

Karakteristik klorofil pada daun sebagai material *photodetector organic*

Study of chlorophyll characteristics on leaves as photodetector organic material

ARROHMAH, AGUS SUPRIYANTO, KUSUMANDARI

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret. Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126, Jawa Tengah

Manuskrip diterima: 16 Juli 2007. Revisi disetujui: 20 Agustus 2007.

Abstract. Arrohmah, Supriyanto A, Kusumandari. 2007. *Study of chlorophyll characteristics on leaves as photodetector organic material.* Biofarmasi 5: 67-72. The aim of research was to determine the chlorophyll characteristics optically and electrically on the leaves such as spinach (*Amaranthus* sp.), *Morinda citrifolia*, and cassava leaves. The optical measurement is absorbance with UV-Vis spectrophotometer and the electric conductivity with two-point probe methods. The absorbance of spinach was higher than the others. Data showed the conductivity on the dark of spinach, *M. citrifolia* and cassava leaves were $(3.8133 \pm 0.0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$, $(3.2761 \pm 0.0006) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$ and $(1.893 \pm 0.001) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$, respectively. In contrast, the conductivity on the lighted of spinach, *M. citrifolia*, and cassava leaves was $(4.1947 \pm 0.0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$, $(3.4061 \pm 0.0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$ and $(2.0973 \pm 0.0006) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$, respectively. The increased conductivity on the lighted spinach was higher than the others, i.e. $(0.38 \pm 0.06) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$. The total chlorophyll of spinach was 27 mg/L, *M. citrifolia* was 22 mg/L, and cassava was 16 mg/L. The reduction of total chlorophyll happened by degradation of chlorophyll molecules become its generation molecules.

Keywords: Absorbance, chlorophyll, conductivity, degradation, extraction

PENDAHULUAN

Suplai energi surya dari cahaya matahari yang diterima oleh permukaan bumi sebenarnya sangat besar yaitu mencapai 3×10^{24} joule per tahun (Yuliarto 2006). Sedikitnya 10^{17} kkal energi bebas dihasilkan oleh tumbuhan dengan memanfaatkan energi dari cahaya matahari. Jumlah ini 10 kali lebih besar dibanding dengan semua energi bahan bakar fosil yang digunakan per tahun oleh manusia di seluruh dunia. Bahan bakar fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, merupakan produk fotosintesis yang terjadi jutaan tahun yang lalu. Mekanisme fotosintesis merupakan hal yang mendasar dalam memenuhi kebutuhan energi dan makanan bagi makhluk hidup. Oleh karena mekanisme fotosintesis pada kloroplas sangat efisien dalam mengubah energi surya menjadi energi kimia ATP dan NADPH, banyak penelitian dilakukan untuk menstimulasi proses tersebut dengan sistem molekul buatan yang lebih sederhana, dengan harapan dapat memanfaatkan energi surya yang (Lehninger 1982).

Fotosintesis terjadi ketika klorofil pada tanaman menyerap energi foton dari cahaya matahari. Klorofil yang terdiri dari ikatan karbon, hidrogen, nitrogen, dan magnesium memiliki aktivitas utama yaitu mengubah zat organik dari zat anorganik sederhana dengan bantuan cahaya matahari. Dengan demikian, klorofil mengubah tenaga radiasi matahari menjadi tenaga kimia melalui proses fotosintesis atau dengan kata lain menyimpan tenaga matahari dalam tumbuh-tumbuhan berupa makanan dan bahan bakar yang nantinya akan muncul sebagai tenaga kalori pada saat terjadi pembakaran (Chudrin 2006).

Hampir semua tumbuhan tingkat tinggi mengandung sejumlah besar klorofil yang mampu menyerap energi foton dari cahaya matahari secara maksimal. Bayam merupakan salah satu tumbuhan tingkat tinggi yang saat ini banyak diteliti. Bayam sebagai salah satu tumbuhan hijau dinilai sangat efisien, dilihat dari jumlah energi yang dihasilkan dibandingkan dengan berat dan ukuran bayam itu sendiri. Saat ini, para ilmuwan AS ingin mendapatkan energi dari bayam dengan memanfaatkannya untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Dengan menggunakan sebuah piranti elektronik khusus, Zhang dari *Massachusetts Institute of Technology* dan rekan-rekannya, menggabungkan protein kompleks yang diambil dari kloroplas bayam dengan semikonduktor organik untuk membuat sel tenaga surya yang dapat menghasilkan tenaga listrik. Sel tenaga surya yang dihasilkan dari bayam lebih tipis dan ringan dibanding panel-panel surya yang sudah ada dan dapat digunakan untuk membuat panel yang lebih efisien (Kompas 2004). Kloroplas terdapat dalam setiap tanaman hijau. Dengan demikian, pada dasarnya setiap tanaman, tidak hanya bayam yang berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber listrik, sehingga pada penelitian ini juga dibandingkan dengan jenis tanaman yang lain.

Elektron-elektron dari molekul klorofil akan tereksitasi ketika terkena cahaya yang memiliki energi yang besarnya sama dengan selisih antara tingkat energi dasar dan tingkat energi eksitasinya. Tanaman menggunakan gerakan elektron tersebut untuk memberi tenaga pada saat terjadi proses fotosintesis. Adapun piranti yang dikembangkan Zhang memanfaatkan proses serupa untuk menggerakkan elektron ke semikonduktor organik yang diujarkannya pada

lapisan atas kaca. Atau dengan kata lain, tanaman menggunakan elektron bebas tersebut untuk menghasilkan karbohidrat, sedangkan sel surya menggunakan elektron untuk menghasilkan arus listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui hubungan antara kandungan klorofil terkait sifat optik dan sifat listrik melalui proses konversi tersebut.

Klorofil bersifat labil dan mudah mengalami proses degradasi menjadi molekul-molekul turunannya. Proses degradasi klorofil dapat terjadi akibat pengaruh suhu dan oksigen. Molekul hasil degradasi tidak efektif untuk proses fotosintesis, sehingga diduga juga kurang efektif pada sel surya. Oleh karena itu, pada penelitian ini perlu diamati juga adanya perubahan kestabilan klorofil dari larutan ekstrak klorofil yang dibuat untuk mengetahui apakah setelah sekian hari, klorofil akan mengalami kerusakan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk memperlambat proses degradasi adalah dengan penambahan bahan kimia, seperti CaCO_3 dan MgCO_3 .

Tujuan dari penelitian ini adalah: (i) Mengetahui karakteristik sifat optik serta hubungannya dengan kandungan klorofil, (ii) Mengetahui karakteristik sifat listrik serta hubungannya dengan kandungan klorofil, serta (iii) Meneliti kestabilan klorofil dari larutan ekstrak setelah beberapa hari.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pusat Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Penelitian dimulai dari bulan Oktober 2006 sampai Februari 2007. Pengukuran nilai absorbansi dilaksanakan di Laboratorium Pusat Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, sedangkan uji konduktivitas gelap terang dilaksanakan di Laboratorium Pusat Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Bahan dan alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi satu set alat ekstraksi untuk mengambil pigmen-pigmen dari bahan tanaman yang digunakan, Spektrofotometer UV-Vis 1601 PC untuk mengukur absorbansi larutan ekstraksi, *Two Point Probe Keithley* Tipe 6517 A sebagai sumber tegangan dalam pengukuran konduktivitas larutan klorofil, *stopwatch* untuk mengukur waktu konduktivitas. Neraca digital spesifikasi Neraca XY-200A merek Aslep untuk menimbang bahan-bahan yang akan diekstrak, multimeter untuk mengukur arus yang melalui larutan klorofil pada saat pengukuran konduktivitas, *vortex stirrer* untuk mengaduk larutan dalam tabung reaksi, *illuminator* sebagai sumber cahaya, *luxmeter* untuk mengukur intensitas cahaya, kabel penghubung, tabung reaksi, gelas ukur, dan pipet tetes.

Sementara itu, bahan yang digunakan meliputi daun bayam segar dari jenis *Amaranthus* sp., daun mengkudu segar, dan daun singkong segar masing-masing 0,1 gr, aseton 80% sebagai pelarut pigmen klorofil daun, tembaga

dengan ketebalan 0,1 mm sebagai elektroda, kertas saring Whatman No.42 untuk menyaring larutan ekstrak, kertas Abrasif 2000, dan tisu.

Cara kerja

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu persiapan, pembuatan larutan ekstrak, karakterisasi larutan yang meliputi karakterisasi sifat optik (absorbansi), pengamatan kestabilan klorofil, dan karakterisasi sifat listrik (konduktivitas), analisis data, dan kesimpulan.

Pembuatan larutan ekstrak

Ekstraksi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Larutan aseton 80% disiapkan, kemudian ditimbang sebanyak 0,1 gr daun segar. Daun dihancurkan dengan mortar kemudian ditambahkan 10 ml aseton 80%. Larutan didiamkan beberapa saat sehingga klorofil larut. Larutan ekstrak kemudian diaduk menggunakan pengaduk *vortex* hingga semua bahan larut. Larutan disaring dengan kertas saring Whatman No.42 agar sisa daun tertinggal. Filtrat diukur volumenya dan ditambahkan aseton 80% hingga volumenya mencapai 10 ml.

Uji absorbansi

Pengujian absorbansi larutan dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis 1601 PC dengan tahapan-tahapan sebagai berikut. Larutan klorofil dimasukkan ke dalam kuvet sebanyak 3 ml kemudian dimasukkan ke dalam spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1601 PC. Sumber cahaya dinyalakan. Absorbansi diukur pada panjang gelombang 645 nm dan 663 nm dalam sel 1 cm. Kandungan klorofil di hitung dengan rumus menurut Harborne (1973) sebagai berikut:

Klorofil a = $12,7 (A_{663}) - 2,69 (A_{645})$ mg/L

Klorofil b = $22,9 (A_{645}) - 4,68 (A_{663})$ mg/L

Klorofil total = $8,02 (A_{663}) + 20,2 (A_{645})$ mg/L

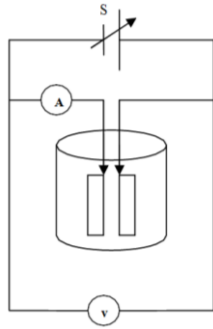
Uji konduktivitas

Pengukuran konduktivitas larutan dapat dilakukan dengan mengalirkan arus pada dua elektroda. Kedua elektroda tersebut dicelupkan ke dalam larutan klorofil, sehingga jika *Keithley* dihidupkan, arus akan mengalir pada larutan tersebut. Pengukuran resistansi larutan klorofil dilakukan dengan menggunakan metode dua titik (*two point probe*).

Berdasarkan hukum ohm, nilai resistansi bergantung pada kuat arus yang terukur melalui Amperemeter dan tegangan yang terukur oleh Voltmeter. Hukum ohm dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = I R$$

Dimana R merupakan resistansi dalam ohm (Ω), V adalah tegangan dalam volt, dan I adalah arus listrik yang mengalir dalam ampere (A). Skema *two point probe* dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pada **Gambar 1**, A adalah amperemeter yang digunakan untuk mengukur besarnya arus yang mengalir melalui larutan klorofil, V adalah voltmeter yang digunakan untuk mengukur besarnya tegangan, dan S adalah *Keithley* sebagai sumber arus. Skema pengukuran resistansi tersebut dilakukan dengan mengabaikan tahanan dalam alat ukur.



Gambar 1. Skema pengukuran resistansi larutan klorofil

Dalam metode ini digunakan *Keithley 6517 A* dalam rangkaian dengan tahapan-tahapan sebagai berikut. Alat percobaan dirangkai sesuai dengan skema pada Gambar 1. *Keithley* dinyalakan kemudian arus diatur dalam satuan μA . Tombol *operate* pada *Keithley 6517 A* ditekan. Tegangan sumber dinaikkan kemudian arus dan tegangan yang terukur pada multimeter dicatat.

Uji kestabilan

Pengujian kestabilan larutan dilakukan dengan membandingkan puncak grafik nilai absorbansi larutan klorofil setelah beberapa hari. Uji kestabilan juga dapat dilakukan dengan membandingkan perubahan warna larutan ekstrak setelah beberapa hari. Uji kestabilan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya perubahan kandungan klorofil dan kemungkinan terjadinya proses degradasi klorofil menjadi molekul turunannya.

Analisis data

Dari pengukuran dengan *two point probe Keithley 6517 A* diperoleh nilai tegangan (V) dan arus (I), kemudian dari data V - I tersebut dibuat plot grafik hubungan V - I dengan V sebagai sumbu x dan I sebagai sumbu y .

Dengan menggunakan persamaan linier $y = mx + n$ maka didapat nilai *slope* m , dimana $m = 1/R$. Besarnya nilai konduktivitas ditentukan oleh:

$$o = \frac{1}{R} \frac{L}{A} \quad o = m \frac{L}{A}$$

dimana $A = 1,5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ dan $L = 1,3 \times 10^{-2} \text{ m}$, sehingga $o = m \times 86,667$.

Besarnya ketidakpastian (S_m) dihitung dengan menggunakan simpangan baku (Djonoputro 1984):

$$s_y^2 = \frac{1}{N-2} \left[\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{N} - \frac{2 \sum x_i \sum y_i \sum (x_i y_i) + N (\sum x_i y_i)^2}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \right]$$

$$s_m = s_y \sqrt{\frac{N}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}$$

Ketidakpastian Δo diperoleh dari perbandingan m dan S_m sebagai berikut:

$$\Delta o = \frac{s_m}{m} o$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi sifat optik

Karakterisasi sifat optik ini dilakukan di Sub Laboratorium Biologi, Laboratorium Pusat, Universitas Sebelas Maret, Surakarta dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Dari pengukuran sifat optik tersebut diperoleh nilai absorbansi dari tiap panjang gelombang sehingga dapat diketahui nilai absorbansi maksimum dari masing-masing sampel.

Absorbansi larutan klorofil

Absorbansi merupakan besarnya cahaya yang diserap suatu bahan. Sampel yang berupa daun yang mengandung pigmen klorofil akan menyerap maksimum pada panjang gelombang tertentu, terutama pada spektrum biru dan merah. Gambar 2 menunjukkan absorbansi dari sampel daun bayam, daun mengkudu, dan daun singkong. Gambar 2 merupakan grafik yang memperlihatkan besarnya absorbansi dari masing-masing sampel dengan rincian nilai absorbansi maksimum pada panjang gelombang masing-masing seperti yang tertera dalam Tabel 1.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa nilai puncak absorbansi tertinggi adalah dari sampel daun bayam, puncak kedua untuk absorbansi daun mengkudu, dan puncak ketiga untuk absorbansi daun singkong. Kurva absorbansi sampel daun bayam memiliki lima puncak panjang gelombang, sampel daun mengkudu memiliki enam puncak, dan sampel daun singkong memiliki enam puncak.

Puncak-puncak tersebut mengindikasikan jenis klorofil tertentu yang berperan dalam proses penyerapan foton dengan berbagai panjang gelombang yang mengenai sampel tersebut. Molekul-molekul penyusun klorofil daun tumbuhan antara lain klorofil a, klorofil b, dan karotenoid. Klorofil a sebagai pigmen utama yang paling banyak jumlahnya dan satu-satunya molekul klorofil yang berperan dalam reaksi terang fotosintesis, sedangkan klorofil b dan karotenoid sebagai pigmen pelengkap. Setiap pigmen dibedakan berdasarkan spectrum absorpsinya yaitu pada panjang gelombang yang diserap, bukan panjang gelombang yang dipantulkan ataupun yang diteruskan.

Gambar 2 merupakan grafik perpaduan berbagai komponen penyusun pigmen klorofil, yaitu klorofil a, klorofil b, dan betakaroten. Klorofil a memiliki absorbansi maksimum pada panjang gelombang 662 nm, 430 nm, dan 410 nm. Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa spektrum absorbansi klorofil a dicapai sampel pada panjang gelombang yang sama yaitu 663 nm dan sedikit berbeda untuk absorpsi pada daerah 430 nm. Spektrum absorpsi klorofil a pada sampel daun bayam, daun mengkudu, dan daun singkong masing-masing adalah 1,9; 1,4; dan 1,1 pada panjang gelombang 663 nm serta 2,9; 2,6; dan 2,0 pada panjang gelombang di sekitar 430 nm. Dengan demikian, sampel daun bayam memiliki kemampuan menyerap foton yang lebih baik daripada daun mengkudu maupun daun singkong. Klorofil b memiliki absorbansi maksimum pada panjang gelombang 642 nm dan 453 nm. Spektrum absorpsi klorofil b berimpit dengan klorofil a, sehingga puncak-puncaknya tidak tampak, kecuali pada sampel daun mengkudu dan daun singkong pada panjang

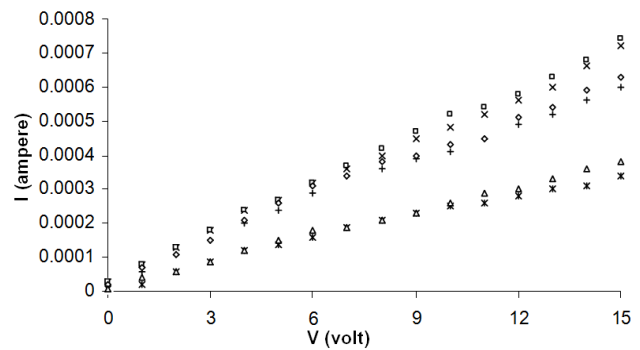
gelombang di sekitar 453 nm dan 452 nm mempunyai absorbansi sebesar 1,7 dan 1,3, sedangkan untuk keberadaan pigmen karotenoid pada daun tidak nampak karena adanya pigmen klorofil. Spektrum absorpsi klorofil a pada panjang gelombang 663 nm menunjukkan bahwa pada panjang gelombang tersebut klorofil a menyerap maksimum warna merah, sedangkan absorpsinya pada panjang gelombang 430 nm menunjukkan bahwa klorofil a menyerap maksimum warna biru. Spektrum warna merah dan biru berperan penting dalam proses fotosintesis tumbuhan karena tumbuhan dapat memperoleh seluruh kebutuhan energinya dari spektrum merah dan biru. Klorofil a yang berwarna hijau-biru akan memantulkan warna hijau dan menyerap warna merah, karena spektrum warna merah memiliki panjang gelombang yang panjang dan spektrum warna biru memiliki energi yang besar, sehingga kedua spektrum warna inilah yang mampu menembus lapisan atmosfer bumi dan diserap secara maksimal oleh molekul klorofil daun. Untuk puncak-puncak lain yang berada di antara panjang gelombang 500-600 nm sangat sedikit cahaya yang diserap karena spektrum warna hijau akan dipantulkan oleh molekul klorofil. Secara umum, Gambar 2 menunjukkan bahwa sampel daun bayam memiliki absorbansi lebih tinggi dibanding kedua sampel yang lain.

Kandungan klorofil dari beberapa sampel

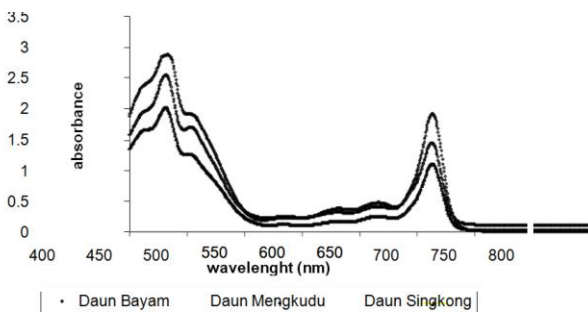
Molekul-molekul klorofil adalah bagian aktif yang menyerap cahaya matahari. Tingkat energi cahaya tampak sesuai dengan tingkat energi yang diperlukan untuk

mengaktifkan molekul pigmen. Cahaya matahari diserap oleh molekul-molekul klorofil dalam bentuk energi foton yang digunakan oleh elektron-elektron untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi.

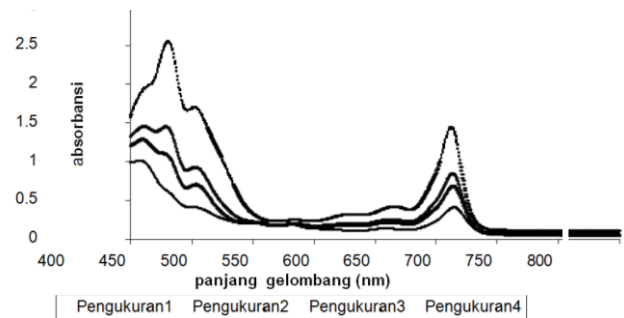
Cahaya yang datang digunakan untuk membawa elektron, sehingga terjadi proses eksitasi elektron-elektron ke tingkat yang lebih tinggi. Semakin banyak cahaya yang diserap maka semakin banyak aliran elektron. Semakin banyak elektron-elektron yang tereksitasi berarti kemampuan untuk menghasilkan listrik semakin baik, sehingga material yang memiliki kandungan klorofil terbanyak akan mampu menyerap foton cahaya secara maksimal dan menghasilkan listrik secara maksimal pula.



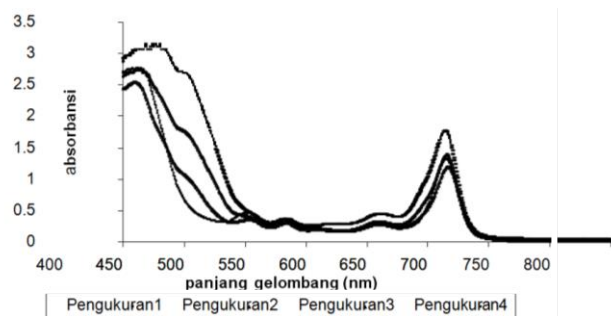
Gambar 3. Grafik I-V saat kondisi gelap-terang pada beberapa sampel.



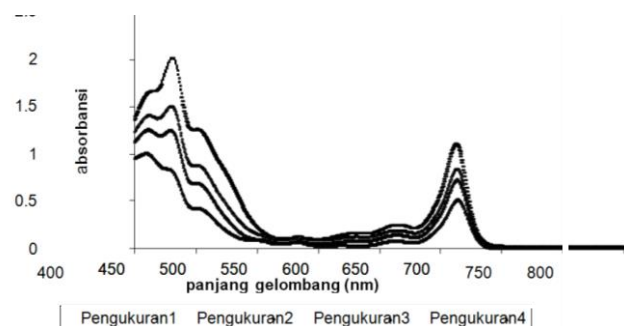
Gambar 2. Kurva absorbansi sampel daun bayam, daun mengkudu, dan daun singkong.



Gambar 5. Kurva absorbansi daun mengkudu yang diukur pada hari ke-1, hari ke-31, hari ke-46, dan hari ke-53.



Gambar 4. Kurva absorbansi daun bayam yang diukur pada hari ke-1, hari ke-31, hari ke-46, dan hari ke-53.



Gambar 6. Kurva absorbansi daun singkong yang diukur pada hari ke-1, hari ke-31, hari ke-46, dan hari ke-53

Tabel 2 memperlihatkan besarnya kandungan klorofil dari beberapa sampel yang diujikan. Jumlah kandungan klorofil tersebut mempengaruhi jumlah foton yang diabsorpsi oleh molekul klorofil sehingga akan mempengaruhi nilai absorpsi masing-masing sampel. Prinsip dasar penyerapan cahaya adalah bahwa setiap molekul hanya dapat menyerap satu foton pada waktu tertentu dan foton tersebut akan menyebabkan terjadinya eksitasi pada satu elektron dalam suatu molekul. Semakin besar kandungan klorofil suatu bahan, semakin banyak energi foton yang diserap, sehingga semakin banyak elektron bergerak yang menghasilkan aliran elektron efektif yang dapat dikonversi menjadi aliran listrik.

Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa sampel daun bayam memiliki kandungan klorofil paling banyak, sehingga daun bayam memiliki kemampuan menyerap energi foton lebih baik daripada kedua sampel lainnya. Sampel yang memiliki kandungan klorofil maksimal berarti memiliki jumlah molekul penyerap foton maksimal. Ketika energi foton yang diserap maksimal maka energi yang disimpan akan maksimal pula. Energi foton tersebut dapat dikonversi menjadi energi elektrik pada aplikasi sel surya.

Karakterisasi sifat listrik

Pengukuran resistansi larutan klorofil dilakukan di Sub Laboratorium Fisika, Laboratorium Pusat, Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Metode yang digunakan adalah metode *two point probe* dan *Keithley 6517 A* yang menghasilkan arus dan tegangan. Nilai resistansi diperoleh berdasarkan perhitungan gradien yang dihasilkan oleh grafik I-V yaitu grafik hubungan arus dan tegangan yang terukur. Grafik I-V ditunjukkan pada Gambar 3.

Pengukuran resistansi dilakukan dengan dua kondisi yaitu kondisi terang dan kondisi gelap. Nilai tegangan yang diberikan berkisar antara 0-15 volt, sehingga arus yang tercatat akan meningkat dengan bertambahnya tegangan. Dengan memberikan beda tegangan pada kedua ujung plat tembaga maka terjadi aliran arus melewati larutan klorofil yang dapat diukur dengan rangkaian *two point probe* yang terhubung dengan *Keithley 6517 A*. Pada pengujian saat kondisi terang, intensitas cahaya yang mengenai sampel adalah 180 lumen yang setara dengan $585,36 \text{ mW/m}^2$ yang dihasilkan dari sebuah *illuminator*. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui respons cahaya dengan mengukur I-V pada saat gelap dan pada saat disinari. Hasil pengukuran respons cahaya terhadap klorofil dapat ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan hasil perhitungan resistansi dan konduktivitas larutan klorofil ditunjukkan pada Tabel 3.

Pada kondisi gelap, nilai resistansi sampel lebih besar daripada saat kondisi terang. Perbedaan nilai resistansi pada dua kondisi tersebut dikarenakan jumlah elektron yang tereksitasi pada kondisi gelap lebih sedikit karena elektron-elektron tersebut tidak memiliki cukup energi untuk bertransisi ke orbital lain yang memiliki energi lebih tinggi. Semakin sedikit elektron-elektron yang tereksitasi maka nilai resistansinya semakin besar, sehingga arus yang mengalir akan semakin kecil. Sampel daun bayam memiliki kandungan klorofil yang lebih banyak sehingga memiliki elektron bebas yang lebih banyak pula dibandingkan

dengan sampel yang lain. Nilai resistansi sampel daun bayam lebih kecil dibandingkan kedua sampel yang lain. Sampel daun bayam bersifat lebih konduktif karena memiliki nilai resistansi terkecil dibandingkan sampel yang lain, baik pada kondisi gelap maupun kondisi terang.

Dari Gambar 3 tampak bahwa pada saat terang, arus yang terukur lebih tinggi daripada larutan klorofil yang diukur saat gelap. Hal ini dikarenakan klorofil merupakan material yang bersifat reseptor cahaya yang menyerap cahaya tampak. Ketika cahaya atau foton diserap, akan terjadi eksitasi elektron. Semakin banyak elektron yang tereksitasi, arus terukur juga semakin besar, sehingga ketika larutan dikenai cahaya, arus yang terukur semakin besar.

Konduktivitas larutan klorofil dihitung berdasarkan data arus (I) dan tegangan (V) dari *two point probe*. Nilai konduktivitas larutan untuk masing-masing sampel ditunjukkan pada Tabel 3. Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa besarnya konduktivitas larutan klorofil berbanding terbalik dengan resistansi larutan. Selisih nilai konduktivitas gelap-terang menunjukkan bahwa bahan bersifat konduktif yang baik meskipun tanpa pengaruh sumber tegangan dari luar.

Tabel 1. Puncak absorpsi beberapa sampel daun

Daun bayam		Daun mengkudu		Daun singkong	
Z (nm)	Absorb.	Z (nm)	Absorb.	Z (nm)	Absorb.
663	1,9	663	1,4	663	1,1
616	0,5	616	0,4	616	0,2
582	0,4	581	0,3	582	0,2
536	0,2	535	0,2	534	0,1
433	2,9	453	1,7	452	1,3
-	-	432	2,6	431	2,0

Keterangan: Z = Panjang gelombang (nm)

Tabel 2. Kandungan klorofil beberapa sampel daun

Sampel	Klorofil a (mg/L)	Klorofil b (mg/L)	Klorofil total (mg/L)
Bayam	21	5,8	27
Mengkudu	16	6,7	22
Singkong	12	3,4	16

Tabel 3. Resistansi dan konduktivitas klorofil beberapa sampel daun

Sampel	$R \times 10^3 (\Omega)$		$\sigma \times 10^{-3} (\Omega\text{m})^{-1}$		$\Delta \sigma \times 10^{-3} (\Omega\text{m})^{-1}$
	Gelap	Terang	Gelap	Terang	
Daun bayam	2,27	2,07	3,81	4,20	0,39
Daun mengkudu	2,58	2,54	3,28	3,40	0,13
Daun singkong	4,59	4,13	1,89	2,10	0,21

Tabel 4. Penurunan kandungan klorofil beberapa sampel daun

Pengukuran ke-	Daun bayam	Daun mengkudu	Daun singkong
1	0%	0%	0%
2	29%	41%	25%
3	43%	54%	38%
4	61%	68%	56%

Konduktivitas sampel daun bayam saat gelap sebesar $(3,8133 \pm 0,0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$ dan saat diterangi konduktivitasnya sebesar $(4,1947 \pm 0,0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$. Sampel daun mengkudu saat gelap memiliki konduktivitas sebesar $(3,2761 \pm 0,0006) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$ dan saat diterangi konduktivitasnya sebesar $(3,4061 \pm 0,0007) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$, sedangkan sampel daun singkong saat gelap memiliki konduktivitas sebesar $(1,893 \pm 0,001) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$ dan saat diterangi konduktivitasnya sebesar $(2,0973 \pm 0,0006) \times 10^{-3} (\Omega m)^{-1}$. Dengan demikian, sampel daun bayam memiliki konduktivitas yang sangat baik karena mampu menghantarkan arus listrik secara maksimal. Hal ini dikarenakan sampel tersebut memiliki sejumlah besar molekul klorofil yang mampu menyerap foton secara maksimal.

Kurva kestabilan

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa sampel daun bayam pada hari pertama memiliki serapan maksimum klorofil a pada panjang gelombang 664,50 yaitu sebesar 1,723 dan menurun menjadi 1,392 pada pengukuran kedua dan pengukuran selanjutnya sesuai pertambahan waktu. Hal ini juga terlihat pada pergeseran panjang gelombang dari 664,50 menjadi 665,50; 665,50; dan 666,50.

Dari hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa pengukuran absorbansi pada hari pertama diperoleh tiga puncak yang cukup tajam, misalnya pada panjang gelombang 534,5 nm, 611,5 nm, dan 664,5 nm dengan besar absorbansi masing-masing sebesar 1,7723, 0,4396, dan 0,3667. Pada pengukuran kedua, selang tiga puluh hari didapatkan penurunan puncak absorbansi serta pergeseran panjang gelombang yaitu sebesar 0,3126, 0,3229, dan 1,3920 masing-masing pada panjang gelombang 533,5 nm, 609,5 nm, dan 665,5 nm. Demikian halnya pada pengukuran-pengukuran berikutnya. Beberapa penurunan puncak tersebut mengindikasikan adanya penurunan kualitas serapan molekul klorofil terhadap cahaya yang mengenainya. Dari perhitungan kandungan klorofil diperoleh penurunan kandungan klorofil total sebesar 29% pada pengukuran kedua, yaitu setelah 30 hari. Penurunan sebesar 43% setelah 45 hari dan 61% setelah 52 hari. Adanya penurunan kandungan klorofil juga mengakibatkan adanya penurunan jumlah molekul klorofil yang berfungsi menyerap cahaya.

Setelah sekian hari, kualitas serapan klorofil terhadap cahaya yang semakin menurun tersebut dapat menyebabkan kualitas yang kurang baik terhadap divais yang dibuat. Agar divais fotodetektor dapat beroperasi secara optimal maka kerusakan klorofil tersebut harus diminimalkan.

Dari hasil yang diperoleh nampak bahwa pengukuran absorbansi pada hari pertama diperoleh tiga puncak yang cukup tajam, misalnya pada panjang gelombang 431,5 nm, 453 nm, dan 662,5 nm dengan besar absorbansi masing-masing adalah sebesar 2,5518, 1,6949, dan 1,4376. Pada pengukuran kedua didapatkan penurunan puncak absorbansi sebesar 1,4492, 0,9261, dan 0,8439 pada panjang gelombang 429,5 nm, 453 nm, dan 663,5 nm. Dari

perhitungan kandungan klorofil diperoleh penurunan kandungan klorofil total sebesar 41% pada pengukuran kedua, yaitu setelah 30 hari. Penurunan kandungan klorofil pada sampel ini mengakibatkan penurunan jumlah molekul klorofil yang akan menyerap cahaya. Besarnya penurunan kandungan klorofil sampel daun mengkudu ini lebih besar daripada sampel daun bayam, sehingga divais dari sampel daun bayam akan bekerja lebih baik daripada divais dari sampel kedua lainnya.

Kurva kestabilan daun singkong

Dari Gambar 6 terlihat adanya tiga puncak utama pada pengukuran absorbansi pada hari pertama yaitu pada panjang gelombang 431 nm, 451,5 nm, dan 663 nm dengan absorbansi masing-masing sebesar 2,1035, 1,257, dan 1,0999. Penurunan kandungan klorofil dari ketiga sampel yang diujikan pada penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 4.

Dari ketiga sampel yang diujikan pada penelitian ini, terdapat beberapa penurunan puncak yang mengindikasikan adanya penurunan kualitas serapan molekul klorofil terhadap cahaya yang mengenainya, sehingga dalam hal ini dapat dikatakan bahwa setelah sekian hari, molekul-molekul klorofil tidak mampu menyerap cahaya secara optimal untuk dapat dikonversi menjadi energi yang lain. Larutan klorofil secara umum akan mengalami perubahan fisik setelah beberapa hari. Perubahan fisik meliputi perubahan warna, yaitu warna berubah menjadi kecokelatan, namun perubahan fisik tersebut tidak mempengaruhi perubahan kimiawi. Secara kimiawi, struktur dasar klorofil akan tetap, hanya saja terjadi degradasi atom Mg dan rantai sampingnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut: (i) Absorbansi klorofil sampel daun bayam lebih tinggi daripada absorbansi daun mengkudu maupun daun singkong; (ii) Kandungan klorofil sampel daun bayam lebih besar daripada kedua sampel lainnya; (iii) Konduktivitas sampel daun bayam lebih besar dari kedua sampel lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chudrin T. 2006. Makanan dalam perspektif Al-Quran dan ilmu gizi. Balai Penerbit FKUI, Jakarta.
- Djonoputro D. 1984. Teori ketidakpastian. ITB, Bandung.
- Harborne YB. 1973. Metode fitokimia: Penuntun cara modern menganalisa tumbuhan. Alih bahasa: Padmawinata K, Soediro I. ITB, Bandung.
- Kompas. 2004. Bayam hasilkan sel tenaga surya yang lebih baik. www.kompas.com. [27 april 2007].
- Lehninger AL. 1982. Dasar-dasar biokimia. Alih bahasa: Thenawidjaja M. Erlangga, Jakarta.
- Yulianto B. 2006. Teknologi sel surya untuk energi masa depan. www.beritaipstek.com. [1 April 2007].