

Kajian klorofil dan Karotenoid *Plantago major* L. dan *Phaseolus vulgaris* L. sebagai Bioindikator Kualitas Udara

Study on *Plantago major* L. dan *Phaseolus vulgaris* L. chlorophyll and carotenoid content using as bioindicator for air pollution

ENDANG ANGGARWULAN, SOLICHA TUN

Jurusan Biologi, FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta 57126

Diterima: 27 Juli 2007. Disetujui: 28 September 2007.

ABSTRACT

The aims of this research were to study using chlorophyll and carotenoid as bioindicator air quality. This research used completely randomized design 2 x 4 factorial with 5 replicates. The first factor was distance from source of exhaust automobile emissions, consists of 4 levels: 0, 50, 100, and 200 m. The second factor was plant species, consist 2 level: *Plantago major* and *Phaseolus vulgaris*. Data collected were analyzed using Multiple Regression Analysis followed by Duncan Multiple Range Test in 5% confidence level. The result indicated that increasing distance from source exhaust automobile emission, increased growth and chlorophyll content. Chlorophyll content in *Phaseolus* is more sensitive as bioindicator for air pollution.

© 2007 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Key words: chlorophyll, bioindicator, *Plantago major*, *Phaseolus vulgaris*.

PENDAHULUAN

Suatu tatanan lingkungan hidup dapat tercemar atau menjadi rusak disebabkan oleh banyak hal. Yang paling utama dari sekian banyak penyebab tercemarnya suatu tatanan lingkungan hidup biasanya berasal dari limbah-limbah yang sangat berbahaya dalam arti memiliki daya racun (toksisitas) yang tinggi. Limbah-limbah yang sangat beracun pada umumnya merupakan limbah kimia, baik berupa persenyawaan, unsur, ion, maupun gas. Kualitas udara antara lain ditentukan oleh keberadaan gas pencemar hasil buangan / pembakaran bahan bakar fosil. Contohnya sulfur dioksida (SO_2) adalah hasil primer dari pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung belerang; nitrogen dioksida (NO_x) merupakan hasil samping dari pembakaran yang timbul dari kombinasi nitrogen dan oksigen atmosfer. Hasil awal dari reaksi yang disebutkan terakhir, NO dioksidasi secara lambat menjadi NO_2 dalam atmosfer. Pembakaran bahan bakar juga mengakibatkan munculnya sejumlah gas hidrokarbon termasuk etilen (C_2H_4). Asap kendaraan bermotor mengandung proporsi yang bervariasi dari CO_2 , H_2O , CO, SO_2 , NO_x , dan C_2H_4 (Wikipedia, 2006).

Selain itu emisi gas kendaraan bermotor juga mengandung Pb, bahan aktif yang mampu menghalangi kerja enzim dalam proses fisiologis atau metabolisme tumbuhan. Menurut Anggarwulan, dkk. (2001) tanaman angsa yang berfungsi sebagai peneduh jalan di daerah padat lalu lintas, terbukti mengakumulasi logam berat Pb.

Selain itu Pb merupakan senyawa kimia yang juga dapat terakumulasi atau menumpuk di dalam tubuh, berefek membahayakan kesehatan karena dapat menimbulkan problema keracunan kronis (Palar, 1994). Menurut hasil pemantauan Bapedalda Jakarta kadar cemaran bahan-bahan tersebut pada saat ini telah berada di atas ambang batas yang ditentukan (Duryatmo, 2000).

Tumbuhan yang tumbuh di daerah tercemar polutan, akan menyerap gas-gas lain ke dalam mesofil daun pada saat proses asimilasi CO_2 . Pada kecepatan angin yang lebih tinggi, umumnya terjadi penambahan yang besar dalam pengambilan SO_2 yang disertai dengan membukanya stomata. Absorpsi SO_2 secara normal akan dibatasi oleh lubang/celah stomata, dengan kutikula daun yang memberikan tahanan yang sangat tinggi. Jika polutan masuk ke dalam sel mesofil, pengaruh utamanya akan terletak pada tingkat molekuler atau tingkat ultra-struktural. Polutan diketahui menyebabkan perubahan dalam respon stomata, struktur kloroplas, fiksasi CO_2 , dan sistem transport elektron fotosintetik. Daun yang dihadapkan pada SO_2 , umumnya menyebabkan turunnya fiksasi CO_2 yang cepat dan sekaligus mengganggu kerja fotosistem II (Garty et al., 2001). Efek SO_2 akan menurunkan respirasi dan fotosintesis, meningkatkan permeabilitas membran, K^+ influx dan kehilangan ion (Mulgrew dan Williams, 2006). Hal ini terjadi karena adanya kompetisi antara ion sulfid dan bikarbonat atas tempat pengikatan CO_2 pada karboksilase RuBP dan karboksilase PEP. Hasil akhir fotosintesisnya akan menurun, yang ditunjukkan pada terhambatnya pertumbuhan.

Tanaman bioindikator atau biomonitor umumnya adalah tanaman yang dalam suatu ekosistem berinteraksi dengan lingkungan dengan menunjukkan perubahan pada morfologi, anatomi, biokimia maupun fisiologi. Perubahan yang terlihat dapat berupa nekrosis, perubahan bentuk

▼ Alamat Korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126
Telp.: +62-271-663375, Fax. +62-271-663375
Email : biology@mipa.uns.ac.id

daun, atau yang dapat secara cepat terlihat dan terukur tanpa mendeteksi keberadaan polutan di dalam jaringan tanaman. Dari tanggapan yang diperlihatkan, tanaman bioindikator dapat digunakan untuk memastikan adanya bahan pencemar di lingkungan tersebut. Sejumlah tanaman peneduh di Pakistan, diantaranya *Alstonia scholaris*, *Mimusops elengi*, dan *Ficus religiosa* yang dihadapkan pada paparan polutan gas buang kendaraan bermotor dalam jangka waktu yang lama; mengalami perubahan fenologi, perubahan pada ukuran daun, dan senesensi (Khan *et al.* (1975) dalam Innes dan Haron, 2000). Pengukuran kadar klorofil a dan b berkorelasi positif dengan laju pertumbuhan tajuk, sehingga klorofil dapat digunakan dalam sistem monitoring (Sampson *et al.* 2003; Agrawal, 2002).

Berdasarkan uraian tersebut di atas penelitian ini dilakukan untuk mengkaji peran dan kelayakan tanaman *Plantago mayor* dan *Phaseolus vulgaris* untuk dijadikan bioindikator kualitas udara; mengingat kedua jenis tanaman tersebut mudah dijumpai di sejumlah daerah di Indonesia.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Percobaan dilakukan di daerah Ampel, Boyolali, Jawa Tengah. Pemaparan tanaman terhadap asap kendaraan bermotor dilakukan dengan menempatkan tanaman di pinggir jalan Jl. Raya Solo-Semarang Km. 38 dengan jarak 3 meter dari tepi jalan raya (dianggap titik 0 m), 50 m, 100 m, dan 200 m dari jalan raya. Pemaparan berlangsung selama 1 bulan (selama bulan Juli 2006). Analisis pertumbuhan tanaman (Sitompul dan Guritno, 1995) dan kandungan klorofil serta karotenoid dilakukan di Sub Lab Biologi, Laboratorium Pusat MIPA UNS.

Bahan dan Alat Penelitian

Biji tanaman *Plantago major* dan *Phaseolus vulgaris* diperoleh dari daerah Ampel, Boyolali. Biji dikecambahkan dalam media tanah dalam pot-pot plastik. Kecambah umur 1 bulan dipakai sebagai bahan percobaan. Media tanam yang digunakan adalah tanah tipe regosol. Tanah dikeringanginkan dan diayak. Setelah ditimbang masing-masing seberat 500 g, Dibuat campuran tanah:pupuk kandang (1:1) setelah itu dimasukkan ke dalam pot-pot plastik. Pemeliharaan rutin yang dilakukan meliputi penyiraman (sekitar 100 ml tiap hari), dan penyiangan gulma secara manual (jika ada).

Rancangan Penelitian

Percobaan menggunakan rancangan faktorial 4 x 2. Faktor yang I jarak tanaman dari sumber gas buang kendaraan bermotor terdiri 4 aras, yaitu 0 m, 50, 100 m, dan 200 m. (untuk jarak 0 m, sebenarnya adalah 3 m). Faktor II adalah jenis tanaman terdiri 2 aras, yaitu *Plantago major* dan *Phaseolus vulgaris*. Masing-masing perlakuan dengan 5 ulangan. Lama perlakuan yang diberikan 4 minggu.

Parameter yang diamati adalah parameter pertumbuhan (Sitompul dan Guritno, 1995) meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, berat kering tanaman, kadar klorofil dan karotenoid. Kandungan klorofil dan karotenoid daun dihitung dengan spektrofotometer UV-Vis mengikuti metode yang dikemukakan oleh Hendry dan Grime (1993). Ekstraksi klorofil dilakukan dengan acetone 80%. Sampel yang akan diukur kadar klorofilnya adalah daun pertama, ditimbang 0,1 g, digerus dalam mortar, kemudian ditambah acetone

sebanyak 10 ml. Selanjutnya disaring dengan kertas filter Whatman 41. Filtrat kemudian diukur absorbansinya pada 480, 645, dan 663 nm. Penghitungan kadar klorofilnya sebagai berikut:

- i) Klorofil a mg/g berat daun
= $12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645} \times 10^{-1}$
- ii) Klorofil b mg / g berat daun
= $22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663} \times 10^{-1}$
- iii) Klorofil total mg / g berat daun
= $8,02 \times A_{663} + 20,2 \times A_{645} \times 10^{-1}$
- iv) Karotenoid $\mu\text{mol} / \text{g}$ berat daun
= $\frac{(A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V \times 10^3}{112,5 \times 0,1 \times 10}$
- v) V = volume ekstrak

Analisis Data

Data parameter pertumbuhan yang diperoleh dianalisis dengan analisis regresi ganda dan dilanjutkan dengan *Duncan Multiple Range Test* taraf 5% (Steel dan Torrie, 1989; Mead *et al.*, 1993).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan

Perlakuan pemaparan pada emisi gas buang kendaraan bermotor dengan menempatkan tanaman *Phaseolus vulgaris* L dan *Plantago major* L. pada berbagai jarak, mulai dari 0 (sebenarnya 3 m), 50, 100, dan 200m dari jalan raya; tanaman kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengamatan dan pengukuran sejumlah parameter pertumbuhan. Diantaranya adalah tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, panjang akar dan berat kering tanaman. Hasil analisis regresi ganda tersaji pada Tabel 1. Kedua jenis tanaman pada penelitian ini menunjukkan pertumbuhan paling rendah pada jarak 3 m, dan pada jarak yang semakin jauh dari jalan raya pertumbuhan tinggi tanaman dan berat kering semakin meningkat (Gambar 1 dan 2). Hal ini menunjukkan bahwa di lingkungan yang rendah kadar emisi gas buangnya, yaitu jarak antar 100 - 200 m; pertumbuhan tidak mengalami gangguan.

Tabel. 1. Tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, panjang akar, dan berat kering *Phaseolus vulgaris* dan *Plantago major* pada perlakuan jarak dari paparan gas buang kendaraan bermotor

Parameter Uji	J a r a k (m)			
	0	50	100	200
Tinggi tanaman (cm)				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	8,80 ^c	10,80 ^d	12,70 ^{de}	14,02 ^e
<i>Plantago major</i>	4,20 ^a	4,60 ^a	5,40 ^{ab}	7,20 ^{bc}
Jumlah daun (lem-bar)				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	4,80 ^{ab}	6,00 ^c	8,60 ^d	10,00 ^d
<i>Plantago major</i>	3,40 ^a	3,80 ^{ab}	5,20 ^{ab}	5,60 ^{bc}
Luas daun (cm ²)				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	12,92 ^{ab}	28,60 ^b	73,02 ^c	72,40 ^c
<i>Plantago major</i>	2,88 ^a	4,64 ^a	10,88 ^{ab}	15,52 ^{ab}
Panjang akar (cm)				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	7,40 ^a	11,60 ^{ab}	14,20 ^{bc}	14,20 ^{bc}
<i>Plantago major</i>	12,20 ^{ab}	13,90 ^{bc}	15,40 ^{bc}	18,00 ^c
Berat kering (g)				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0,11 ^a	0,18 ^a	0,53 ^b	0,52 ^b
<i>Plantago major</i>	0,05 ^a	0,07 ^a	0,13 ^a	0,15 ^a

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom setiap nomor yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan pada uji Duncan taraf 5%.

Dari semua parameter pertumbuhan yang diamati, yaitu tinggi, jumlah daun, luas daun, panjang akar, dan berat kering tanaman (Tabel 1) memperlihatkan kecenderungan yang serupa. Kedua jenis tanaman pada penelitian ini menunjukkan pertumbuhan paling rendah pada jarak 3 m (yang dianggap sebagai 0); dan pada jarak yang semakin jauh dari jalan raya pertumbuhannya semakin meningkat (Gambar 1 dan 2). Hal ini menunjukkan bahwa di lingkungan yang rendah kadar emisi gas buangnya, yaitu jarak antar 100 - 200 m; pertumbuhan tidak mengalami gangguan. Hasil yang serupa ditunjukkan penelitian Madhuanjari dan Mukherjee (2002) terhadap 6 jenis tumbuhan pinggir jalan seperti *Nerium oleander* Mill, *Boerhaavia diffusa* L., *Amaranthus spinosus* L., *Cephalandra indica* Naud. dan *Tabernaemontana divaricata* L., yang terpapar gas buang kendaraan bermotor secara terus menerus. Reduksi pada sejumlah parameter pertumbuhan berkaitan erat dengan tingkat polusi tempat tumbuhnya (Agrawal, 2001).

Pada dasarnya ada dua macam strategi tumbuhan untuk dapat mengatasi suatu cekaman, yaitu pertama dengan memperbaiki kerusakan yang ditimbulkan, dan yang kedua dengan melalui mekanisme pertahanan dengan mengakumulasi senyawa proteksi. Kedua strategi dapat bekerja secara bersamaan, dan saling melengkapi. Misalnya saja senyawa isoflavonoid pada *Arabidopsis* yang biosintesisnya ditujukan untuk melindungi dari kerusakan dan kematian sel dengan mencegah dimerisasi pada DNA. Biosintesis isoflavonoid tersebut dipicu oleh cekaman UV-B (Dixon dan Paiva, 1995; Krauss et al. (1997) dalam Bilger et al., 2001).

Klorofil dan Karotenoid

Hasil analisis regresi data kadar klorofil a, b, total, dan karotenoid tersaji pada Tabel 2. Kadar klorofil a, b, dan total menunjukkan kecenderungan yang meningkat pada peningkatan jarak dari sumber polusi Gambar 3 dan 4). Kandungan klorofil berkorelasi positif dengan kandungan nitrogen daun, sehingga dapat dijadikan indikator laju fotosintesis (Sampson et al., 2003; Fracheboud, 2006). Hasil analisis regresi data tersaji pada Tabel 2.

Dari paparan data pada Tabel 2 menunjukkan pola yang serupa dengan parameter pertumbuhan. Ada kecenderungan peningkatan jarak akan meningkatkan kadar klorofil khususnya klorofil a, dan klorofil total secara signifikan (Gambar 3 dan Gambar 4). Hal ini dapat diasumsikan bahwa semakin dekat jarak dengan sumber kadar gas buang kendaraan bermotor, klorofil yang mengalami degradasi semakin besar; sehingga kadarnya menjadi semakin rendah.

Tabel 2. Kadar klorofil (µmol/g berat daun) dan karotenoid (µmol/berat basah daun) *Phaseolus vulgaris* dan *Plantago major* pada perlakuan jarak dari gas buang kendaraan bermotor

Parameter uji	Jarak (m)			
	0	50	100	200
Klorofil a µmol / g berat daun				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	9,58 ^a	12,66 ^b	15,57 ^c	19,83 ^d
<i>Plantago major</i>	12,44 ^b	13,13 ^b	13,49 ^{ab}	14,99 ^c
Klorofil b µmol / g berat daun				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	7,57 ^{ab}	9,37 ^b	8,57 ^b	8,70 ^b
<i>Plantago major</i>	4,80 ^a	5,06 ^a	6,39 ^b	4,80 ^a
Klorofil total µmol / g berat daun				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	10,94 ^a	14,38 ^{bc}	16,97 ^d	21,57 ^e
<i>Plantago major</i>	13,59 ^b	14,20 ^b	4,99 ^{bcd}	16,66 ^{cd}
Karotenoid µmol / g berat daun				
<i>Phaseolus vulgaris</i>	3,46 ^a	5,18 ^{bc}	5,67 ^c	4,84 ^{bc}
<i>Plantago major</i>	4,67 ^{abc}	4,52 ^{abc}	3,97 ^{ab}	5,13 ^{bc}

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom setiap nomor yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan pada uji Duncan taraf 5%.

Klorofil berperan penting sebagai perangkat penangkap energi sinar matahari yang dalam fotosintesis akan menghasilkan ATP dan NADPH. Meskipun dalam penelitian ini laju fotosintesis tidak diukur, namun pertumbuhan sebagai hasil dari proses fotosintesis dapat dijadikan tolak ukurnya sebagaimana yang dipaparkan pada Tabel 1. Hasil yang serupa terjadi pada penelitian Agrawal (2002) perlakuan UV-B pada *Vicia faba* yang menunjukkan terjadinya penurunan kadar klorofil sejalan dengan menurunnya laju laju fotosintesis. Hasil yang berbeda diperoleh pada penelitian Madhu dan Madhoolika (2005) yang mempelajari pengaruh polutan yang berasal perkotaan terhadap daerah pinggiran pada tanaman gandum (*Triticum aestivum*). Gandum menunjukkan tidak terpengaruh ambien polutan di udara. Menurut Sampson et al.(2003) dan Fracheboud (2006), kadar klorofil dapat dijadikan indikator yang sensitif kondisi fisiologis suatu tumbuhan, karena kandungan klorofil berkorelasi positif dengan kandungan nitrogen daun, sehingga dapat dijadikan indikator laju fotosintesis.

Kadar karotenoid pada *Phaseolus* sedikit mengalami penurunan pada jarak 200 m; dan pada *Plantago* penurunan terjadi pada jarak 100 m meski kemudian meningkat pada jarak 200m (Gambar 5). Namun hasil analisisnya menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan. Karotenoid oleh beberapa peneliti tidak dijadikan fokus penelitian, seperti halnya yang dilakukan Marwood et al. (2001) yang mempelajari klorofil sebagai bioindikator pencemar bahan campuran pengawet kayu berupa *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) pada *Myriophyllum spicatum* dan *Lemna gibba*. Pengamatan dilakukan pada pertumbuhan, protein daun, dan klorofil a. Demikian pula halnya penelitian Sampson et al. (2003) yang hanya mengukur pigmen klorofil pada *Acer saccharum* disamping mengukur korelasi Ca dan Mg dengan kadar klorofil dalam studi *biomonitoring* terhadap partikel pencemar udara.

Data sekunder yang berupa data kimia *ambient* SO₂, NO₂, O₃ lingkungan tahun 2005 diperoleh dari Kantor Pengendalian Dampak Lingkungan Kabupaten Boyolali (Lampiran 2, Tabel 1). Meskipun pengambilan data telah satu tahun berselang, tidak tertutup kemungkinan adanya perubahan data. Namun apabila ada penambahan atau penurunan konsentrasi polutan tersebut di udara, diperkirakan tidak terlalu jauh dari data yang telah diperoleh. Lokasi – lokasi yang diperkirakan tinggi kadar emisi gas buangnya adalah Terminal Boyolali, Terminal Bangak, dan Pasar Boyolali. Hasil uji data kimia, untuk SO₂ di ketiga tempat tersebut berturut-turut 586,47; 167,47 dan 587,52 µg/NM³. Nilai baku mutu menurut Kep-48/MenLH/11/1996 untuk SO₂ adalah 632 µg/NM³. Untuk data NO₂ ketiga tempat tersebut adalah 36,34; 28,25 dan 36,40 µg/NM³. Angka ini menunjukkan jauh di bawah nilai baku mutunya yaitu 316 µg/NM³. Dengan merujuk hasil uji kualitas udara tersebut, dapat diartikan bahwa lingkungan terminal yang aktivitas kendaraan bermotornya tinggi, kadar emisi gas buangnya masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan.

Penelitian ini dilakukan di daerah Tompak Ampel Boyolali, yaitu ruas jalan Boyolali – Semarang, antara Terminal Boyolali dengan Pasar Ampel. Daerah tersebut meskipun merupakan jalur lalu lintas yang padat, tetapi kemungkinan kadar emisi gas buangnya berada di bawah yang terekam di terminal. Meskipun demikian kedua jenis tanaman yang diteliti tampaknya cukup sensitif terhadap pencemaran gas buang kendaraan bermotor, mengingat perkiraan nilai SO₂ tempat penelitian yang masih jauh di bawah ambang batas yang telah ditetapkan Kep-48/MenLH/11/1996. Dengan demikian hasil penelitian ini khususnya pengukuran kadar klorofil utamanya klorofil a dan total pada *Phaseolus vulgaris* dan *Plantago major* dapat dijadikan bioindikator dalam menilai kualitas udara.

Klorofil sebagai indikator kualitas udara, dapat digunakan untuk memprediksi pertumbuhan tanaman yang bersangkutan.

Persamaan regresi dengan klorofil a dan klorofil total sebagai prediktor terhadap berat kering adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b X$$

Keterangan

Y = berat kering tanaman

a = konstanta,

b = konstanta,

X = kadar klorofil a / klorofil total

Untuk klorofil a sebagai prediktor, konstanta a besarnya -0,334; b nilainya 0,040, dan apabila klorofil total sebagai prediktor nilai konstanta a = -0,377; b = 0,039. Nilai R² klorofil a dan total sebagai prediktor, masing-masing 0,306 dan 0,349. Hal ini menunjukkan bahwa selain klorofil tersebut, masih ada faktor-faktor lain yang berperan dalam mempengaruhi pertumbuhan. Misalnya saja, air, hara, sinar matahari, dan faktor dalam yang ada dalam tanaman; misalnya hormon, dan senyawa-senyawa metabolit sekunder yang berperan dalam mekanisme pertahanan tubuh tumbuhan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan kadar klorofil a dan klorofil total *Phaseolus vulgaris* L. lebih sensitif dibanding *Plantago major* untuk dapat dijadikan bioindikator kualitas udara, khususnya untuk gas buang kendaraan bermotor. Meskipun korelasi klorofil a dan klorofil total sebagai prediktor pertumbuhan masing-masing hanya sebesar 0,306 dan 0,349.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan, tentang pengaruh gas buang industri terhadap kandungan klorofil ke dua jenis tanaman tersebut, dan juga jenis-jenis tanaman lain asli Indonesia untuk memperoleh tanaman yang dapat digunakan sebagai bioindikator.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, M. 2001. Biomonitoring of air pollution in a seasonally dry tropical suburban area using wheat transplants. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=15736874&dopt=Abstracts diakses 25 Agustus 2006
- Agrawal, S.B. 2002. Physiological and biochemical responses of field grown *Vicia faba* L. plants to supplemental ultra violet-B radiation. *Paryavaran Abstracts* 19(1-2):1. envfor.nic.in/paryaabs/vlg12/plant.html diakses tanggal 27 Agustus 2006.
- Anggarwulan, E., Sugiyarto, dan Mahajoeno, E. 2001. Kandungan timbal (Pb) pada daun angkana (*Pterocarpus indicus* Willd) di daerah padat lalu lintas Kota Surakarta. *BioSMART* 3(1): 40-43.
- Bilger, W., Johnsen, T., and Schreiber, U. 2001. UV-exited chlorophyll fluorescence as a tool the assessment of UV-protection by epidermis plants. *J. Expr. Bot.* 52(363): 2007-2014.
- Duryatmo, S. 2000. Pohon pilihan penyerap polusi. *Trubus* 365:78-79.
- Fracheboud, Y. 2006. Using chlorophyll fluorescence to study photosynthesis. <http://www.ab.ipw.agr.ethz.ch/~yfracheb/flex.htm> diakses tanggal 15 Septem-ber 2006.
- Garty, J., Tamir, O., Hassid, I., Eshel, A., Cohen, Y., Karnieli, A., and Orlovsky, L. 2001. Photosynthesis, chlorophyll integrity, and spectral reflectance in lichens exposed to air pollution. *J. Environmental Quality* 30:884-893.
- Hendry, G.A.F. and Grime, J.P. 1993. *Methods on Comparative Plant Ecology, A Laboratory Manual.* London : Chapman and Hill.
- Innes, J.L. and Haron, .H. 2000. Airpollution and the forest of developing rapidly industrializing regions. In J.L. Innes, and A.H. Haron (Eds). *Air Pollution and Forestry in Rapidly Industrializing Countries: An Introduction.* pp 1-14.
- Madhumanjari, M., Mukherjee, S. 2001. A study on the activities of few free radical scavenging present in five road side plant. *Paryavaran Abstracts* 2002. 19(1-2):3.
- Madhu, R., Madhoolika, A. 2005. Biomonitoring of air pollution in seasonally dry tropi-cal suburban area using wheat transplants. <http://www.ingentaconnect.com/content/ku/emas/2005/00000101/F0030001/00009129;jsessionid=7> diakses tanggal 13 September 2006.
- Marwood, C.A., Solomon, K.R., Greenberg, B.M. 2001. Chlorophyll fluorescence as a bioindicator of effects on growth in aquatic macrophytes from mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environ. Toxic. and Chemist.* 20(4): 890-898.
- Mead, R., Cumow, R.N., and Hasted, A.M. 1993. *Statistical Methods in Agriculture and Experimental Biology.* Chapman and Hall, London.
- Mulgrew, A., Williams, P. 2006. Biomonitoring of Air Quality Using Plants. *Ais Hygiene Report No. 10.* <http://www.umweltbundesamt.de/whoce/AHR10/v-FC-htm>. diakses tanggal 14 Maret 2006
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat.* Jkarta : Rineka Cipta.
- Posthumus, A.C. 1991. Effects of air pollution on plants and vegetations. Dalam : Rozema, J. and Verkleij, J.A.C. (Eds.), *Ecological Responses to Environmental Stresses.* p. 191-198.
- Sampson, P.H., Zarco-Tejada, P., Mohammed, G.H., Miller, J.R., and Noland, T. 2003. Hyperspectral remote sensing of forest condition: Estimating chlorophyll content in tolerant hardwoods. *Forest Science* 49(3): 381-391.
- Sitompul, S.M. dan Guritno, B. 1995. *Analisa Pertumbuhan Tanaman.* Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Soedibyo, M. B.R.A. 1997. *Alam Sumber Kesehatan.* Balai Pustaka, Jakarta.
- Steel, R.G.D., and Torrie, J.H. 1989. *Prinsip dan Prosedur Statistika, Suatu Pendekatan Biometrik.* Penerbit PT Gramedia, Jakarta.
- Wikipedia, The Free Encyclopedia. 2006. *Automobile Emission Control.* <http://www.upload.wikipedia.org/wikipedia/commons/d/d6> diakses tanggal 26 Maret 2006.