

**Kepala Bidang Sinergi Program**

**Drs. Dadi Alamsyah**  
Nip. 19621 225 198303 1 003

**SURAT TUGAS**

Nomor: 226A/MACHUNG/ST/IX/2014

Wakil Rektor bidang Akademik dan Kemahasiswaan Universitas Ma Chung menugaskan:

Nama : Tatas H.P. Brotosudarmo, Ph.D  
Nomor Induk Pegawai : 20110016  
Jabatan : Kepala Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigments  
(MRCPP)

untuk mengikuti Seminar Ilmiah INSINAS 2014 dengan tema "Membangun Sinergi Riset Nasional untuk Kemandirian Teknologi" yang diselenggarakan oleh Kementerian Riset dan Teknologi pada tanggal 1 - 2 Oktober 2014 di Hotel Horison, Bandung.

Yang bersangkutan berkewajiban membuat laporan kegiatan segera setelah kembali dari tugas tersebut di atas.

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dipergunakan dengan benar.

Malang, 29 September 2014

Yang menugaskan,

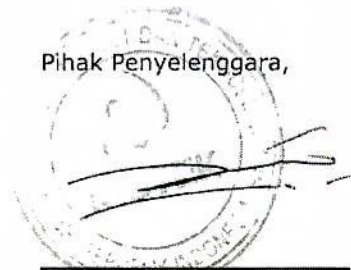


**MA CHUNG**

**Ir. Stefanus Yufra M. Taneo, M.S., M.Sc.**

Wakil Rektor I

Pihak Penyelenggara,



(Nama Terang)

Tembusan:

1. Rektor Universitas Ma Chung
2. Wakil Rektor II Universitas Ma Chung
3. Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigments
4. Direktorat Pengembangan Sumber Daya Manusia Universitas Ma Chung





# *Sertifikat*

Sertifikat ini diberikan kepada :

**Tatas H.P. Brotosudarmo, Ph.D.**

---

atas partisipasinya sebagai :

**PESERTA**

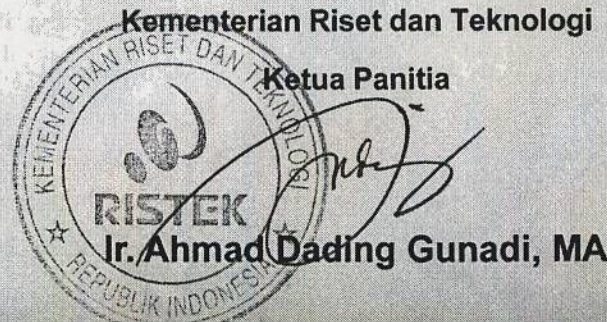
**Seminar Ilmiah Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional**

**“Membangun Sinergi Riset Nasional untuk Kemandirian Teknologi”**

**Bandung, 1 - 2 Oktober 2014**

Kementerian Riset dan Teknologi

Ketua Panitia



**Ir. Ahmad Dading Gunadi, MA**



# Perakitan Sel Surya Berteknologi Plasmon: Sistem Hibrida Kompleks Fotosintesis Dengan Nano Partikel Metal

Tatas H.P. Brotosudarmo, Monika N.U. Prihastyanti, Marcellinus Adhiwibawa, Muhammad Bening Tirta

<sup>1</sup>Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigments (MRCPP), Universitas Ma Chung, Villa Puncak Tidar N-01, Malang 65151

Bandung, 1-2 Oktober 2014

## ABSTRAK

*Alam memberikan model sistem yang dapat menangkap energi cahaya matahari dan mampu menggunakan energi tersebut untuk memecahkan air serta mereduksi karbon dioksida menjadi bahan bakar berbasis senyawa karbon. Sel surya organik dikembangkan meniru alam, namun belum mampu menangkap energi matahari secara optimal. Sel surya biohybrid merupakan teknologi terkini memadukan antara antena kompleks penangkap cahaya alami, yang mampu menangkap energi cahaya secara efisien hampir pada setiap panjang gelombang, dengan nanostruktur anorganik seperti partikel nano metal dan nano kristal semikonduktor. Teknologi tersebut memungkinkan pemanfaatan peningkatan medan elektromagnetik lokal oleh resonansi plasmon pada partikel nano metal untuk meningkatkan performansi penangkapan cahaya serta fotostabilitas dari antena kompleks tersebut secara berlipat ganda.*

*Kata Kunci : Antena Penangkap Cahaya, Pusat Reaksi, Teknologi Plasmon, Sel Surya Tersensitasi Zat Warna (DSC)*

## I. PENDAHULUAN

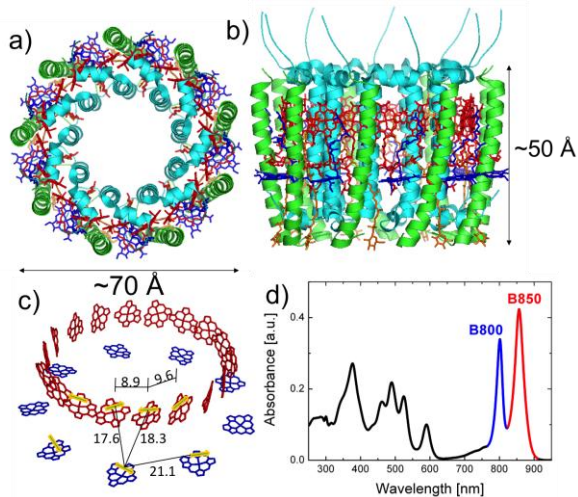
Nano partikel metal sering digunakan untuk mengontrol dan memanipulasi medan optis skala nano melalui eksitasi bersama elektron bebas bernama plasmon. Modifikasi sifat optik molekul fluorofor melalui induksi plasmon telah banyak dimanfaatkan di berbagai riset termasuk untuk aplikasi optoelektronik, biosensor, fotosintesis artifisial, dan spektroskopi resolusi tinggi. Riset dan pengembangan alat berbasis eksitasi plasmon dari nano partikel metal dibutuhkan suatu kontrol morfologi dan geometri dalam skala nano sehingga memberikan pengaruh pada karakteristik spektrum dari molekul fluorofor, misalnya pengaruh terhadap peningkatan kemampuan absorpsi atau emisi dari molekul tersebut, secara khusus untuk sistem multi-kromofor.

Sistem multi-kromofor yang menjadi fokus dalam artikel ini adalah kompleks fotosintesis yaitu antena penangkap cahaya perifer (Peripheral Light Harvesting Complexes, LH2) dan kompleks penangkap cahaya inti pusat reaksi (Core Light Harvesting-Reaction Center Complex, LH1-RC). Dalam sistem tersebut energi sinar cahaya matahari ditangkap oleh pigmen-pigmen bakterioklorofil dan karotenoid yang terikat dalam matriks protein; kemudian energi ditransferkan ke pusat reaksi, dimana elektron dihasilkan. Studi teoritis memberikan indikasi bahwa dalam kondisi yang memungkinkan, kapling antara kompleks fotosintesis dan nano partikel metal dapat memproduksi arus foto lebih efisien dibanding dengan

kondisi asli. Artikel pendek ini akan mengulas hasil-hasil riset dan pengembangan perakitan sel surya berbasis teknologi plasmon dengan nano partikel metal emas yang dikerjakan dalam program hibah Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional dari tahun 2012 s.d. 2014.

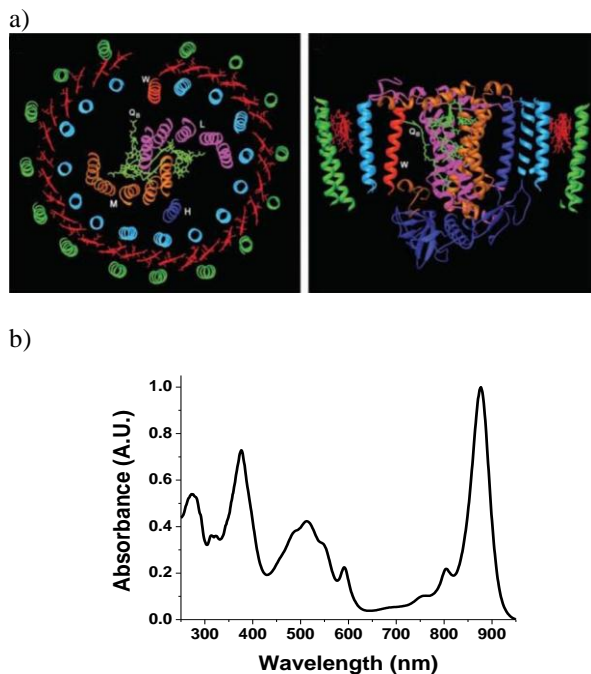
## II. Kompleks fotosintesis

Kompleks fotosintesis dalam bakteri fotosintesis ungu terdiri dari dua tipe yaitu tipe antena penangkap cahaya perifer (LH2) dan kompleks penangkap cahaya inti pusat reaksi. Struktur X-ray dari LH2 menunjukkan (Gambar 1) bahwa antena penangkap cahaya LH2 memiliki 27 molekul bakterioklorofil, 9 karotenoid, dan 9 pasang polipeptida [1]. Molekul bakterioklorofil memiliki 2 tipe orientasi. Tipe pertama yaitu 18 molekul (molekul warna merah pada Gambar 1) memiliki cincin makrosiklis paralel terhadap protein. Tipe ke-2 yaitu 9 bakterioklorofil dengan orientasi makrosiklis perpendikular terhadap protein. Sebagai akibat dari dua orientasi yang berbeda maka bakterioklorofil pada LH2 mampu memiliki serapan dengan dua pita pada panjang gelombang maksimum ( $\lambda_{max}$ ) pada 800 dan 850 nm. Sedangkan karotenoid menyerap pada panjang gelombang tampak yaitu 400 s.d. 550 nm.



**Gambar 1.** Struktur X-ray LH2 dari *Rhodospseudomonas acidophila* strain 10050 dengan pengambilan gambar tampak atas (a), tampak samping (b). Tampilan orientasi makrosiklis bakterioklorofil digambar secara terpisah (c). Spektrum absorpsi LH2 pada temperatur ruang (c).

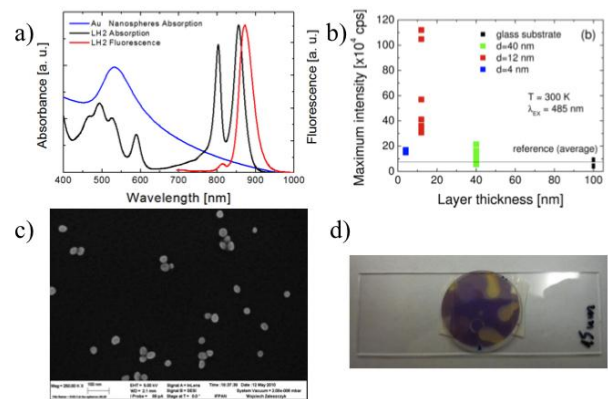
Sedangkan struktur X-ray dari kompleks antena penangkap cahaya inti pusat reaksi (Gambar 2a) dari bakteri *Rhodospseudomonas palustris* terdiri dari 36 bakterioklorofil molekuler dan 18 karotenoid [2]. LH1-RC ini mampu menyerap energi cahaya hingga di panjang gelombang dekat inframerah (*near infrared*) (Gambar 2b).



**Gambar 2.** Struktur X-ray LH1-RC dari *Rhodospseudomonas palustris* (a) dan spektrum serapannya (b).

## II. Desain perakitan sistem hibrid dengan nano partikel metal emas

Dalam kaitannya dengan aplikasi fotovoltaik, desain perakitan sistem sangat penting dalam teknologi plasmon untuk mempelajari kontrol morfologi dan geometri molekul sampel terhadap nano partikel metal. Plasmon adalah osilasi elektron bebas dari nanopartikel logam. Salah satu fungsi penggunaan nanopartikel yaitu dipakai sebagai antena sub-panjang gelombang dimana gelombang dekat plasmon yang digabungkan dengan semikonduktor atau fotosensitizer dapat meningkatkan penampang absorpsi yang efektif [3]. Hingga saat ini nanopartikel logam yang telah dicoba untuk meningkatkan kemampuan absorpsi LH2 dan antena penangkap cahaya natural lain adalah seperti lapisan pulau-pulau nano perak (Ag nanoislands) [4,5] dan nanopartikel emas (Au) yang berupa bola nano (*nanosphere*) atau berupa nano kabel (*nanowire*) [6,7]

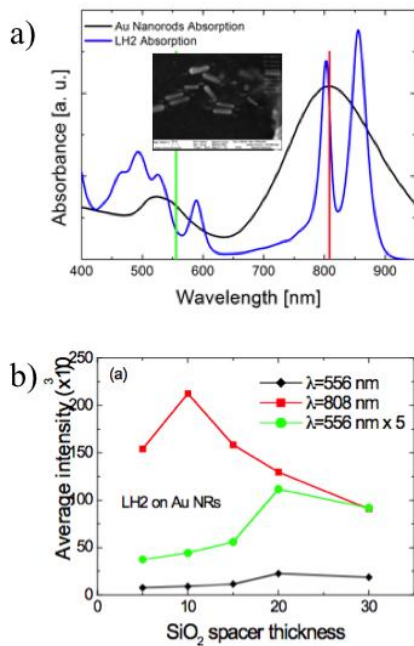


**Gambar 3.** Spektra absorpsi LH2 dan nano partikel emas bentuk bola (a), intensitas fluoresensi yang tergantung dari jarak antara LH2 dan nano partikel (b), citra SEM nano partikel emas (c) dan protipe sel surya biohibrid (d). Gambar diambil dari [7]

Efek plasmon dari nanopartikel yang telah diujikan pada beberapa antena penangkap cahaya natural seperti LH2 memiliki respon yaitu peningkatan intensitas fluoresensi saat berinteraksi dengan plasmon pada jarak yang ideal. Terlihat dari Gambar 3a dan b, jarak yang ideal sangat dibutuhkan dalam desain fabrikasi penggabungan nanopartikel dan material penangkap cahaya. Jika jarak antara nanopartikel dan material penangkap cahaya terlalu dekat, maka terjadi proses *quenching*. Jika jarak antara kedua komponen tersebut terlalu jauh maka tidak terjadi interaksi yang produktif. Efek yang ditimbulkan plasmon terhadap peningkatan intensitas fluoresensi material penangkap cahaya secara dramatis tersebut hingga saat ini masih dieksplorasi, namun penjelasannya terletak pada peningkatan kemampuan serapan cahaya oleh material penangkap cahaya yang disebabkan oleh peningkatan penampang absorpsi yang efektif (*effective absorption cross-section*) [4, 5]. Misalnya pada contoh Gambar 3, peningkatan fluoresensi LH2 secara dominan merupakan kontribusi peningkatan kemampuan serapan

dari karotenoid, dimana serapan karotenoid yang cocok dengan serapan plasmon pada panjang gelombang 475 s.d. 550 nm.

Selain nano partikel emas berbentuk bola, nano partikel emas berbentuk batang (AuNP *nanorods*) juga telah diteliti efek plasmonnya [8]. Nano partikel emas berbentuk batang memiliki keunikan dimana terdapat dua pita resonansi plasmon yaitu di daerah panjang gelombang tampak (530 s.d. 600 nm) dan daerah merah hingga dekat inframerah (650 s.d. 1200 nm). Kedua pita resonansi plasmon tersebut menunjuk pada polarisasi eksitasi di transversal dan longitudinal (Gambar 4a).

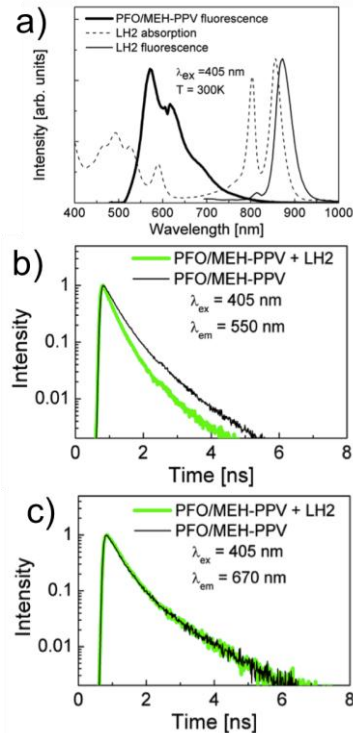


**Gambar 4.** Spektra absorpsi LH2 dan nano partikel emas bentuk batang (a) dan rata-rata intensitas fluoresensi LH2 yang tergantung dari jarak antara LH2 dan nano partikel. Gambar inset pada (a) adalah citra SEM nano partikel emas. Pada gambar (b) tampak eksitasi pada panjang gelombang 808 nm yaitu pada pita resonansi longitudinal dan 556 nm yaitu pada pita resonansi transversal. Gambar diambil dari [8]

### III. Upaya Peningkatan Kemampuan Serapan Dengan Polimer Terkonjugasi

Dalam riset program hibah Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional dari tahun 2012 s.d. 2014 ini upaya peningkatan performansi serapan dengan multi-kromofor juga telah diujicobakan pada LH2. Dalam aplikasinya untuk LH2, polimer terkonjugasi poly(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl:poly(2-methoxy-5-(2-thyl hexyloxy)-1,4-phenylene vinylene (PFO/MEH-PPV). Polimer terkonjugasi tersebut memiliki serapan pada panjang gelombang 550 s.d. 700 nm yang tepat bertumpukan dengan serapan karotenoid dan pita- $Q_x$  bakterioklorofil pada LH2 (Gambar 4). Pengukuran fluoresensi untuk mengetahui waktu hidup (*lifetime*) menyimpulkan adanya energi transfer yang cukup efisien (25%) dari lapisan polimer ke LH2 [9]. Hasil

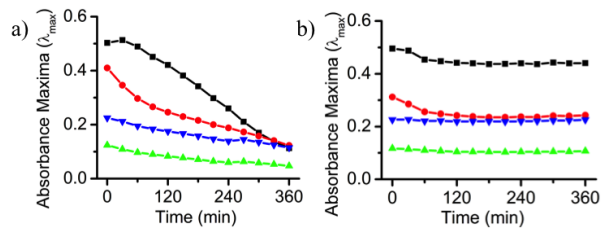
penelitian tersebut merupakan terobosan baru karena tidak diperlukan modifikasi kimia untuk menggabungkan polimer terkonjugasi dengan LH2. Dengan demikian kedua komponen berdiri sendiri namun masih dimungkinkan adanya pemanfaatan energi foton didaerah dimana LH2 kurang mampu menyerap serta mentransferkan energi tersebut ke LH2. Terobosan baru ini membuka ide invensi elektrolit gel yang memiliki komponen polimer terkonjugasi sehingga kedepan dimungkinkan adalah kedua fungsi yaitu sebagai elektrolit dan fotosensitiser dapat bersinergi.



**Gambar 4.** Spektra absorpsi dan fluoresensi LH2 dan polimer PFO/MEH-PPV (a), dan pengukuran peluruhan fluoresensi pada sistem kombinasi LH2-PFO/MEH-PPV [9].

### IV. Stabilisasi kompleks fotosintesis sebagai material untuk bio-fotovoltaik

Dalam penggunaan kompleks fotosintesis sebagai material bio untuk fotovoltaiik, kestabilan sistem berperan penting untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan sistem. Uji stabilitas dan invensi cara untuk menstabilkan kompleks bio tersebut menjadi sarana untuk mempelajari karakteristik kompleks bio selama terpapar oleh cahaya dan memberikan solusi perbaikan sistem yang ada. Dalam studi tersebut, kompleks antena penangkap cahaya perifer (LH2) dalam berbagai kondisi buffer digunakan untuk uji dan akhirnya didapatkan cara untuk menstabilisasi kompleks. Penambahan gliserol yang memberikan tambahan ikatan hidrogen atau polivinil alkohol mampu memperlambat kompleks bio tersebut dari proses degradasi terhadap paparan sinar [10].



**Gambar 5.** Uji fotostabilitas LH2 dalam buffer yang mengandung detergen LDAO (a) dan adanya penambahan gliserol 66% (b).

## V. Kesimpulan

Teknologi plasmonik dan multi kromatofor dapat menjadi pilihan yang telah teruji melalui eksperimen yang ada. Saat ini teknologi plasmonik merupakan teknologi yang masih dikembangkan oleh penulis dalam memaksimalkan kemampuan serapan energi foton fotosensitiser melalui interaksinya dengan nanopartikel logam.

## V. Daftar Pustaka

- [1] Papiz, M. Z., Prince, S. M., Howard, T., Cogdell, R. J., and Isaacs, N. W. 2003. The structure and thermal motion of the B800-850 LH2 complex from *Rps. acidophila* at 2.0Å resolution and 100K: new structural features and functionally relevant motions. *J Mol Biol* 326:1523-1538
- [2] Roszak, A. W., Howard, T. D., Southall, J., Gardiner, A. T., Law, C. J., Isaacs, N. W., and Cogdell, R. J. 2003. Crystal structure of the RC-LH1 core complex from *Rhodospseudomonas palustris*. *Science* 302:1969-1972
- [3] Atwater, HA., Polman, A. (2010) Plasmonic for improved photovoltaic devices, *Nature Materials*, 9, 205-213.
- [4] Mackowski, S., Wormke, S., Maier, AJ., Brotsudarmo, T.H.P., Harutyunyan, H., Hartschuh, A., Govorov, A.O., Scheer, H., Brauchle, C., (2008), Metal-enhanced fluorescence of chlorophylls in single light-harvesting complexes, *Nano Letters*, 8(2), 558-564.
- [5] Czechowski, N., Nyga, P., Schmidt, MK., Brotsudarmo, THP., Scheer, H., Piatkowski, D., Mackowski, S., (2012), Absorption enhancement of peridinin-chlorophyll-protein light-harvesting complexes coupled to semicontinuous silver film, *Plasmonic*, 7, 115-121.
- [6] Krajnik, B., Czechowski, N., Ciszak, K., Piatkowski, D., Mackowski, S., Brotsudarmo, T.H.P., Scheer, H., Pichler, S., Heiss, W., (2012), Plasmon-enhanced fluorescence in heterochlorophyllous peridinin-chlorophyll-protein photosynthetic complex, *Optical Materials*, 34, 2076-2079.
- [7] Bujak, L., Czechowski, N., Piatkowski, D., Litvin, R., Mackowski, S., Brotsudarmo, T.H.P., Cogdell, R.J., Pichler, S., Heiss, W., (2011), Fluorescence enhancement of light-harvesting complex 2 from purple bacteria coupled to spherical gold nanopartikel, *Applied Physics Letters*, 99, 173701.
- [8] Bujak, L., Olejnik, M., Brotsudarmo, T.H.P., Schmidt, M.K., Czechowski, N., Piatkowski, D., Aizpurua, J., Cogdell, R.J., Heiss, W., Mackowski, S., (2014) Polarization control of metal-enhanced fluorescence in hybrid assemblies of photosynthetic complexes and gold nanorods, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 16, 9015-9022
- [9] Bucynska, D., Bujak, L., Loi, MA., Brotsudarmo, THP., Cogdell, R., Mackowski, S., (2012) Energi transfer from conjugated polymer to bacterial light-harvesting complex, *Applied Physics Letters*, 101, 173703.
- [10] Prihastyanti, M.N.U., Indriatmoko, Brotsudarmo, T.H.P., (2014) Photostability assay on light-harvesting complex as a material of biophotovoltaic, *Energy Procedia*, 47, 189-195