kuantum efisiensi yang tinggi dan mudah diproses, bahan *phosphor* organik masih memiliki kendala dalam stabilitas. Dengan berkembangnya bahan polimer hibrid anorganik-organik yang memiliki stabilitas yang baik, upaya peningkatan stabilitas *phosphor* organik dilakukan dengan modifikasi medium pendispersi menggunakan matriks polimer hibrid. Dalam tulisan ini ditampilkan hasil pengembangan bahan *phosphor* organik yang menggunakan matriks polimer hibrid dan contoh penggunaannya sebagai bahan konversi warna emisi dalam aplikasi lampu SSL.

Kata kunci : *Phosphor* organik, polimer hibrid, bahan konversi warna emisi, LED hibrid, lampu SSL.

Abstract. Research and development solid state lighting (SSL) is an important way to overcome problems related to limited energy resources and environment. Most of commercial SSL configurations are a combination of inorganic LED with phosphor as color conversion material. Besides well known inorganic phosphor, organic phosphor also being developed as color conversion material. Organic phosphor consist of fluorescence organic chromophore dispersed in a host matrix of solvent or polymer. Although well know having high quantum efficiency and low production cost, organic phosphor has limitation on their stability. Along with with development of hybrid anorganic-organic polymers which have higher stability, modification of organic phosphor using hybrid anorganic-organic polymer as an host matrix is supposed to improve their stability. We present some results on development of organic phosphor using hybrid polymer host matrix and example of its application as color conversion material in SSL configuration.

Keywords : *Organic phosphor, hybrid polymer, color conversion material, hybrid LED, SSL lamp.*

1. Pendahuluan

Penerangan buatan telah berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi lampu. Penemuan lampu pijar merupakan perkembangan teknologi penerangan buatan yang fenomenal karena sebelumnya bergantung pada lampu minyak, lilin, dan lampu gas. Pada masa sekarang, kebergantungannya manusia pada penerangan buatan sangatlah besar. Namun hal ini harus dicermati karena konsumsi energi listrik untuk penerangan buatan sangat besar yaitu sekitar 22 % dari energi listrik yang tersedia. Selain itu, penerangan buatan berbasis minyak bumi dapat mengakibatkan efek lingkungan melalui emisi gas karbon [1,2].

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

Isu makin terbatasnya sumber energi alam dan polusi lingkungan sudah menjadi perhatian dunia termasuk Indonesia. Hal ini dikarenakan teknologi dan produk teknologi yang ada kurang efisien dan kurang ramah lingkungan. Untuk menghadapi masalah energi tersebut dilakukan melalui pencari sumber energi baru dan terbarukan. Usaha lain yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan efisiensi penggunaan energi melalui pengembangan teknologi dan produk teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Pengembangan bahan konversi warna emisi untuk aplikasi lampu hemat energi adalah salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan sumber energi dan mengurangi masalah lingkungan.

2. Perkembangan Lampu

Ada tiga jenis generasi lampu yang telah tersedia di pasaran yaitu lampu pijar dan sejenisnya, lampu *Cathode Fluorescence Lamp* (CFL) yang dikenal sebagai lampu *Tube Lamp* (TL), dan lampu *Solid state lighting* (SSL) yang dikenal sebagai lampu *Light Emitting Diode* (LED) [1-4]. Lampu pijar dikenal sangat boros karena kurang dari 10% energi yang digunakannya dikonversikan menjadi energi cahaya dan sisanya menjadi panas. Lampu CFL, yang dikenal sebagai lampu hemat energi, memiliki efisiensi yang lebih baik dari lampu pijar. Namun lampu tersebut dirasakan belum ramah lingkungan karena menghasilkan polutan emisi gas merkuri [1]. Perbandingan ketiga jenis lampu tersebut diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan performa dari ketiga jenis generasi lampu yang telah masuk pasaran

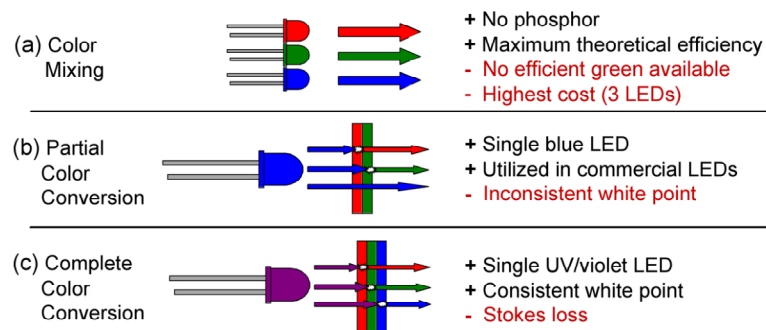
| No | Parameter | Lampu Pijar | Lampu CFL | Lampu LED |
|----|-------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Efisiensi lampu | rendah | 70% lebih hemat dari lampu pijar | 30% lebih hemat dari lampu CFL |
| 2 | Polusi lingkungan | timah & merkuri | merkuri | tidak ada |
| 3 | Jenis bahan | padat | gas | padat |
| 4 | Kesehatan mata | ada emisi UV | ada emisi UV | tak ada emisi UV |
| 5 | Penggunaan | praktis | praktis | sangat praktis |
| 6 | Biaya produksi | sangat murah | kompetitif | kompetitif |

Jenis lampu SSL yang tersedia di pasaran saat ini adalah jenis LED berbasis bahan semikonduktor anorganik InGaN dengan menggunakan phosphor anorganik sebagai bahan konversi warna emisi LED [3,4]. Keunggulan jenis SSL antara lain: 50% lebih efisien dibanding lampu CFL (220% lebih efisien dibanding lampu pijar), lebih ramah lingkungan karena tidak mengemisikan gas merkuri, lebih ramah kesehatan karena tidak mengemisikan cahaya UV dan IR [1, 2]. Namun jenis lampu ini masih sangat mahal, sekitar lima kali lipat harga lampu CFL. Hal tersebut berkaitan dengan rekayasa dan proses pembuatan LED berbasis bahan semikonduktor anorganik yang memerlukan suhu tinggi dan teknologi tinggi [3,4]. Oleh sebab itu, perlu dikembangkan jenis lampu generasi keempat yang dapat diproses pada suhu rendah dengan teknologi yang lebih sederhana. Kriteria teknologi yang dibutuhkan adalah: energi produksi yang lebih efisien, teknologi produksi yang ramah lingkungan, konversi listrik-cahaya yang lebih efisien, limbah lampu yang ramah lingkungan, emisi cahaya lampu yang ramah kesehatan.

3. Lampu SSL

Lampu SSL yang juga dikenal sebagai lampu LED merupakan salah satu alternatif untuk menggantikan lampu pijar dan lampu CFL [1-4]. Pada awalnya LED digunakan sebagai indikator, namun selanjutnya setelah berhasil dibuat LED dengan daya tinggi, LED juga dikembangkan untuk iluminasi (lampu).

Untuk keperluan lampu, telah dikembangkan beberapa konfigurasi LED sehingga dapat mengemisikan cahaya putih. Ada dua pendekatan yang dapat dilakukan agar LED dapat mengemisikan cahaya putih, yaitu mencampurkan emisi dari tiga warna LED tunggal (*color mixing*) dan menggabungkan LED dengan bahan konversi warna emisi (*color conversion*) [5-7]. Pendekatan untuk menghasilkan emisi putih dari LED diperlihatkan pada Gambar 1 [6].



Gambar 1. Pendekatan untuk menghasilkan emisi cahaya putih [6]

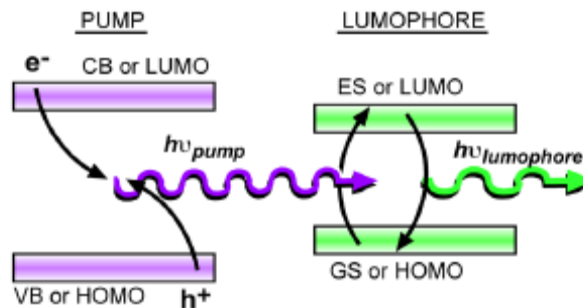
Metode *color mixing* menggabungkan LED tunggal merah, hijau, dan biru (RGB) untuk menghasilkan cahaya putih. Pendekatan *color mixing* mempunyai keuntungan efisiensi cahaya yang maksimum karena tidak ada konversi yang hilang (*loss*). Namun, pendekatan ini juga memiliki beberapa masalah dasar. Pertama, efisiensi dari LED hijau sangat kecil dibanding efisiensi LED merah dan biru, yang dikenal sebagai masalah *green gap*. Oleh karena itu, efisiensi keseluruhan pada metode ini dibatasi oleh efisiensi hijau yang rendah. Selain itu, pendekatan ini merupakan metode yang paling mahal karena setiap lampu memerlukan tiga buah LED.

Metode *color conversion* terdiri dari dua macam yaitu konversi warna emisi lengkap (*complete color conversion*) dan konversi warna emisi sebagian (*partial color conversion*) [5-7]. Pada metoda *complete color conversion*, LED UV dikombinasikan dengan bahan konversi warna emisi. Dalam konfigurasi tersebut LED UV berfungsi sebagai sumber pengekstipasi dan bahan konversi warna emisi berfungsi sebagai pengkonversi panjang gelombang UV menjadi panjang gelombang cahaya tampak. Dengan kata lain, *output* dari LED UV diserap dan diubah oleh bahan konversi warna emisi menjadi cahaya putih. Pendekatan ini banyak digunakan karena memiliki kemampuan menghasilkan titik putih terbaik. Selain itu, pendekatan ini memiliki keuntungan efisiensi kuantum eksternal LED GaN dan InGaN yang tinggi [8, 9].

Pada metode *partial color conversion*, LED biru dikombinasikan dengan bahan konversi warna emisi. LED biru merupakan sumber pengekstipasi (*pump*), dan bahan konversi warna emisi berfungsi sebagai pengkonversi panjang gelombang biru menjadi panjang gelombang kuning. Pada konfigurasi tersebut ada cahaya biru yang bocor, ditransmisikan melalui bahan konversi warna emisi dan bergabung dengan cahaya kuning sehingga dihasilkan emisi putih [3,4]. Metode ini

merupakan pendekatan umum yang paling komersial, memanfaatkan sebuah *chip* LED InGaN yang dilapisi dengan fosfor kuning.

Pada pendekatan *color conversion*, komponen yang menghasilkan emisi cahaya putih dapat dikelompokkan sebagai *pump* dan *lumophore* [6]. *Pump* adalah sumber cahaya eksitasi dengan panjang gelombang pendek : *near-UV*, violet, atau biru. *Lumophore* adalah bahan konversi dengan panjang gelombang paling panjang: merah, hijau, dan biru - RGB. Bahan yang digunakan sebagai *pump* dan *lumophore* dapat berupa bahan anorganik atau bahan organik. Prinsip kerja dari devais ini berdasarkan rekombinasi elektron-hole yang melewati *gap* antara pita konduksi (CB) dan pita valensi (VB) untuk bahan inorganik atau antara *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) ke *highest occupied Molecular Orbital* (HOMO) pada bahan organik, seperti yang secara skematik ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Prinsip kerja terbentuknya emisi putih pada metode *color conversion* [6]

Bahan *lumophore* dikenal juga sebagai *phosphor*, dan untuk selanjutnya dalam tulisan ini *lumophore* akan direfer sebagai *phosphor*. Jika kedua bahan *pump* dan *phosphor* merupakan bahan anorganik, maka lampu SSL yang dihasilkan disebut lampu SSL anorganik [3,4]. Jika bahan *pump* adalah bahan anorganik dan *phosphor* yang digunakan berupa bahan organik, maka lampu SSL yang dihasilkan disebut lampu SSL hibrid [11, 12]. Jika bahan *pump* adalah bahan organik dan *phosphor* yang adalah bahan organik, maka lampu SSL yang dihasilkan disebut lampu SSL organik [13, 14].

4. Parameter Warna Emisi untuk Aplikasi Lampu SSL

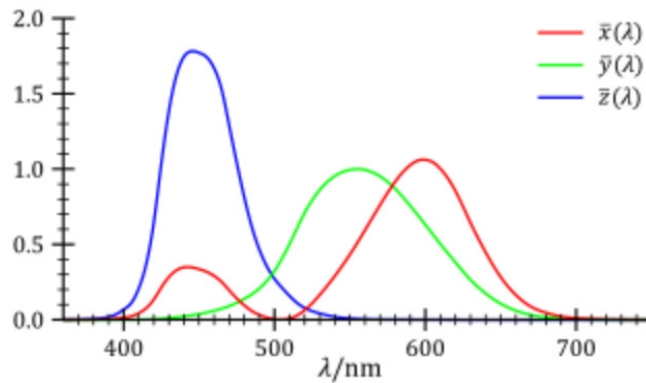
Cahaya dipersepsi sebagai cahaya putih (*white light*) apabila tiga tipe dari *cone* yang terletak di retina mata manusia berada pada rasio tertentu, yaitu dengan intensitas yang sama [3, 15]. Cahaya putih merupakan hasil emisi dari gabungan kromofor RGB yang telah dilarutkan dan dibuat dalam bentuk multi lapis ataupun lapis tunggal yang mengalami eksitasi pada tiga puncak panjang gelombang ketika disinari oleh cahaya pengeksitasi (cahaya UV).

Colorimetry digunakan untuk mengukur dan mendefinisikan warna secara fisik menurut persepsi manusia. *Colorimetry* berhubungan dengan persepsi visual terhadap warna oleh mata manusia dan memberikan deskripsi warna yang kuantitatif dan kualitatif. Pada tahun 1931, CIE (*International Commission on Illumination*) menetapkan sistem tristimulus *X*, *Y*, dan *Z* yang didasarkan pada asumsi bahwa setiap warna putih adalah kombinasi dari tiga warna pokok yaitu merah (*R*), hijau (*G*), dan biru (*B*). Nilai-nilai tristimulus *X*, *Y*, *Z* diperoleh dengan menggabungkan *spectral power distribution* radiasi $S(\lambda)$ dan tiga kurva respon mata $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, dan $z(\lambda)$ dengan rentang panjang

gelombang antara 380 nm sampai 780 nm. Koordinat warna x , y , dan z diturunkan dari nilai tristimulus X , Y , dan Z [16].

Color space CIE tiga dimensi merupakan dasar untuk semua sistem pengelolaan warna. *Color space* ini berisi semua warna yang dapat dilihat jelas oleh mata manusia, tapi kebanyakan tidak dapat ditunjukkan melalui monitor atau dicetak. Diagram kromatisitas CIE dua dimensi xyY merupakan proyeksi khusus dari *color space* CIE tiga dimensi XYZ [17].

Color matching functions merupakan deskripsi numerik dari respon kromatik dari pengamat. CIE telah menetapkan tiga *color matching functions* yang disebut $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$, yang bisa digagaskan sebagai kurva sensitivitas spektral dari tiga detektor cahaya linear yang menghasilkan nilai-nilai tristimulus CIE XYZ yaitu X , Y , dan Z . Tabel nilai numerik dari fungsi ini diketahui secara bersama sebagai *CIE standard observer* [18]. Gambar 3 menunjukkan *CIE standard observer color matching functions* pada panjang gelombang 380 nm sampai 780 nm.



Gambar 3. CIE standard observer color matching functions pada panjang gelombang 380 nm sampai 780 nm (dengan interval 5 nm) [16]

Nilai-nilai tristimulus untuk masing-masing warna dengan *spectral power distribution* $I(\lambda)$ diberikan sebagai *standard observer* dengan nilai X , Y , dan Z seperti diperlihatkan oleh persamaan (1) [17].

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

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 X , Y , Z merupakan nilai-nilai tristimulus CIE XYZ .

Dengan demikian, koordinat warna (x,y) CIE dapat diturunkan dari nilai tristimulus tersebut seperti diperlihatkan oleh persamaan (2) [16].

$$\begin{aligned}x &= \frac{X}{X+Y+Z} \\y &= \frac{Y}{X+Y+Z} \\z &= \frac{Z}{X+Y+Z}\end{aligned}\quad (2)$$

Nilai kromatisitas x , y , z hanya bergantung pada pola spektrum dan tidak bergantung pada intensitas [18]. Karena $x + y + z = 1$, maka cukup mengutip x dan y saja, sementara z diproyeksikan ke bidang xy . Nilai tristimulus X , Y , Z dan koordinat warna x,y diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai tristimulus X , Y , Z dan koordinat warna x,y CIE 1931 [18]

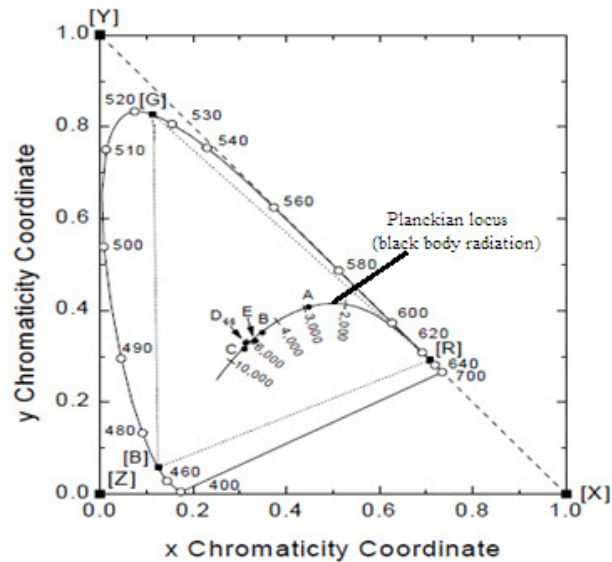
| | Standard Illuminant A | Standard Illuminant D65 | Illuminant C | Illuminant D50 | Illuminant D55 | Illuminant D75 |
|-----|-----------------------|-------------------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| X | 109,85 | 95,04 | 98,07 | 96,42 | 95,68 | 94,97 |
| Y | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |
| Z | 35,58 | 108,88 | 118,22 | 82,51 | 92,14 | 122,61 |
| x | 0,447 58 | 0,312 72 | 0,310 06 | 0,345 67 | 0,332 43 | 0,299 03 |
| y | 0,407 45 | 0,329 03 | 0,316 16 | 0,358 51 | 0,347 44 | 0,314 88 |

Correlated Color Temperature (CCT) adalah temperatur dari radiator benda hitam yang mempunyai warna yang sangat cocok dengan emisi dari radiator non benda hitam. Ini adalah ukuran yang digunakan untuk menggambarkan sifat putih dari sebuah sumber cahaya. Lampu pijar dan CFL berturut-turut yang mempunyai CCT di sekitar 2800K dan di sekitar rentang 2700-3000K, disebut *warm light*, sementara sebuah *cool light* mempunyai CCT sekitar 6500K. Diagram kromatisitas CIE 1931 dengan koordinat warna radiasi benda hitam pada berbagai suhu (CCT) ditunjukkan pada Gambar 4 dan nilai CCT ditunjukkan pada Tabel 3. Berdasarkan diagram CIE 1931, cahaya putih berada pada rentang tertentu yang terletak di daerah segitiga RGB di tengah diagram CIE.

Tabel 3. CCT dan koordinat warna CIE 1931 [19]

| Illuminant | CCT (K) | Koordinat warna (x,y) |
|-----------------------|---------|-----------------------|
| A (Tungsten) | 2856 | 0.4476 , 0.4075 |
| B (Direct Sunlight) | 4874 | 0.3485 , 0.3517 |
| C (Overcast Sunlight) | 6774 | 0.3101 , 0.3163 |
| D65 (Daylight) | 6504 | 0.3127 , 0.3291 |
| E (Equal Energy) | 5400 | 0.3333 , 0.3333 |

Color Rendering Index (CRI) sebuah sumber cahaya putih adalah ukuran perubahan warna yang dialami sebuah objek ketika disinari dengan sumber cahaya dan dibandingkan dengan warna dari objek yang sama ketika disinari dengan sumber cahaya referensi dari temperatur warna yang sebanding. Ini merupakan sistem internasional yang digunakan untuk menilai kemampuan lampu dalam menunjukkan warna objek. CRI berada pada rentang 0-100. Sumber cahaya yang cocok membutuhkan CRI lebih dari 80.



Gambar 4. Diagram kromatisitas CIE 1931 dengan koordinat warna radiasi benda hitam pada berbagai suhu (CCT) [19]

Perlu diperhatikan bahwa warna dari dua sumber cahaya mungkin terlihat sama ketika dilihat secara langsung dan akan mempunyai kromatisitas yang sama. Namun, pada dasarnya warna dari sinar pantul benda yang disinari dengan dua sumber ini mungkin berbeda secara signifikan, sehingga sumber cahaya tersebut akan memiliki CRI yang berbeda. Untuk sumber cahaya putih berkualitas tinggi, sumber koordinat CIE sama dengan sumber radiator benda hitam dengan CCT antara 2500K dan 6500K dan dibutuhkan CRI diatas 80.

5. Pengembangan phosphor organik

Penelitian lampu SSL yang banyak dikembangkan adalah lampu SSL dengan konfigurasi LED anorganik dan bahan *phosphor* [1-13]. Pada konfigurasi tersebut, LED berfungsi sebagai sumber peksitasi dan bahan *phosphor* sebagai bahan pengkonversi panjang gelombang, yang mengkonversi sebagian cahaya LED menjadi lebih panjang. LED yang banyak digunakan terbuat dari bahan semikonduktor anorganik seperti GaN, InGaN, AlInGaN, AlInGaP [8, 9]. Seperti yang disinggung pada bagian awal, bahan *phosphor* yang digunakan dapat berupa *phosphor* anorganik seperti YAG (*Yttrium-Aluminum Garnet*), BOSE (*Ba-Sr-Ca-Orthosilicates*, yang didoping dengan metal kompleks seperti Eu), Nitrides [20-22] atau phosphor organik seperti Coumarin 6, Coumarin 7, 4-diyanomethylene-2-methyl-6-(*p*-dimethylaminostyryl)-4H-pyran (DCM), Coumarin 47, Nile Red, Rhodamine B, [11, 23-28]. K. Long [25] telah berhasil menggunakan Coumarin 47, Coumarin 6 dan Nile red sebagai dye yang disisipkan pada polimer PVK (*Poly(9-vinylcarbazole)*) dan PBD (*2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butyl-phenyl)-1, 3, 4-oxidiazole*).

Keunggulan *phosphor* anorganik adalah stabilitasnya yang tinggi sehingga dapat bertahan terhadap *exposure* cahaya dengan intensitas yang tinggi dalam jangka waktu yang lama. Namun bahan *phosphor* anorganik menghadapi permasalahan hamburan (*scattering*), sehingga membatasi efisiensi kuantum dari bahan tersebut.

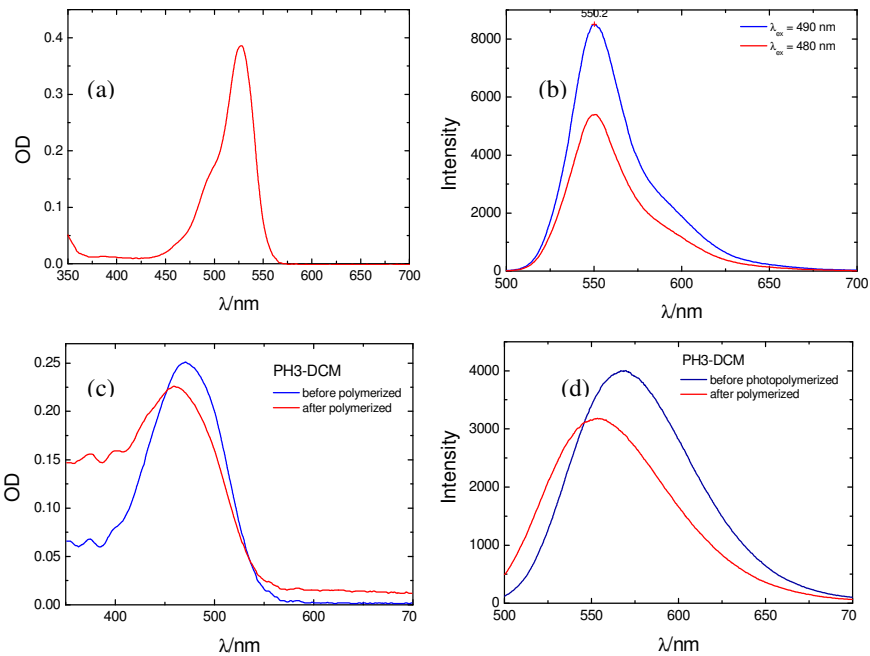
Phosphor organik adalah kromofor fluoresen organik yang didispersikan dalam matriks *host* yang berupa dapat pelarut atau polimer. Bahan kromofor fluoresen organik memiliki efisiensi kuantum yang tinggi dan mudah diproses [26-28] sehingga banyak digunakan untuk aplikasi optoelektronik dan fotonik. Namun bahan ini memiliki keterbatasan dalam segi stabilitas, sehingga studi bahan *phosphor* organik banyak difokuskan dalam fotostabilitas dan mekanisme degradasi [29-31]. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan penggunaan polimer sebagai matriks *host* telah meningkatkan stabilitas bahan *phosphor* organik secara signifikan [32-34]. Berbeda dengan untuk aplikasi laser, aplikasi SSL tidak menuntut fotostabilitas yang terlalu ketat karena intensitas *pumping* cahaya untuk aplikasi SSL tidak terlalu tinggi.

Untuk aplikasi SSL, matriks polimer yang transparan berfungsi sebagai bahan enkapsulasi disamping sebagai matriks *host* bagi kromofor fluoresen organik (*phosphor* organik). Pada tahun 2002, Kuriki melakukan percobaan menggunakan PMMA sebagai matriks untuk Rhodamin 6G [32]. Dari hasil percobaannya, di dapatkan perbedaan spektrum absorpsi dari PMMA yang di doping Rhodamin 6G dengan variasi konsentrasi.

Perkembangan polimer hibrid anorganik-organik membuka kembali peluang penggunaan bahan *phosphor* organik untuk berbagai aplikasi optik dan fotonik [35, 36]. Costela berhasil membuat matriks organik-anorganik yang didoping dengan Rhodamin 6G sebagai bahan laser material padat (*solid state laser*) dengan efisiensi lasing naik sampai 26% [37]. Pada percobaannya, Costela menggunakan *methyl methacrylate* (MMA), *2-hydroxy propyl methacrylate* (HPMA), *2-hydroxyethyl methacrylate* (HEMA) sebagai bahan organik dan *tetraethoxy-silane* (TEOS), *tetramethoxy-silane* (TMOS) sebagai bahan alkoksida anorganiknya [37]. R. Reisfeld berhasil membuat vahan luminesen yang berbasis pada material hibrid organik-anorganik seperti MMA, TEOS, TMOS dan *Organically Modified Silicates* (Ormosil) yang di doping menggunakan kromofor organik [38]. Dari hasil percobaannya didapatkan bahwa Rhodamin lebih stabil pada bahan PMMA dan Ormosil.

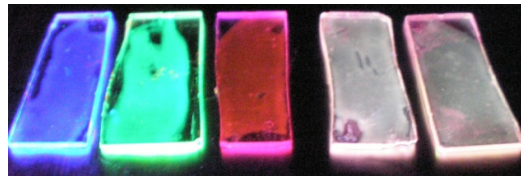
Unit Pengembangan Material Organik Fungsional, Laboratorium Material Maju untuk Energi Terbarukan, Jurusan Fisika FMIPA Unpad bekerjasama dengan KK Fisika Magnetik dan Fotonik FMIPA ITB, secara intensif telah melakukan penelitian sejak 2007 dalam mengembangkan bahan polimer hibrid anorganik-organik. Penelitian diawali dengan pengembangan bahan polimer hibrid anorganik-organik berbasis monomer *3-(Trimethoxysilyl) propyl methacrylate* (TMSPMA) [39, 40]. Bahan prekursor polimer hibrid tersebut selanjutnya digunakan sebagai matriks *host* untuk mendispersi *phosphor* organik (kromofor fluoresensi organik). Beberapa bahan *phosphor* organik yang didispersikan dalam polimer hibrid antara lain Rhodamin 6G [41], DCM [42], kromofor RGB (Coumarin 1, Coumarin 6, dan Nile Red [43-45]). Selanjutnya, bahan *phosphor* organik tersebut sudah dikaji potensi aplikasinya untuk bahan aktif laser dan pandu gelombang [46-54] dan model prototipe SSL berbasis polimer hibrid [55-57].

Pada Gambar 5 diperlihatkan spektrum absorpsi dan spektrum emisi dari bahan *phosphor* organik *Rhodamin 6G perchlorate* dan DCM dalam matriks polimer hibrid [41,42]. Tampak bahwa spektrum Rhodamin 6G dalam matriks polimer hibrid mempunyai nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang 528 nm dan spektrum DCM pada panjang gelombang 480 nm. Gambar 5.b dan 5.d adalah spektrum emisi dari *dye* Rhodamin 6G dan DCM dalam matriks polimer hibrid yang dieksitasi dengan cahaya UV pada panjang gelombang 365 nm. Spektrum emisi Rhodamin 6G dalam matriks polimer hibrid memiliki puncak pada 550 nm dan spektrum emisi DCM memiliki puncak pada 570 nm. Dari data pada Gambar 5 tampak bahwa bahan *phosphor* organik tersebut dapat mengkonversi panjang gelombang UV menjadi cahaya tampak.



Gambar 5. Spektrum absorpsi Rhodamin 6G dalam matriks polimer hibrid (a), Spektrum emisi dye Rhodamin 6G dalam polimer hibrid yang dieksitasi dengan panjang gelombang 365 nm (b), Spektrum absorpsi DCM dalam matriks polimer hibrid (c), spektrum emisi DCM dalam polimer hibrid dye Rhodamin 6G

Gambar 6 memperlihatkan contoh film tipis *phosphor* organik berupa kromofor fluoresen organik yang didispersikan dalam matriks *host* polimer hibrid anorganik-organik. Tampak bahwa dengan menggunakan bahan *phosphor* organik dapat dimungkinkan pembuatan struktur (geometri) planar dengan permukaan yang luas. Dilain pihak, bentuk geometri planar sangat penting dan bermanfaat untuk aplikasi berupa lampu berbentuk panel lebar atau untuk *backlighting* pada LCD [6]. Dengan struktur lampu berbentuk panel lebar, lampu tersebut dapat ditempelkan di mana saja dan distribusi pencahayaan dalam ruang dapat menjadi lebih baik dibanding lampu CFL. Dalam *road map* penelitian, studi aplikasi bahan *phosphor* organik sebagai bahan konversi warna emisi untuk lampu SSL berbentuk panel lebar merupakan tahapan yang akan dikembangkan selanjutnya.



Gambar 6. Contoh film tipis *phosphor* organik berupa kromofor fluoresen organik (biru, hijau, merah dan kromofor RGB putih) yang didispersikan dalam matriks *host* polimer hibrid anorganik-organik

6. LED Hibrid untuk Aplikasi Lampu SSL

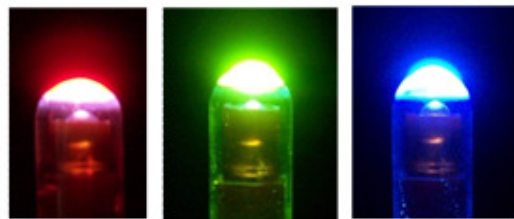
Konfigurasi LED hibrid terdiri dari LED anorganik sebagai sumber pengekstasi (*emitter*) dan *phosphor* organik sebagai bahan pengkonversi panjang gelombang. Dengan konfigurasi semacam itu diharapkan dapat dihasilkan emisi cahaya tampak dengan efisiensi yang maksimum. Hal

tersebut dapat dimungkinkan karena selain teknologi pembuatan LED violet dan LED biru anorganik sudah berhasil mencapai efisiensi yang tinggi [8,9], juga *phosphor* organik memiliki efisiensi kuantum yang tinggi [27,28].

Selain itu, penggunaan *phosphor* organik memungkinkan pengembangan lampu SSL dengan konfigurasi planar yang dapat dibuat dalam ukuran besar [6]. Sama seperti lampu LED dari bahan anorganik, LED hibrid dapat diaplikasikan untuk displai, lampu SSL, dan laser. Jika lampu LED yang terbuat dari bahan anorganik dikenal sebagai lampu generasi ketiga, lampu SSL yang dikembangkan dari LED hibrid dapat direfer sebagai lampu generasi keempat karena merupakan jenis lampu generasi baru.

LED hibrid pertama kali dikembangkan oleh Guha dkk [11] dengan menggunakan LED yang terbuat dari bahan GaN dan bahan konversi warna emisi berupa kromofor fluorezen organik Coumarin 7, Coumarin 6 dan DCM. Selanjutnya Hide dkk [12] mengembangkan LED hibrid dengan menggunakan bahan polimer terkonjugasi.

LED hibrid merupakan komponen utama dari suatu lampu SSL hibrid. Selain LED hibrid, beberapa komponen lain yang diperlukan untuk pembuatan lampu SSL hibrid antara lain *housing* lampu, *driver* LED, *reflector*, dan *heatsink*. Ada dua konfigurasi yang digunakan untuk pengembangan LED hibrid, yaitu konfigurasi dengan bahan *phosphor* organik dilapiskan pada permukaan gelas *semi-hemisphere*, dan konfigurasi dengan bahan konversi dideposisikan langsung pada permukaan LED pengeksitasi (*pumping*).



Gambar 7. Model prototipe LED hibrid yang terdiri dari LED ultraviolet dengan *phosphor* organik.

Bahan konversi warna emisi yang berupa *phosphor* organik telah diaplikasikan untuk model prototipe LED hibrid seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7 [55-57]. Model prototipe LED hibrid terdiri dari LED UV InGaN dan *phosphor* organik yang terdiri dari kromofor fluorosensi merah (R), hijau (G), dan biru (B) yang didispersikan dalam matriks host polimer hibrid anorganik-organik [56]. Dalam gambar tersebut tampak bahwa *phosphor* organik yang digunakan berupa polimer hibrid dengan doping kromofor tunggal, masing-masing berwarna hijau, biru, dan merah.

Selanjutnya pada Gambar 8 diperlihatkan model yang sama dengan menggunakan *phosphor* organik yang terdiri dari blend kromofor fluorosensi RGB. Beberapa aspek telah ditelaah dalam usaha untuk menghasilkan bahan *phosphor* organik dengan emisi putih seperti variasi komposisi [58], dan variasi panjang gelombang pengeksitasi [59]. Hasil yang didapat menunjukkan bahan *phosphor* organik yang dibuat sudah mendekati koordinat *warm light* pada kurva CIE 1931, baik dengan konfigurasi *blend* maupun konfigurasi multi lapis [57, 58].



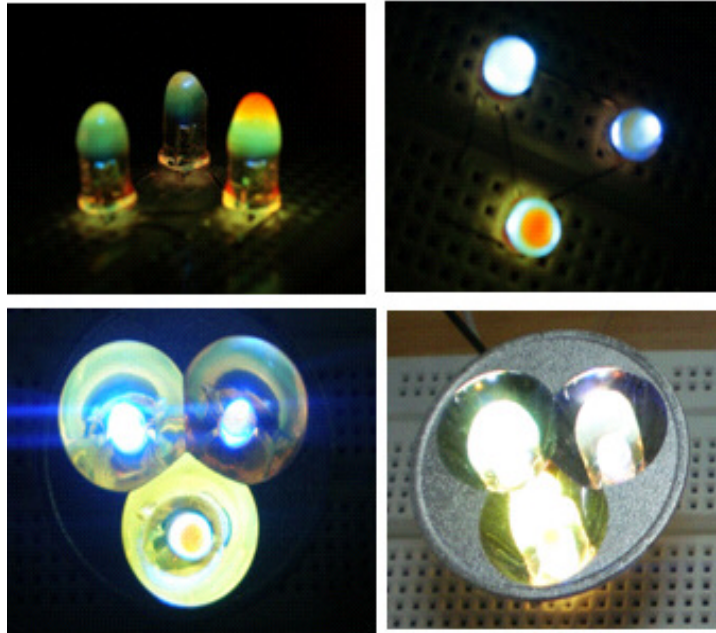
Gambar 8. Model prototipe LED hibrid dengan *phosphor* organik yang terbuat dari blend kromofor RGB organik dalam matriks polimer hibrid.

Gambar 9 memperlihatkan konfigurasi LED hibrid yang berbeda dibandingkan konfigurasi sebelumnya yang diperlihatkan pada Gambar 7. Dalam gambar tersebut diperlihatkan pula contoh unit yang disusun dari beberapa LED hibrid yang dilengkapi dengan reflektor. Dari gambar tersebut tampak peranan reflektor dalam meningkatkan intensitas emisi cahaya yang terpancarkan.

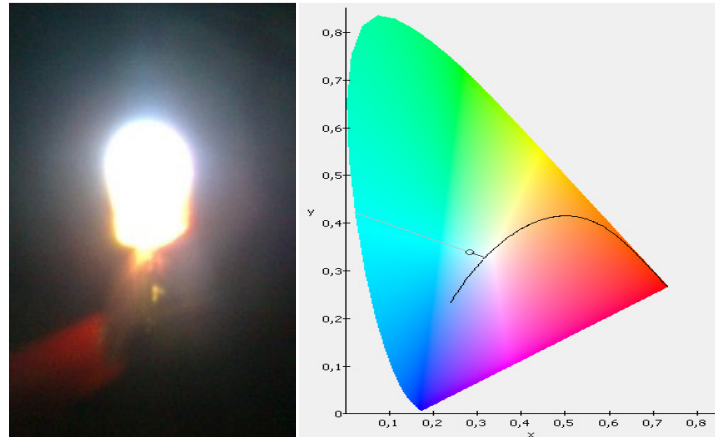


Gambar 9. Contoh emisi dari prototipe LED hibrid yang menggunakan bahan *phosphor* organik yang terdiri dari kromofor fluoresensi tunggal.

Contoh lain pada Gambar 10 adalah LED hibrid yang dibuat dengan menggunakan *phosphor* organik yang berupa *blend* dari beberapa kromofor fluoresensi organik RGB [59]. Tampak bahwa potensi emisi warna putih sudah dapat dicapai dengan menggunakan *phosphor* organik yang berupa *blend* kromofor RGB dengan komposisi tertentu. Dari hasil-hasil tersebut tampak bahwa *phosphor* organik yang dikembangkan sudah mendekati daerah putih yang didefinisikan sebagai *day light*. Hasil yang didapat ini telah mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibanding dengan hasil sebelumnya.



Gambar 10. Contoh emisi dari prototipe LED Hibrid yang menggunakan *phosphor* organik yang terdiri dari blend kromofor fluoresensi organik RGB.



Gambar 11. Contoh emisi dari LED hibrid dengan *phosphor* organik dengan konfigurasi multi lapis yang menghasilkan emisi putih mendekati *day light*.

Gambar 11 adalah contoh prototipe LED hibrid dengan bahan fosfor organik dengan konfigurasi *multilayer* yang menggunakan sumber pengekstasi berupa LED UV. Lapisan fosfor organik tersebut terdiri dari polimer hibrid dengan kromofor fluoresensi tunggal merah (R), atau hijau (G), atau biru (B). Konfigurasi tersebut dikenal sebagai fosfor organik multilapis. Koordinat warna emisi yang dihasilkan pada konfigurasi tersebut adalah (0.2825, 0.3388) yang mendekati titik *equal* putih.

Hasil-hasil yang didapat telah menunjukkan emisi cahaya putih yang didapat sudah mendekati titik koordinat *warm light* dan titik *equal* putih. Masih diperlukan penelitian lanjutan untuk memperbaiki kualitas *white light* yang dihasilkan sesuai dengan standard CIE melalui pengendalian proses polimerisasi matriks polimer hibrid dan komposisi kromofor fluoresensi organik. Selain itu, masih diperlukan perbaikan parameter kinerja prototipe seperti efisiensi, efikasi, stabilitas operasional dan *life time*. Untuk keperluan komersialisasi produk, masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut berkaitan dengan scale up bahan matriks polimer hibrid, teknik fabrikasi dalam skala besar [60].

7. Rangkuman

Bahan *phosphor* organik telah berhasil dikembangkan dari kromofor fluoresensi organik RGB yang didispersikan didalam matriks *host* polimer hibrid anorganik-organik. *Phosphor* organik yang dikembangkan tersebut telah berfungsi sebagai bahan konversi warna emisi dari cahaya UV atau biru yang menjadi emisi pada cahaya tampak. LED hibrid telah berhasil dikembangkan dengan menggunakan LED anorganik InGaN sebagai sumber pengeksitasi dan *phosphor* organik sebagai bahan konversi warna emisi. Dalam usaha menghasilkan emisi cahaya putih, telah dikembangkan pula *phosphor* organik dalam struktur blend kromofor organik RGB dan struktur multilapis kromofor organik tunggal. LED hibrid tersebut selanjutnya dapat digunakan untuk lampu SSL dengan menggabungkannya dengan komponen lain seperti *driver* LED, *reflector*, *heatsink*, dan *housing* lampu.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari projek riset yang didanai oleh dana Dikti tahun 2011 melalui Hibah Penelitian Unggulan Strategis Nasional 2011 No. 486/SP2H/PL/Dit.Litabmas /IV/2011, tanggal 12 Mei 2011.

Daftar Pustaka

1. E.F. Schubert, J.K. Kim, "Solid-State Light Sources Getting Smart", *Science* 308 (2005), 1274-1278.
2. C. J. Humphreys, "Solid-State Lighting", *MRS Bulletin* 33 (2008), 459-470.
3. A. Zukauskas, M.S. Shur, R. Gaska, *Introduction to Solid State Lighting*, Wiley-Interscience, 2002.
4. G. Held, *Introduction to Light Emitting Diode Technology and Application*, CRC Press, 2009.
5. S. Muthu, F. J. P. Schuurmans, and M. D. Pashley, "Red, Green, and Blue LEDs for white light illumination," *IEEE J. Select. Topics Quantum Electron.* 8 (2002), 333-338.
6. A. 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.
7. J.Y. Tsao, "Solid-State Lighting: Lamps, Chips, and Materials for Tomorrow", *IEEE Circuits & Devices* 20 (2004), 28-37.
8. S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, "Candela-class high-brightness InGaN/AlGaN double-heterostructure blue-light-emitting", *Appl. Phys. Lett.* 64 (1994), 1687-1689.
9. S. Nakamura, "Current Status of GaN-based Solid State Lighting", *MRS Bulletin* 34 (2009), 101-107.
10. D. A. Steigerwald, J. C. Bhat, D. 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.
11. S. Guha, R. A. Haight, N. A. Bojarczuk, D. W. Kisker, "Hybrid organic-inorganic semiconductor-based light-emitting diodes", *J. Appl. Phys.* 82 (1997), 4126-4128.

12. F. Hide, P. Kozodoy, S. P. DenBaars, A. J. Heeger, "White light from InGaN/conjugated polymer hybrid light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.* 70 (1997), 2664-2666 .
13. B.W. D'Andrade, S. R. Forrest, "White Organic Light-Emitting Device for Solid State Lighting", *Adv. Matter.* 16 (2004), 1585-1595.
14. K.T. Kamtekar, A.P. Monkman, M.R. Bryce, "Recent Advances in White Organic Light-Emitting Materials and Devices (WOLEDs)", *Adv. Mater.*, 22 (2010), 572-582.
15. E. Fred, 2006, *Light-Emitting Diodes Second Edition*, Cambridge
16. *Handbook of LED Metrology*, Version 1.1, p. 6, Instrument Systems GmbH, Germany.
17. G. Hoffmann, 2006, *CIE Color Space*, www.fho-empden.de
18. Technical Report Colorimetry Third Edition, CIE (International Commission on Illumination), 2004
19. M. M-Y. Chan, *et al.*, "Overview and Highlight of WOLEDs and Organic Solar Cells : From Research to Applications", in *WOLEDs and Organics Photovoltaics: Recent Advances and Application* (Editor: V.W.W. Yam), Springer, 2010.
20. R. Mueller-Mach, G.O. Mueller, M.R. Krames, T. Trottier, "High Power Phosphor – converted Light-Emitting Diode based on III-Nitrides", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, 8(2002), 339-345.
21. S. Neeraj, N. Kijima, A.K. Cheetham, "Novel red phosphors for solid-state lighting: the system $\text{NaM}(\text{WO}_4)_{2-x}(\text{MoO}_4)_x:\text{Eu}^{3+}$ (M=Gd, Y, Bi)", *Chemical Physics Letters* 387 (2004), 2-6.
22. R. Mueller-Mach, G.O. Mueller, M.R. Krames, H.A. Hoppe, F. Stadler, W. Schnick, T. Juestel, P. Schmidt, "Highly Efficient All-Nitride Phosphor-converted White Light Emitting Diode", *Physica Status Solidi*, 202 (2005), 1727-1732.
23. G. Seybold and G. Wagonblast, "New perylene and violanthrone dye stuffs for fluorescent collectors," *Dyes and Pigments*, 11 (1989), 303-317.
24. A. Niko, S. Tasch, F. Meghdadi, C. Brandstgter, C. Leising, White light and red-green-blue (RGB) electroluminescence by light color-conversion, *Optical Materials* 9 (1998) 188-191.
25. K.F. Long, M. Pschenitzka, and J.C. Sturm, " Full-Color OLEDs Integrated by Dry Dye Printing", *IEEE Transactions on Electron Device* 53 (2006), 2250-2258.
26. C-C Wu, J.C. Sturm, R.A. Register, J. Tian, E.P. Dana, M.E. Thompson, "Efficient Organic Devices Using Single-Layer Doped Polymer Thin Films with Bipolar carrier Transport Abilities", *IEEE Trans. on Electron. Dev.* 44(1997), 1269-1281.
27. A. K. Sheridan, A. R. Buckley, A. M. Fox, A. Bacher, D. D. C. Bradley, and I. D. W. Samuel, "Efficient energy transfer in organic thin films--implications for organic lasers," *J. Appl. Phys.*, 92 (2002), 6367-6371.
28. S. A. Swanson, G. M. Wallraff, J. P. Chen, W. Zhang, L. D. Bozano, K. R. Carter, J. R. Salem, R. Villa, J. C. Scott, "Stable and Efficient Fluorescent Red and Green Dyes for External and Internal Conversion of Blue OLED Emission", *Chem. Mater.* 15(2003), 2305-2312.
29. R. Reisfeld, R. Gvishi, and Z. Burshtein, "Photostability and loss mechanism of solid-state red perylimide dye lasers," *J. Sol-Gel Sci. Tech.*, 4 (1995), 49-55.
30. A. Dubois, M. Canva, A. Brun, F. Chaput, and J.-P. Boilot, "Photostability of dye molecules trapped in solid matrices," *Appl. Opt.*, 35(1996), 3193-3199.
31. M. D. Rahn, T. A. King, A. A. Gorman, and I. Hamblett, "Photostability enhancement of pyromethene 567 and perylene orange in oxygen-free liquid and solid dye lasers," *Appl. Opt.*, 36 (1997), 5862-5871.
32. K. Kuriki, T. Kobayashi, N. Imai, T. Tamura, Y. Koike, Y. Okamoto, " Organic Dye-doped Polymer Optical Fiber Lasers", *Polym. Adv. Technol.* 11 (2000), 612-616.
33. M. D. Rahn and T. A. King, "High-performance solid-state dye laser based on perylene-orange-doped polycom glass," *J. Mod. Opt.*, 45(1998), 1259-1257 .
34. M. D. Rahn and T. A. King, "Comparison of laser performance of dye molecules in sol-gel, polycom, ormosil, and poly(methyl methacrylate) host media," *Appl. Opt.*, 34 (1995), 8260-8271.
35. D G. Kickelbick, *Hybrid Materials*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany (2007).
36. P. Gómez-Romero, C. Sanchez, *Functional Hybrid Materials*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany (2004).
37. A. Costela, I. García-Moreno, D. del Agua, O. García, and R. Sastre, " Highly photostable solid-state laser based on silicon-modified organic matrices", *Journal of Applied Physics* 101 (2007), 073110-1 - 073110-11.

38. R. Reisfeld, "Prospect of sol-gel technology towards luminescent materials", *Optical Materials*, 16 (2001), 1-7.
39. P. Pitriana, R. Hidayati, D. Purba, N. Syakir, F. Fitrilawati, Herman, R. Hidayat, *Preparation and Characterization of Hybrid Inorganic-Organic Polymer*, International Seminar on Chemistry 2008, Bandung 30-31 October 2008 303.
40. H. Herman, T. Suzuki, P.S. Tola, R. Miranti, F. Fitrilawati, R. Hidayat, *Synthesis of hybrid organic-inorganic polymer by sol-gel method and its characterisation*, International Conference on Mathematics and Natural Sciences 2008, Bandung 28 -30 October 2008.
41. Silvia, S. Hidayat, Y. Yuliah, F. Fitrilawati, P.S. Tola, R. Hidayat, *Preparation of Hybrid Inorganic-Organic Polymer Doped with Rhodamin G6 and Its Characterization*, International Seminar on Chemistry 2008, Bandung 30-31 October 2008.
42. Fitrilawati, D.Purba, P.Pitriana, S. Hidayat, N. Syakir, R. Hidayat, *Pembuatan dan Karakterisasi Polimer Hibrid yang Didoping Kromofor DCM*, Seminar Fisika dan Aplikasinya 2009, Surabaya 3 Nopember 2009.
43. Norman Syakir, Pina Pitriana, Rahmatul Hidayati, Danil Purba, Fitrilawati, Herman, Rahmat Hidayat, "Preparation of Hybrid Organic-Inorganic Polymer Doped with RGB Organic Chromophores and Their Characterizations", 7th International Symposium of Modern Optics and its Application (ISMOA 2009), Bandung, Indonesia 10 – 14 August 2009.
44. N. Syakir, I. Masruri, F. Fitrilawati, "Optimasi Komposisi Blend Kromofor Organik RGB untuk menghasilkan Luminisensi Putih" Seminar Nasional Himpunan Fisika Indonesia 2010, Bandung 11 – 12 Mei 2010.
45. F. Fitrilawati, Indra Masruri, N. Syakir, P. Pitriana, R. Hidayat, "Pembuatan Bahan Luminesen Berbasis Polimer Hibrid dengan Dopan RGB Organik Untuk Aplikasi Lampu Flouresen Padat", Prosiding Seminar Nasional Energi 2010, Jatinangor 3 November 2010 (2010) (ISSN 2087-7471).
46. Rahmat Hidayat, Herman, Alexander A. Iskandar, May On Tjia, Fitrilawati, Masayoshi Ojima, Masanori Ozaki, Fabrication of Distributed Feed Back Gratings based on Hybrid Polymers and the Observation of Photo-pumping Lasing inside those Structures, Proceeding of The 2nd International Conference on Mathematics and Natural Sciences, Bandung (2008).
47. Rahmat Hidayat, Sahrul Hidayat, Fitrilawati, Herman, Masayoshi Ojima, Akihiko Fujii, Masanori Ozaki, "Fabrication of Distributed Feedback Grating from Polymer Hybrid which Showing Photo-pumped Lasing Action", International Conference on Materials for Advanced Technologies 2009, Singapore, 28 June – 3 July 2009.
48. S. Hidayat, Fitrilawati, A. Bahtiar, R.E. Siregar, R. Hidayat, "Sintesis dan Karakterisasi Polimer Hibrid untuk Aplikasi Laser", Seminar Fisika dan Aplikasinya, Surabaya 3 November 2009.
49. Sahrul Hidayat, Rahmat Hidayat, Fitrilawati, Ayi Bahtiar, Rustam Siregar, Masanori Ozaki, "Fabrication of Two Dimensional Grating by Laser Interference Method and Its Lasing Characteristic", 7th International Symposium of Modern Optics and its Application (ISMOA 2009), Bandung, Indonesia 10 – 14 August 2009.
50. Sahrul Hidayat, Rahmat Hidayat, Fitrilawati, A. Bahtiar, R.E. Siregar, and M.Ozaki, *Application Of Hybrid Polymer As Two-Dimensional Grating And Its Laser Characteristic*, Malaysia, December 7 – 8, 2009.
51. Rahmat Hidayat, Herman, Fitrilawati, Masayoshi Ojima, and Masanori Ozaki (2010), *Fabrication of Distributed Feedback Grating from Hybrid Polymer Which Exhibits Photo-pumped Lasing Action*, International Journal of Nanoscience Volume: 9, Issue: 4 pp. 307-310 (ISSN: 0219-581X).
52. Sahrul Hidayat, Rahmat Hidayat, Fitrilawati, Ayi Bahtiar, Rustam Effendi Siregar, and M Ozaki, "Application of Hybrid Polymer as Laser Devices Based on 2D Grating with Square Structure", Indonesian Journal of Physics 21 (3), 83-87 (2010).
53. Sahrul Hidayat, P. Pitriana, R. Hidayat, Fitrilawati, A. Bahtiar, Rustam Effendi Siregar, and M Ozaki, "Application of Hybrid Polymer as Two Dimensional Grating and Its Lasing Characteristic", Sains Malaysiana 40 (1), 39-42, (2011) (ISSN 0126-6039).
54. Rahmat Hidayat, Sahrul Hidayat, Fitri Fitrilawati, Herman, May On Tjia, Akihiko Fujii, Masanori Ozaki (2011), "Distributed Feedback Grating Fabricated From Hybrid Polymer Precursor Gel by employing short-pulse laser interference for Photo-pumped laser application", *Polymer Advanced Technology* (in press).

55. I. Masruri, P. Pitriana, N. Syakir, R. Hidayat, F. Fitrilawati, "Model Divais Fotoluminisensi RGB Berbasis Polimer Hibrid dan Karakteristiknya" Seminar Nasional Himpunan Fisika Indonesia 2010, Bandung 11 – 12 Mei 2010.
56. Norman Syakir, Fitrilawati, Indra Masruri dan Rahmat Hidayat, "Prototipe Lampu Fluoresen Padat Berbasis Polimer Hibrid dan Karakterisasinya", Prosiding Seminar Nasional Energi 2010, Jatinangor 3 November 2010 (2010) (ISSN 2087-7471).
57. N. Syakir, I. Masruri, Fitrilawati, P. Pitriana, R. Hidayat, *Karakteristik Model Divais Fotoluminisensi RGB Multilapis Berbasis Polimer Hibrid*, Jurnal Bionatura 2012, (accepted).
58. Yolla Sukma Handayani, Norman Syakir, Fitrilawati, "Pengaruh Komposisi Kromofor RGB pada Bahan Luminisensi Berbasis Polimer Hibrid Terhadap Koordinat Warna", Simposium Fisika Nasional (SFN) XXIV, Bandung 10-11 November 2011.
59. Norman Syakir, Yola S. Handayani, Rustam E. Siregar, Fitrilawati, "Pengaruh Panjang Gelombang Eksitasi Terhadap Koordinat Warna Emisi Kromofor Organik RGB dalam Polimer Hibrid", Simposium Fisika Nasional (SFN) XXIV, Bandung 10-11 November 2011.
60. Fitrilawati, Linda Pebriani, Nety Fitrianiingsih, Tuti Susilawati, Norman Syakir, Pina Pitriana, Rahmat Hidayat, "Pengaruh Scale-up Parameter Sintesis Prekursor Polimer Hibrid Terhadap Yield, Struktur dan Transparansi Bahan", Simposium Fisika Nasional (SFN) XXIV, Bandung 10-11 November 2011.