

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Peningkatan aktivitas industri dan penggunaan kendaraan bermotor telah menyebabkan kenaikan yang sangat signifikan terhadap permintaan bahan bakar fosil di dunia, padahal bahan bakar ini hanya tersedia pada wilayah tertentu dengan jumlah yang semakin berkurang (Agarwal, 2006). Hal inilah yang selanjutnya memicu timbulnya krisis ketersediaan minyak dunia. Di lain pihak, bahan bakar fosil memberikan kontribusi terhadap akumulasi gas pencemar udara, khususnya karbondioksida ( $CO_2$ ) ke lingkungan (Chisti, 2007).

Sebelum tahun 1750-an, konsentrasi  $CO_2$  di atmosfir berada dalam kondisi stabil selama ribuan tahun dengan kisaran 280 ppm. Namun pengukuran pada tahun 1999 menunjukkan terjadinya perubahan signifikan terhadap konsentrasi  $CO_2$  menjadi 375 ppm (Geider, 2001; dan Agarwal, 2006). Perubahan ini ternyata hanya berlangsung dalam waktu kurang dari dua abad (NREL, 1998). Gas  $CO_2$  diyakini sebagai komponen utama efek rumah kaca (*green house effect*), penyebab pemanasan global. Lebih dari 20 miliar ton  $CO_2$  diemisikan setiap tahunnya dari pembakaran bahan bakar fosil dan 2-8 miliar ton lainnya dilepaskan dari aktivitas manusia seperti pernapasan, pembakaran hutan, dan lain-lain (Hughes, 1997). Lebih lanjut lagi, pemanasan global oleh efek rumah kaca ini telah menyebabkan perubahan iklim di bumi (IPCC, 2001).

*Solar cell* berbasis silikon yang mengkonversi cahaya matahari secara langsung merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tersebut. Hanya saja untuk menggantikan bahan bakar fosil tersebut diperlukan kemampuan produksi *solar cell* secara besar-besaran. Alternatif potensi lain yang juga dikembangkan sebagai *solar cell* adalah *solar cells* murah berbasis *dye* (Crabtree *et al.*, 2007). *Dye* sendiri diperoleh dari berbagai jenis tumbuhan yang melakukan fotosintesis. *Dye* adalah komponen dari tumbuhan yang dapat berupa antosianin, pikosianin, karoten, dan klorofil, digunakan sebagai pengganti silikon pada *solar cell*. Sel surya adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi cahaya menjadi listrik secara langsung. Berikutnya untuk sel surya berbasis *dye* terinspirasi dari sistem kerja fotosintesis pada tumbuhan. Dibandingkan dengan sel surya berbasis silikon, sel surya berbasis *dye* harganya lebih murah serta jumlahnya *dye* yang sangat berlimpah di alam (Crabtree *et al.*, 2007).

Konversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung memerlukan *device* sel surya berbasis silikon atau *dye*. Sel surya berbasis *dye* meniru cara kerja dari fotosintesis, cahaya foton ditangkap oleh *dye* kemudian dikonversi menjadi listrik secara langsung (Gratzel, 2005). Lain halnya dengan *dye*, silikon yang digunakan sebagai basis pada sel surya menangkap cahaya kemudian mengubah atau menkonversi cahaya tersebut menjadi energi listrik.

Sel surya berbasis *dye* menghasilkan tegangan 0,62 V dan arus 1,06 mA dalam luas 1  $cm^2$  (Da Li *et al.*, 2009). *Dye* yang digunakan diperoleh secara berlimpah dari alam dengan harga yang sangat murah misalnya bayam 0.8 US\$/kg (detiknews, 2010). Berbeda dengan berbasis silikon harganya relatif mahal 50

US\$/kg (Gratzel, 2006). *Dye* diperoleh secara berlimpah dari berbagai tumbuhan serta dapat diperbaharui sedangkan silikon diperoleh secara terbatas dengan harga yang mahal serta tidak dapat diperbaharui jika telah habis.

Hingga saat ini, publikasi tentang *solar cell* berbasis *dye* masih terbatas pada lapisan tunggal berupa pigmen tumbuhan, klorofil, karoten (Da Li *et al.*, 2009). Klorofil sebagai lapisan *dye* menghasilkan tegangan keluaran antara 0.3-0.4 V dan arus 1-2 mA/cm<sup>2</sup>. Sama halnya dengan pigmen dari *Black berry* dalam 4 cm<sup>2</sup> menghasilkan tegangan keluaran dan arus yang sama. Serta untuk antosianin efisiensi yang dihasilkan antara 0.5-1.0 % (Smestad, 1998). Kemudian di tahun 2009 dihasilkan tegangan 0.62 V/cm<sup>2</sup> dan 1.06 mA/cm<sup>2</sup> (Da Li *et al.*, 2009).

Berbeda halnya dengan sel surya berbasis *bilayer dye* yang hingga saat ini publikasi dan penelitiannya masih terbatas. Modifikasi dengan penambahan lapisan *dye* menjadi dua lapis meningkatkan tegangan keluaran hingga 0.64 V/cm<sup>2</sup> atau setara dengan efisiensi 27 % dan arus 1.52 mA/cm<sup>2</sup> atau setara dengan efisiensi 44 % (Da Li *et al.*, 2009). Penambahan lapisan *dye* tentunya menambah efisiensi dari *solar cell* tersebut.

Berdasarkan karakteristik dan efisiensi yang dihasilkan, maka sangatlah mungkin *solar cell* dengan *dye* berlapis dimanfaatkan sebagai piranti untuk mengubah cahaya matahari menjadi listrik secara langsung untuk mengatasi krisis energi dunia dan mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang mengemisikan gas CO<sub>2</sub> ke udara. Serta yang paling penting adalah kesiapan untuk menerima teknologi sel surya berbasis *dye* sebagai sumber energi alternatif.

## Rumusan Masalah

Perumusan masalah yang menjadi fokus tulisan ini adalah :

1. Kebutuhan akan bahan bakar fosil yang tinggi, sementara di sisi lain ketersediaan bahan bakar tersebut semakin berkurang.
2. Peningkatan kadar CO<sub>2</sub> yang mengakibatkan pemanasan global, mendorong perlunya tindakan untuk menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan.
3. Energi yang dihasilkan oleh sel surya belum mampu memenuhi kebutuhan energi dunia.
4. Sel surya berbasis *dye* berlapis memiliki potensi besar piranti untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik secara langsung. Sedangkan kajian dan aplikasi yang ada masih terbatas pada sel surya berbasis *dye* tunggal. Selain itu belum jelas adanya pemanfaatan yang jelas dari sel surya berbasis *dye* berlapis dalam hal penggunaannya untuk kemajuan masyarakat dan dunia.

## Tujuan Penulisan

Tujuan penulisan karya imiah ini adalah untuk mempelajari prospek dari sel surya berbasis *dye* berlapis sebagai piranti untuk mengkonversi cahaya matahari dalam mengatasi pemanasan global, krisis energi dunia dan mengurangi emisi gas CO<sub>2</sub>.

## Manfaat Penulisan

Manfaat penulisan ini ditujukan kepada pemerintah, masyarakat, dan individu yang memiliki peran besar dalam pelaksanaan pengembangan sel surya di Indonesia.

1. Bagi pemerintah tulisan ini dapat menjadi masukan dalam mengambil kebijakan terkait dengan pengembangan bahan bakar alternatif terbarukan di Indonesia khususnya tentang penggunaan piranti sel surya untuk mengkonversi cahaya matahari menjadi istrik secara langsung.
2. Bagi masyarakat tulisan ini dapat menjadi informasi yang edukatif tentang prospek sel surya sebagai salah satu solusi mengatasi masalah ketersediaan energi dan pemanasan global.
3. Bagi individu tulisan ini diharapkan dapat menumbuhkan semangat untuk menemukan ide-ide kreatif yang aplikatif berkaitan pengembangan teknologi untuk mengkonversi cahaya matahari secara langsung dengan efisien.

## GAGASAN

### Sel Surya

Sel surya atau sel *photovoltaic* adalah sebuah alat semikonduktor yang terdiri dari sebuah wilayah-besar dioda p-n *junction* dengan bantuan cahaya matahari mampu menghasilkan energi listrik yang berguna. Pengubahan ini disebut efek *photovoltaic*. Bidang riset yang berhubungan dengan sel surya dikenal sebagai *photovoltaics*. Sel surya memiliki banyak aplikasi. Terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari grid tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air, dll. Sel surya dalam bentuk modul atau panel surya dapat dipasang di atap gedung yang terhubung dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan *net metering*. (Donald *et al.*, 2005).



Gambar 1. Sel Surya

Apabila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan *hole*. Elektron-elektron dan *hole-hole* yang timbul di sekitar p-n *junction* bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan *hole-hole* itu melintasi p-n *junction*, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban.

Sistem sel surya pada mulanya dikembangkan untuk penggunaan pada satelit di ruang angkasa. Perawatan atau perbaikan di ruang angkasa itu pekerjaan yang sangat mahal. Oleh karena itu, semua satelit yang mengelilingi bumi mendapatkan energi listriknya dari sistem sel surya. Sistem sel surya dapat bekerja dengan handal untuk jangka waktu yang lama dan hampir tanpa memerlukan perawatan. Sehingga sel surya dapat dikatakan mempunyai keandalan yang tinggi.

Sistem sel surya menggunakan energi sinar matahari untuk menghasilkan listrik, tanpa memerlukan bahan bakar. Tanpa ada bagian yang berputar, maka sistem sel surya hanya memerlukan sedikit perawatan. Sehingga sistem sel surya itu biayanya murah *cost effective* dan cocok untuk stasiun telekomunikasi daerah terpencil, pelampung navigasi di tengah laut, alat pemantau permukaan air bendungan, atau untuk penerangan rumah yang jauh dari jangkauan jaringan PLN. Biaya operasional sistem sel surya jelas rendah.

Karena tidak memerlukan bahan bakar dan tidak ada bagian yang berputar, sistem sel surya itu bersih dan tidak bersuara. Ramah lingkungan ini sangat penting, mengingat pilihan untuk mendapatkan energi dan penerangan itu biasanya dari generator diesel atau lampu minyak tanah. Kalau kita semakin prihatin dengan gas rumah kaca *green house gas* dan pengaruhnya yang merusak terhadap ekosistem planet kita ini, maka energi bersih yang diperoleh dari sistem sel surya merupakan pilihan yang tepat sekali.

Sistem sel surya dapat dibangun dalam berbagai ukuran atas dasar kebutuhan energinya. Selanjutnya sistem sel surya itu dapat dikembangkan dan ditingkatkan dengan mudah. Misalnya, bila kebutuhan energi semakin meningkat, cukup dengan jalan menambahkan modul sel surya, tentunya jika sumber dananya memungkinkan. Selain itu, sistem sel surya gampang untuk dipindahkan apabila diperlukan. Misalnya untuk menggerakkan pompa pada pengairan sawah.

Sistem sel surya dapat dirancang untuk penggunaan di ruang angkasa atau penggunaan di permukaan bumi. Sistem sel surya untuk di permukaan bumi terdiri dari modul sel surya, kontroler pengisian (*charge controller*), dan aki yang *maintenance free*. Modul sel surya yang digunakan dapat diperoleh dalam berbagai ukuran dan kapasitas. Sel surya yang sering digunakan adalah modul sel surya 20 watt atau 30 watt. Modul sel surya menghasilkan daya yang proporsional dengan luas permukaan modul yang terkena sinar matahari. Dalam penggunaan skala agak besar, aki dalam sistem sel surya kadang-kadang dihubungkan dengan sebuah inverter, untuk mengkonversi listrik searah (dc) menjadi listrik bolak-balik (ac).

Secara garis besar sel surya dibagi menjadi dua bagian berdasarkan material yang digunakan untuk menangkap cahaya matahari (Gratzel, 2005) :

1. Sel Surya Anorganik (*Anorganic solar cell*)

Sel surya ini menggunakan bahan anorganik untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari. Biasanya menggunakan silikon

sebagai material yang menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari.

## 2. Sel Surya Organik (*Organic Solar cell*)

Sel surya menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, klorofil, dll. *Dye* yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan *dye* secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja sel surya organik meniru sistem kerja fotosintesis.

### **Potensi Bilayer Dye of Organic Solar Cell**

Pigmen tumbuhan (*dye*) merupakan sumber penting dalam berlangsungnya fotosintesis pada tumbuhan (Collings, 2007). Selain itu pigmen tersebut juga digunakan sebagai zat pewarna makanan atau tekstil (Noor, 2007). Serta pada perkembangannya juga digunakan sebagai obat-obatan.

Selain untuk fotosintesis, makanan dan obat-obatan, pigmen tumbuhan dapat digunakan sebagai *dye* dalam sel surya untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh matahari (Gratzel, 2005). Penggunaan *dye* secara berlapis menghasilkan tegangan keluaran dan arus yang lebih besar dibandingkan *dye* tunggal (Da Li *et al.*, 2009).

Menurut Da Li *et al.* (2009) ada tiga hal penting pada penggunaan *dye solar cell* berlapis :

1. Menghasilkan tegangan serta arus keluaran yang lebih besar dibandingkan *dye solar cell* tunggal.
2. Ramah terhadap lingkungan karena tidak mengemisikan gas buang yang berbahaya.
3. Cahaya matahari yang diperoleh dari alam secara gratis oleh semua manusia dapat dikonversi menjadi energi listrik secara langsung oleh bantuan *solar cell*.

### **Ketersediaan Sumber Daya Alam**

*Dye* diperoleh dari ekstrak tumbuhan yang melakukan fotosintesis, sehingga *dye bilayer of organic solar cell* merupakan konversi cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung. Listrik yang dihasilkan dapat digunakan secara langsung atau dapat disimpan sebelum digunakan seperti halnya baterai.

Berbagai macam tumbuhan yang melakukan fotosintesis menghasilkan pigmen (*dye*) seperti : *strawberry*, cabai, kubis, bayam merah, kol, dll.(Smestad, 1995).

## ***Global Warming dan Krisis Energi Dunia***

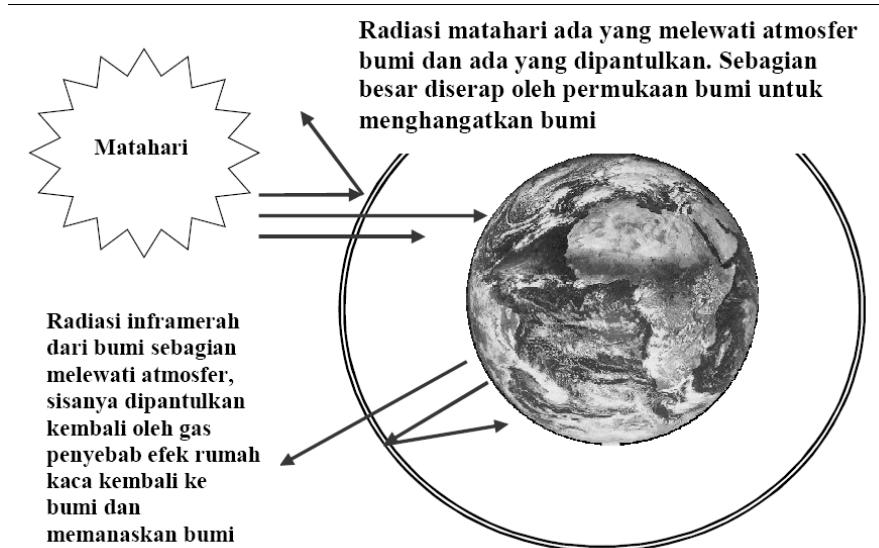
*Greenpeace Forum: Louder than Words* (2007) menyebutkan bahwa dunia tengah menghadapi dua permasalahan serius, yaitu krisis bahan bakar fosil dan degradasi lingkungan. Konsumsi bahan bakar fosil secara besar-besaran telah menyebabkan cadangan bahan bakar fosil di bumi menurun. Di lain pihak pemakaian bahan bakar tersebut telah menyebabkan pencemaran udara yang berpengaruh secara global (Agarwal, 2006).

## ***Global Warming dan Perubahan Iklim Bumi***

Menurut *Guardian* (2006), pemanasan global adalah fenomena naiknya temperatur udara di bumi baik akibat akumulasi gas-gas penyebab efek rumah kaca baik secara alami maupun akibat aktivitas manusia dan memberikan dampak bagi kondisi lingkungan di bumi. Perubahan iklim adalah fenomena terjadinya perubahan kondisi rata-rata parameter iklim. Perubahan ini tidak terjadi dalam waktu singkat (mendadak), tetapi secara perlahan dalam kurun waktu yang cukup panjang antara 50-100 tahun. Perubahan iklim terjadi akibat proses pemanasan global, yaitu meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi akibat akumulasi panas yang tertahan di atmosfer.

Efek rumah kaca merupakan suatu fenomena dimana gelombang panjang mencapai permukaan bumi. Setelah mencapai permukaan bumi, sebagian gelombang tersebut dipantulkan kembali ke atmosfer. Namun tidak seluruh gelombang panjang yang dipantulkan itu dilepaskan ke angkasa luar. Sebagian gelombang panjang dipantulkan kembali oleh lapisan gas rumah kaca di atmosfer ke permukaan bumi (Kementerian Lingkungan Hidup, 2001). Dalam konteks isu perubahan iklim maka yang dimaksud dengan gas efek rumah kaca adalah yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, sedangkan yang diatur dalam Protokol Kyoto terdiri atas enam gas yaitu karbon dioksida ( $CO_2$ ), metana ( $CH_4$ ), nitrogen oksida ( $N_2O$ ), hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs), dan sulfur heksafluorida ( $SF_6$ ) (Kementerian Lingkungan Hidup, 2001). Beberapa gas tersebut dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil untuk sektor transportasi dan industri dalam penyediaan energi.

Gas  $CO_2$  diyakini sebagai komponen utama efek rumah kaca (*green house effect*) penyebab pemanasan global. Lebih dari 20 miliar ton  $CO_2$  diemisikan setiap tahunnya dari pembakaran bahan bakar fosil dan 2-8 miliar ton lainnya dilepaskan dari aktivitas manusia seperti pernapasan, pembakaran hutan, dan lain-lain (Hughes, 1997). Mekanisme efek rumah kaca dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Mekanisme Efek Rumah Kaca (IRCCM, 2006)

Jika konsentrasi gas rumah kaca ini meningkat drastis, maka perubahan iklim yang terjadi pun akan berlangsung dalam kondisi percepatan drastis (*accelerated*) yang berdampak negatif bagi kehidupan di bumi. Dalam skala global perubahan iklim akan mengakibatkan pencairan lapisan es. Pencairan ini tidak hanya terjadi di daerah kutub, namun juga di beberapa puncak gunung yang selama ini telah tertutupi lapisan es abadi. Sejak dekade 1960-an, lapisan es yang menyelimuti bumi telah berkurang sebanyak 10%. Mencairnya lapisan es memberikan dampak berupa peningkatan volume air di permukaan bumi secara keseluruhan, terutama volume air laut.

Peningkatan volume air laut ini akan mengakibatkan peningkatan tinggi muka air laut yang mengancam daerah pesisir laut (IPCC, 2001). Keberadaan gas rumah kaca di atmosfer sangatlah vital bagi kehidupan di bumi. Jika gas ini tak ada, maka suhu bumi akan berada di bawah  $30^{\circ}\text{C}$  dari kondisi saat ini. Namun aktivitas manusia telah menyebabkan akumulasi konsentrasi gas rumah kaca seperti karbon dioksida, metana, ozon, dan nitrogen oksida dalam jumlah melebihi konsentrasi sebelum era industrialisasi. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  telah meningkat dari 280 ppm sejak tahun 1750 hingga 375 ppm pada saat ini. Para ilmuwan meyakini selama kurun waktu sekitar 420.000 tahun fenomena tersebut belum pernah terjadi sebelumnya dan akibat lebih lanjut dari fenomena tersebut adalah kenaikan suhu sebesar 0,6 derajat celcius. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memproyeksikan bahwa rata-rata suhu permukaan bumi akan terus naik dengan rentang 1,4-5,8 derajat celcius dari kondisi saat ini pada tahun 2100 (*Joint Science Academies' Statement*, 2006).

## Krisis Energi Dunia

Sektor Transportasi merupakan konsumen terbesar pemakai bahan bakar fosil (*petroleum*) termasuk di dalamnya adalah bensin, diesel, *liquefied petroleum gas* (LPG), dan *compressed natural gas* (CNG). Namun sektor ini tengah

mengalami ancaman besar krisis energi karena beberapa hal, seperti harga bahan bakar fosil yang semakin meningkat, jumlah cadangan bahan bakar fosil yang terbatas dan beberapa dimonopoli oleh beberapa negara, dan meningkatnya jumlah kendaraan secara luas di dunia (Demirbas, 2006). Sebagai contoh, Uni Eropa mengalami peningkatan konsumsi energi sebesar 10% antara tahun 1990-2000. Hal itu telah mendorong meningkatnya impor energi karena produksi dalam negerinya tidak mencukupi untuk kebutuhan yang ada (*European Commission*, 2002). Diprediksikan ketergantungan terhadap pemakaian energi ini akan melebihi 80% pada 2020 jika tidak ada solusi yang segera diambil (Walda, 2005). Padahal, cadangan bahan bakar fosil diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 50 tahun dengan tingkat konsumsi seperti saat ini (Sheehan *et al.*, 1998). Kelangkaan bahan bakar fosil di pasaran merupakan salah satu indikator sederhana yang dapat digunakan untuk melihat semakin sedikitnya ketersediaan bahan bakar fosil untuk memenuhi permintaan yang ada. Berdasarkan prediksi para pakar dunia, cadangan energi dari batubara masih dapat digunakan selama 218 tahun, minyak bumi 41 tahun, dan gas alam selama 63 tahun dengan asumsi tingkat pemakaian energi seperti saat ini (Godelmberg, 2001; Stern, 2006).

Tingkat pertumbuhan populasi manusia di bumi yang besar, perkembangan teknologi yang pesat, dan standar hidup penduduk di negara industri merupakan beberapa penyebab krisis energi akibat adanya ketimpangan antara permintaan dan ketersediaan energi yang ada. Krisis energi dari bahan bakar fosil yang terjadi inilah yang mendorong beberapa negara, khususnya negara berkembang, untuk mencari energi alternatif (Agarwal, 2007).

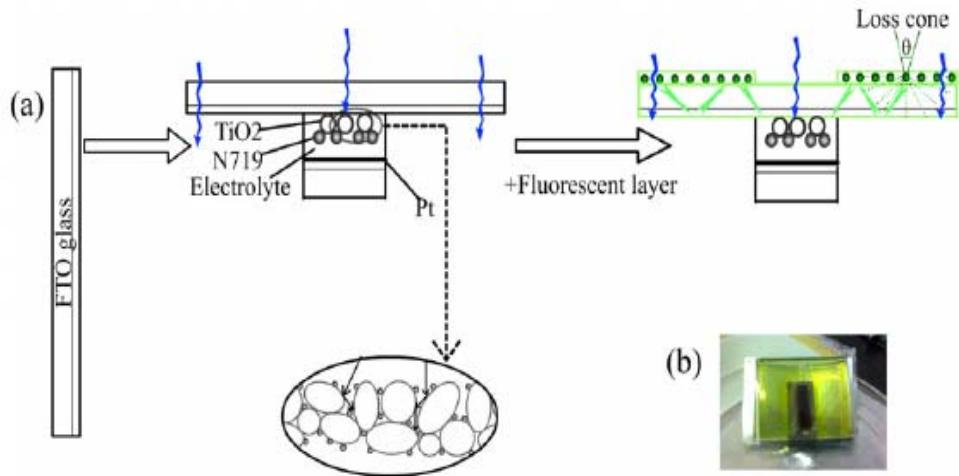
### ***Potensi Dye Bilayer of Organic Solar Cell sebagai Piranti Pengkoversi Cahaya Matahari***

Kelimpahan pigmen tumbuhan yang melakukan fotosintesis serta lama penyinaran matahari yang tinggi di alam tropis merupakan potensi besar yang perlu dimanfaatkan. Hingga saat ini sel surya menggunakan *dye* berlapis masih sekedar penelitian. Padahal ketersediaan baik pigmen dan cahaya matahari gratis yang sangat berlimpah di alam.

Penelitian membuktikan penggunaan *dye* tambahan dengan lapisan untuk *fluoroscence* dapat menghasilkan efisiensi 44% untuk arus dan 27% untuk tegangan yang dihasilkan pada luas penampang  $1 \text{ cm}^2$  dibandingkan dengan *solar cell* dengan *dye* tunggal (Da Li *et al.*, 2009). Hal tersebut merupakan alasan bahwa penggunaan sel surya berlapis menghasilkan energi listrik yang lebih efisien. Alasan lain yang mendasari gagasan ini adalah keberhasilan teknologi sel surya dengan *dye* tunggal (Gratzel, 2005).

Perlu diketahui untuk sel surya dengan *dye* berlapis menghasilkan elektron yang lebih banyak dari konversi cahaya matahari menjadi energi listrik (Da Li *et al.*, 2009). Foton yang diserap oleh pigmen dengan adanya *fluorescence* menghasilkan listrik yang lebih besar. Sehingga energi listrik yang dihasilkan lebih efisien.

**Gambar 3.** (a) Cara kerja untuk menghasilkan *Dye-Sensitized Solar Cell* (DSSC) yang ditambah dengan lapisan *fluoroscent*. (b) Gambar DSSC yang digabung dengan lapisan *fluorescent*.



Menurut Da Li *et al.* (2009) sel surya menggunakan *dye* dengan lapisan *fluorescent* menghasilkan tegangan keluaran  $0.64 \text{ V/cm}^2$  dan arus yang dihasilkan  $1.52 \text{ mA/cm}^2$ . Dengan keberlimpahan cahaya matahari, *solar cell* merupakan piranti pengkonversi cahaya matahari yang sangat murah. Hal ini disebabkan energi inputnya gratis dan menghasilkan listrik secara langsung tanpa memerlukan biaya untuk mengkonversi cahaya matahari. Piranti untuk pengkonversi cahaya matahari digunakan secara terus menerus hingga kondisinya tidak dapat dipakai lagi.

Tabel 1. Perbandingan arus yang dihasilkan oleh sel surya dengan *dye* tunggal dan berlapis

Solar cell	Arus keluaran ( $\text{mA/cm}^2$ )	Tegangan keluaran ( $\text{V/cm}^2$ )
Dye Tunggal	1.06	0.62
Dye berlapis klorofil ( <i>fluorescent</i> )	1.52	0.64

Sumber : Da Li *et al.* (2009)

### Prospektif dari *Bilayer Dye of Solar Cell*

Dari data-data yang diperoleh sangatlah jelas bahwa *bilayer dye of solar cell* memiliki prospek yang begitu besar sebagai sumber piranti baru menghasilkan energi pengganti bahan bakar fosil dalam bentuk energi listrik. Prospek *bilayer solar cell* mencakup beberapa bidang yaitu ekonomi, ilmu pengetahuan dan teknologi, sosial, dan lingkungan. Dari tabel sebelumnya terlihat bahwa efisiensi dari *dye bilayer of solar cell* dibandingkan dengan *solar cell* dengan *dye* tunggal dengan efisiensi 44 % untuk arus keluaran dan 27 % untuk tegangan keluaran.

### *Bidang Ekonomi*

Prospek ekonomi dari *dye bilayer of solar cell* sangat menjanjikan. Kemampuan produktifitas yang sangat tinggi dengan keberlimpahan cahaya matahari di alam. Untuk *dye* yang digunakan berupa bayam harganya berkisar 0.8 US\$/kg (*detikNews*, 2010) berbeda dengan silikon harganya berkisar 50 US\$ (Gratzel, 2006). Secara ekonomis *solar cell* dengan *dye* jauh lebih murah dibandingkan menggunakan material anorganik berupa silikon.

Energi listrik yang dihasilkan oleh *solar cell* berpotensi menggantikan bahan bakar fosil jika hasil keluaran energi yang dihasilkan lebih besar. Secara perhitungan matematis dengan arus 1.52 A dan tegangan 0.64 V menghasilkan tegangan 64 V untuk seratus piranti sel surya berukuran 1  $\text{cm}^2$  dan untuk menghasilkan tegangan yang setara dengan PLN di rumah dibutuhkan 343 *solar cell* yang dirangkai secara seri. Jika dianalisis secara ekonomi tentunya hal ini merupakan teknologi yang hemat dan tahan lama untuk jangka waktu yang lama dibanding bahan bakar fosil. Pengkonversian foton menjadi energi listrik dengan cahaya matahari yang diperoleh secara gratis dan berlimpah di alam berbeda dengan bahan bakar fosil mentah yang harganya relatif mahal dan jumlahnya yang terbatas di alam.

Bila kita bandingkan kembali antara penggunaan sel surya dengan *dye* tunggal dan sel surya dengan *dye* berlapis, maka secara matematis penggunaan sel surya dengan *dye* berlapis klorofil akan menjadi lebih efisien. Ini karena, penggunaan sel tersebut dapat menghasilkan daya keluaran yang lebih besar dibandingkan penggunaan sel surya dengan *dye* tunggal.

Solar cell	Arus keluaran (mA/ $\text{cm}^2$ )	Tegangan keluaran (V/ $\text{cm}^2$ )	Daya keluaran (kWH) untuk 100 sel surya
Dye Tunggal	1.06	0.62	0.24 kWH
Dye berlapis klorofil ( <i>fluorescent</i> )	1.52	0.64	0.35 kWH

Tabel 2. Perbandingan daya yang dihasilkan sel surya dengan *dye* tunggal dan berlapis

### *Bidang Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*

Untuk memproduksi sel surya diperlukan penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi yang menunjang. Saat ini sel surya yang dihasilkan masih dari *dye* tunggal dari pigmen tumbuhan seperti

antosianin, karoten dan korofil. Padahal sel surya dengan *dye* berlapis telah terbukti menghasilkan hasil yang lebih efisien dibanding sel surya dengan *dye* tunggal (Da Li *et al.*, 2009). Bahkan jumlah lapisan dan perpaduan lapisan yang digunakan sebagai *dye* perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui keefisienan energi istrik yang dihasilkan.

Keinginan manusia untuk melepaskan diri dari ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan ancaman krisis energi, telah mendorong dilaksanakannya penelitian dan proyek-proyek untuk mencari sumber energi baru di Indonesia. Secara tidak langsung hal ini diharapkan turut menyumbangkan kontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia, khususnya yang berkaitan dengan teknologi pengkonversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung.

### *Bidang Sosial dan Kemasyarakatan*

Adanya pembangunan fasilitas teknologi sel surya dengan *dye* berlapis akan membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat yang ada di sekitarnya. Untuk pengelolaan fasilitas akan membuka lapangan kerja baru yang sangat besar bagi hampir seluruh masyarakat di Indonesia yang tentunya sebagai daerah tropis mengalami penyinaran matahari sepanjang tahun. Hal ini tentunya akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

### *Bidang Lingkungan Hidup*

Pengembangan sel surya dengan *dye* berlapis tentunya sangat berpengaruh besar terhadap lingkungan hidup. Penggunaannya akan mengurangi emisi gas karbondioksida ke udara. Gas karbondioksida diyakini sebagai penyebab utama pemanasan global yang berlanjut pada perubahan iklim dunia dan dikhawatirkan akan mengancam dunia. Dalam konferensi *climate change* di Kopenhagen (Desember, 2009), para Pemimpin Dunia telah sepakat untuk menjaga kelestarian lingkungan antara lain dengan mengurangi penggunaan bahan bakar yang menyebabkan emisi gas karbondioksida ke udara serta penggunaan energi ramah lingkungan. Teknologi sel surya termasuk dalam bagian energi yang aman dan ramah lingkungan karena tidak dihasilkan emisi gas atau material lain yang berbahaya bagi lingkungan hidup.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Sel surya berlapis ganda sebagai alat pengkonversi cahaya matahari secara langsung memiliki prospek yang sangat besar dalam berbagai bidang seperti ekonomi, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, sosial kemasyarakatan, dan lingkungan hidup. *Bilayer dye of solar cell* merupakan solusi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan dalam mengatasi fenomena pemanasan global dan perubahan iklim bumi. Kemampuan mengkonversi arus dan tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan sel surya berlapis tunggal, menjadikan bilayer *dye of solar cell* sebagai alat pengkonveri cahaya matahari yang sangat potensial. Selain itu, teknologi ini dapat menjadi salah satu jawaban dalam menghadapi ancaman krisis energi dunia dimasa yang akan datang melalui penyediaan energi terbarukan berupa cahaya matahari yang dikonversi oleh *solar cell* secara langsung.

### Saran

Melihat potensi dan prospek *dye bilayer of solar cell* sebagai piranti pengkonversi cahaya matahari yang begitu besar dalam penyediaan bahan bakar terbarukan dan mitigasi CO<sub>2</sub>, maka penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memaksimalkan manfaat yang dimilikinya. Terlebih lagi bagi negara yang lama penyinaran mataharinya tinggi, *solar cell* dapat menjadi salah satu sektor penunjang pembangunan bangsa yang potensial.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal. 1996. *Uptake of Carbon dioxide from flues gas, Energy Conversion and Management.* 37 (6-8): 1363-1367.
- Brian. 2007. *Greenpeace Forum: Louder than Words.* Auckland: Greenpeace.
- Chisti, Y. 2007. Microalgae : Our Marine Forest. di dalam Richmond A (ed.), *Handbook of Microalgal Culture :Biotechnology and Applied Phycology.* Oxford: Blacwell.
- Chisti Y. 1999a. Shear Sensitivity. di dalam Flickinger MC dan Drew SW (ed.), *Encyclopedia of Bioprocess Technology.* Wiley. Vol 5 p. 2379-406.
- Collings. 2005. *Artificial Photosynthesis from Basic Biology to Industrial Application.* Vol. 5. Brisbane.: Wiley.
- Crabtree GW dan Nathan SL. 2007. *Solar Energy Conversion.* American Institute of Physics.
- Da Li *et al.* 2009. *Large Improvement of Photon Capture for a Dye-Sensitized Solar Cell Integrated with a Fluorescent Layer.* Guangzhou : IOP Publishing.
- Demirbas. 2006. *Biodiesel: A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines.* USA: Springer.

- Donald *et al.* 2005. *Solution-Processed PbS Quantum Dot Infrared Photodetectors and Photovoltaics*. USA: Nature Materials Publishing.
- European Commision. 2002. *Voluntary Commimtmentation Reducing Energy Consumption of Domestic Washing Machines*. Europe: Europe Parliament.
- Geider R. 2001. *Marine Primary Production and Climate Change*. UK: University of Essex.
- Goldemberg. 2001. *Brazilian Energy Matrix and Sustainable Development*. Brazil: Energy Department
- Gratzel. 2006. *Light and Energy, Electric Power Generation by Dye Sensitized Solar Cells*. Canberra : Swiss Federal Institute of Technology Lausanne.
- Guardian. 2006. *Global Warming : The Chilling Effect on Free Speech*. Winnipeg: University of Winnipeg.
- Hughes. 2007. *Assessing The Generalizability of Smoking Studies*. USA: Department of Psychiatry, University of Vermont.
- IEA Report. 1994. Carbon Dioxide Utilization: evaluation of specific biological processes which have the capability of directly utilising high concentration of carbon dioxide as found in the flue gas streams from power generation plant.
- IPCC (Intergovermental Panel on Climate Change).1995. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- IPCC: 2001. 'Climate change 2001: Mitigation. Contribution of working group III to the third assesment report of the intergovermental panel on climate chane', in B. Metz, O. Davidson, R. Swart and J. Pan, Cambridge, UK, Cambridge University Press, 751 pp.
- Join Science Academies' Statement. 2006. *Global Warming Issues*. Netherlands: Scientist Forum.
- Kementrian Negara Lingkungan Hidup. 2001. Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim. Jakarta: KNLH.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory). 1998. Solar Energy Conversion. U.S. : Department of Energy.
- Noor. 2007. *Pygment in The Plant for Food an Medicime*. Yogyakarta: Gajah Mada University.
- Sheehan, John J. 2001. Bioconversion for Production of Renewable Transportation Fuels in the United States. *ACS Symposium Series* 566(1): 1-53.
- Smestad. 1998. *Education and Solar Conversion : Demonstrating Electron Transfer*. Switzerland: Institute of Physical Chemistry.
- Stern. 2006. *Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*. USA: World Resources Institute.
- UNEP (United Nations Environmental Program). 2009. *Internatioal Conference of Climate Change*. Copenhagen.
- Waldau. 2005. *Facing The Future of Energy with Efficiency and Renewable*. United States: Energy Development.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### KETUA PELAKSANA

Nama Lengkap	:	Azrul Sulaiman K. Pohan
NRP	:	G74070002
Tempat, Tanggal Lahir	:	Padangsidimpuan, 9 November 1988
Fakultas, Program Studi	:	MIPA, Fisika
Karya ilmiah yang pernah dibuat	:	
	-	<i>Biomass as an Effective Solution for Crisis Energy and Global Warming</i>
	-	Peran Percepatan Gravitasi Bumi di Bidang Pertanian
	-	<i>Potato as Jelly Candy</i>
	-	PPAMB sebagai Model Pembinaan Konstruktif dalam Peningkatan <i>Social Awareness</i> Mahasiswa TPB IPB
	-	Studi Tiga Lokasi Pemulung di Padangsidimpuan
Penghargaan ilmiah yang telah diraih :		
	-	Juara I Lomba Penelitian Ilmiah Remaja Bidang IPS se-Sumut 2005
	-	Juara Harapan II Lomba Penelitian Ilmiah Remaja Bidang IPA se-Sumut 2006
	-	Delegasi IPB pada <i>Asian Science Camp</i> 2008, Bali
	-	Finalis LKTM IPB 2008
	-	Penyaji Makalah pada <i>International Conference of Biomass</i> , 2009, Lampung
	-	Delegasi Indonesia pada <i>Asian Youth Energy Summit</i> , 2009, Singapura
E-mail	:	karim_al_az@yahoo.co.id

### ANGGOTA PELAKSANA

Nama Lengkap	:	Gita Widya Ratna Kemala
NRP	:	H14080063
Tempat tanggal lahir	:	Bandung, 9 Desember 1989
Fakultas, Program Studi	:	Ekonomi dan Manajemen, Ilmu Ekonomi
Karya ilmiah yang pernah dibuat	:	-
Penghargaan ilmiah yang telah diraih :		
E-mail	:	gitawidyratnakemala@yahoo.co.id