

Air Pollution Tolerance Index (APTI)

Tanaman Lanskap sebagai Bioindikator
Pencemaran Udara di Perkotaan

deepublish / publisher

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Air Pollution Tolerance Index (APTI)

Tanaman Lanskap sebagai Bioindikator
Pencemaran Udara di Perkotaan

Dr. Ir. Pangesti Nugrahani, M.Si.



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

**AIR POLLUTION TOLERANCE INDEX (APTI) TANAMAN LANSKAP SEBAGAI
BIOINDIKATOR PENCEMARAN UDARA DI PERKOTAAN**

Pangesti Nugrahani

Editor :
Afifah Azhaar

Desain Cover :
Rulie Gunadi

Sumber :
www.shutterstock.com

Tata Letak :
T. Yuliyanti

Proofreader :
Raihana Zahra

Ukuran :
xii, 56 hlm, Uk: 17.5x25 cm

ISBN :
No ISBN

Cetakan Pertama :
Bulan 2023

Hak Cipta 2023, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2023 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

KATA PENGANTAR PENERBIT

Segala puji kami haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan segala anugerah dan karunia-Nya. Dalam rangka mencerdaskan dan memuliakan umat manusia dengan penyediaan serta pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk menciptakan industri *processing* berbasis sumber daya alam (SDA) Indonesia, Penerbit Deepublish dengan bangga menerbitkan buku dengan judul *Air Pollution Tolerance Index (APTI) Tanaman Lanskap sebagai Bioindikator Pencemaran Udara di Perkotaan*.

Terima kasih dan penghargaan terbesar kami sampaikan kepada penulis, Dr. Ir. Pangesti Nugrahani, M.Si., yang telah memberikan kepercayaan, perhatian, dan kontribusi penuh demi kesempurnaan buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi semua pembaca, mampu berkontribusi dalam mencerdaskan dan memuliakan umat manusia, serta mengoptimalkan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi di tanah air.

Hormat Kami,
Penerbit Deepublish

PRAKATA

Ucapan syukur dipanjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang, karena dengan kekuatan dan petunjuk-Nya, penyusunan buku ini dapat diselesaikan.

Buku ini disusun setelah menyelesaikan serangkaian tinjauan intensif selama kurang lebih delapan bulan. Pelaksanaan secara keseluruhan dilakukan dengan menggunakan objek tanaman hias lanskap perkotaan yang berpotensi sebagai bioindikator pencemaran udara.

Kami berterima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini meskipun tidak dapat disebutkan satu per satu. Harapan selanjutnya, semoga buku ini dapat memberikan manfaat kepada bidang keilmuan dan pengetahuan terkait, serta dapat menjadi sumber inspirasi dan semangat bagi penulis untuk senantiasa terus mengembangkan lebih lanjut dalam bentuk karya-karya lainnya.

Surabaya, Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR PENERBIT	v	
PRAKATA.....	vi	
DAFTAR ISI.....	vii	
DAFTAR TABEL.....	ix	
DAFTAR GAMBAR	x	
BAB I	TANAMAN SEBAGAI ALAT PEMANTAUAN	
	KUALITAS UDARA	1
1.1.	Tanaman sebagai Cerminan Kualitas Udara Kota.....	1
1.2.	Respons Tanaman terhadap Bahan Pencemar Udara	4
1.3.	Tanaman sebagai Bioindikator Pencemaran Udara.....	6
1.4.	Sistem Sensor	6
BAB II	TATA PROSES PENDALAMAN.....	8
2.1.	Lapangan dan Durasi Pelaksanaan	8
2.2.	Seleksi dan Sampel Tanaman.....	8
2.3.	Seleksi Stasiun Pemantauan	8
2.4.	Analisis Kualitas Udara Ambien	9
2.5.	Analisis Biokimia Tanaman	9
2.6.	Sistem Sensor, Spesifikasi <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	12
2.7.	Pengujian Sensor	13
2.8.	Analisis statistik data.....	13
BAB III	PERUBAHAN ANTIOKSIDAN DAN PIGMEN	
	TUMBUHAN LANSKAP SEBAGAI	
	PEMANTAUAN KUALITAS UDARA	
	PERKOTAAN.....	14
3.1.	Keadaan Umum Lokasi Penelitian dan Kualitas Udara	14
3.2.	Pengujian Perubahan Kadar Pigmen dan Antioksidan Daun.....	19

3.3.	Rancangan Sensor Kualitas Udara	22
3.4.	Pengujian Modul Sensor	23
3.5.	Koneksi Sistem Sensor Dengan Alterasi Kadar Pigmen Daun	25
3.6.	Alterasi Kadar Pigmen Daun.....	26
3.7.	Sistem Sensor	27
BAB IV	SEMAK HIAS SEBAGAI PALET TANAMAN DAN BIOINDIKATOR BERDASARKAN INDEKS TOLERANSI POLUSI UDARA DI KOTA SURABAYA, INDONESIA	28
4.1.	Karakteristik Palet Tanaman	28
4.2.	Indeks Toleransi Polusi Udara (APTI).....	30
BAB V	TANAMAN DAN PENCEMARAN UDARA.....	32
5.1.	Komponen Pencemaran Udara dan Pengaruh pada Manusia	33
BAB VI	FITOREMIDIASI.....	36
6.1.	Metode Fitoremediasi.....	36
BAB VII	<i>ANTICIPATED PERFORMANCE INDEX (API)</i>.....	39
BAB VIII	PERUBAHAN PIGMEN DAUN DAN NILAI APTI BEBERAPA TANAMAN LANSKAP DI KOTA SURABAYA	42
8.1.	Perubahan Pigmen Daun	42
8.2.	Nilai APTI Beberapa Tanaman Lanskap Kota Surabaya.....	44
BAB IX	PENALI AKHIR DAN GAGASAN USUL	48
9.1.	Penali Akhir.....	48
	DAFTAR PUSTAKA	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Spesifikasi <i>Altair 4 Multigas Detector 4 Gas</i>	13
Tabel 2.	Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya ^{*)}	17
Tabel 3.	Data Meteorologis pada Saat Pengukuran.....	17
Tabel 4.	Kategori dan Rentang ISPU (Kep.Men.LH No. 45 Th. 2007)	18
Tabel 5.	Hasil Pengujian Sistem Sensor.....	24
Tabel 6.	Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) dari beberapa palet semak hias	31
Tabel 7.	Penilaian tanaman berdasarkan APTI, karakter biologi dan sosial ekonomi (Govindaraju et al., 2012)	40
Tabel 8.	Klasifikasi spesies tanaman menggunakan API.....	41
Tabel 9.	Evaluasi jenis tumbuhan berdasarkan APTI dan API (Enitan <i>et al.</i> , 2022).....	41
Tabel 10.	Tingkat toleransi tanaman terhadap pencemaran udara berdasarkan APTI (Salsabila et al., 2020).....	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Diagram Rancangan Sistem Blok	12
Gambar 2.	Tanaman Model: a) <i>Mussaenda philipica</i> (Wikipedia, 2020), b) <i>Nerium oleander</i> (Pyxabay, 2020) c) <i>Ipomoea</i> sp. (Planter and Forester, 2020)	14
Gambar 3.	Situasi pada masing-masing titik pemantauan: a). Taman Pelangi, b) Jl Darmo, Mayangkara c) Jalan Ir. Sukarno d). Kebun Bibit Wonorejo	16
Gambar 4.	<i>Public Data Display</i>	18
Gambar 5.	Diagram Hasil Uji Kadar Klorofil A, Klorofil B, Klorofil Total Dan Karotenoid Tanaman Pada Tiga Lokasi Berbeda Kepadatan Lalu-Lintas.....	19
Gambar 6.	Diagram Hasil Uji Kadar Klorofil A, Klorofil B, Klorofil Total Dan Karotenoid Tanaman Pada Tiga Spesies Tanaman Yang Berbeda.....	20
Gambar 7.	Kadar Asam Askorbat Tanaman Pada Dua Lokasi Berbeda	21
Gambar 8.	Diagram Hasil Uji Kadar Pigmen Dan Asam Askorbat Daun Tiga Spesies Tanaman Hias Model	21
Gambar 9.	Rangkaian Sistem Sensor	22
Gambar 10.	Diagram Blok Rancangan Sensor	23
Gambar 11.	Hasil Rancangan Sistem sensor	23
Gambar 12.	Pengujian Modul Sensor	24
Gambar 13.	Tampilan <i>Window</i> (a), dan Tampilan pada Monitor Komputer (b).....	25
Gambar 14.	Grafik hubungan antara alterasi kadar klorofil total dengan perubahan notasi sistem sensor.....	25
Gambar 15.	Ciri Palet Tumbuhan a) Palet Tumbuhan Kendangsari, b) Palet Tumbuhan Galaksi, c) Palet Tumbuhan Darmo, d) Palet Tumbuhan Manyar.....	29
Gambar 16.	Skema Fitoremediasi (Enitan <i>et.al</i> , 2022).....	37

Gambar 17. Kadar Klorofil Daun (Nugrahani, <i>et al.</i> , 2014).....	43
Gambar 18. Kadar Karotenoid Daun (Nugrahani, <i>et al.</i> , 2014).....	43

deepublish / publisher

deepublish / publisher

BAB I

TANAMAN SEBAGAI ALAT PEMANTAUAN KUALITAS UDARA

1.1. Tanaman sebagai Cerminan Kualitas Udara Kota

Kota-kota besar di Indonesia telah menunjukkan aktivitas pembangunan yang signifikan di sektor otomotif, khususnya dalam hal kepemilikan kendaraan yang meningkat tajam. Hal ini yang menyebabkan terbatasnya kapasitas kota untuk menangani polutan udara, seperti NO_x, SO₂, CO, CO₂, partikel, dan timah. Dampak dari kegiatan antropogenik ini berimplikasi pada penyakit manusia dan berbagai komunitas tumbuhan. Faktanya, polusi udara berada di urutan teratas dalam daftar masalah serius yang dihadapi kota-kota di seluruh dunia saat ini, tidak terkecuali Kota Surabaya.

Ada berbagai cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan perkotaan. Menanam pohon dan semak untuk mengurangi polusi dan memperbaiki lingkungan adalah cara yang telah terbukti dan diakui secara luas di seluruh dunia. Mitigasi polusi ini merupakan prioritas utama bagi kesehatan manusia dan dalam rangka memperbaiki kondisi lingkungan di kota. Lanskap Kota Surabaya terlihat menarik dalam penanaman lanskap jalan. Pohon jalanan, di sisi lain, membantu mengurangi efek pulau panas perkotaan (*Urban Heat Island Effect*) dengan memberikan keteduhan yang sejuk di jalanan beraspal. Pepohonan dan vegetasi menyaring udara dan mengurangi polutan udara, seperti partikulat dan karbon dioksida. Karena kontrol atas strategi sumber masih perlu ditingkatkan, reseptor memastikan bahwa mereka menghirup kualitas udara yang lebih baik. Salah satu strategi yang mungkin digunakan adalah menanam tanaman atau pohon yang cocok di lokasi strategis, seperti di kota, di sepanjang sisi jalan dan median. Pihak berwenang atau individu dapat mengambil tindakan ini dengan memilih tanaman yang tepat untuk lanskap mereka. Kriteria pemilihan tanaman tidak

hanya terbatas pada warna bunga dan daun, kekokohan, masalah penyiraman dan ruang, tetapi juga harus dapat membantu meningkatkan kualitas udara. Udara yang tercemar ditandai dengan perubahan anatomi, fisiologi atau biokimia tumbuhan.

Tanaman memiliki permukaan daun yang besar yang dapat menahan, menyerap dan mengakumulasi bahan pencemar udara, serta membantu mengurangi tingkat polusi di udara. Polusi udara menyebabkan tekanan lingkungan pada tanaman dan dapat mengubah struktur, fisiologi atau biokimia daun. Karena organ tanaman yang terpapar atmosfer adalah daun, bagian yang secara terus-menerus melakukan pertukaran gas, maka polutan tercermin dari kesehatan tanaman. Tanaman ini dapat digunakan secara efektif sebagai bioindikator untuk pemantauan kualitas udara perkotaan. Tanaman lanskap di kota diakui sebagai unsur dari desain *streetscape*. Di masa depan, tanaman lanskap dapat digunakan sebagai tanaman hias sekaligus sebagai bioindikator. Sebaliknya, tanaman yang toleran terhadap polutan udara diharapkan berperan baik dalam penghijauan jalan (Mondal, *et al.*, 2011). Tanaman di kota secara langsung dipengaruhi oleh polutan udara melalui daunnya. Saat terpapar polutan udara, sebagian besar tanaman mengalami perubahan fisiologis sebelum menunjukkan kerusakan yang dapat dilihat pada daunnya (Larcher, 1995).

Golongan lumut kerak (*Lichenes*) adalah spesies yang telah lama dikenal sebagai biomonitor yang sangat baik. Lumut kerak sangat sensitif terhadap polutan yang berasal dari emisi pabrik dan kendaraan bermotor. Seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di perkotaan, keberadaan lumut kerak semakin sulit dideteksi. Selain itu, penggunaan lumut kerak sebagai indikator biologis menjadi kurang praktis karena kondisi iklim mikro yang panas di Kota Surabaya.

Alat pemantau kualitas udara di Kota Surabaya, berupa *Public Data Display*, di tempatkan di beberapa tempat, seperti di Gubeng Pojok, Mayjend Sungkono, Pahlawan, Achmad Yani, Jl. Sukarno dan Dharmawangsa. Alat ini merupakan hibah dari negara di Eropa dan instalasinya dilakukan oleh tim ahli dari negara tersebut. Selain biaya pemeliharaan yang tergolong mahal, tenaga operator dan pemelihara alat pemantau udara ini juga masih sangat terbatas.

Menggunakan tumbuhan untuk memantau polusi udara perkotaan memiliki beberapa keunggulan dibandingkan melakukan pemantauan fisikokimia konvensional. Respons ultrastruktural pada permukaan daun dianggap berhasil digunakan sebagai bioindikator, dikarenakan kutikula dan

epidermis daun merupakan bagian pertama dari tanaman yang terpapar polutan udara. Tahap respons awal melibatkan kerusakan pada membran sel, perubahan proses enzimatik, dan kemudian akan diikuti penyimpangan pada sel, struktur, dan metabolisme. Polusi udara mengurangi pertumbuhan tanaman vaskular dengan mengubah proses fisiologis, menghambat fotosintesis, dan mengubah konsentrasi klorofil (Joshi dan Swami, 2009).

Untuk mempertahankan integritas fungsional dan strukturalnya, organisme tumbuhan harus mampu menahan faktor-faktor yang merugikan. Setiap organisme memiliki kisaran resistensi fisiologis tertentu yang ditentukan secara genetik dan diadaptasi secara filo-genetik, di mana faktor yang mempengaruhinya dapat ditoleransi. Jika faktor stres melampaui kisaran ini, tanaman harus memicu energi tambahan dan mekanisme fisiologis-biokimia untuk bertahan hidup dalam kondisi yang buruk (Mandre, 2002).

Gejala tampak dan tidak tampak merupakan respons terhadap perubahan fungsi fisiologis tanaman dan gangguan metabolisme. Dalam hal gejala tanaman yang tidak terlihat, kini telah dikembangkan teknik untuk mengukur gejala yang terjadi pada tanaman. Hal ini melibatkan manajemen teknologi informasi dengan internet dan komputerisasi. Komputasi penglihatan (CV) telah dipergunakan dalam kuantifikasi gejala pada tanaman, karena akurasi dan presisinya.

Pada peninjauan sebelumnya, terbukti bahwa pencemaran udara juga mempengaruhi parameter, seperti asam askorbat (AA), kandungan klorofil, pH ekstrak daun, dan kandungan air relatif. Parameter tersebut kemudian diformulasikan dalam Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) (Singh, *et al.*, 1991). APTI telah digunakan untuk mengidentifikasi tingkat toleransi spesies tanaman, yang kemudian digunakan oleh penata taman untuk memilih spesies tanaman yang toleran terhadap polusi udara (Yan-ju dan Hui, 2008). Peninjauan lain mendefinisikan nilai APTI dalam kaitannya dengan potensi tanaman sebagai akseptor polusi udara (Nugrahani (2008), Agbaire (2009)). Dalam peninjauan ini, hanya tiga spesies tanaman lanskap golongan semak hias yang digunakan dan dipilih berdasarkan nilai APTI (*Air Pollution Tolerance Index*). Diketahui bahwa tanaman dengan nilai indeks APTI kecil dapat digunakan sebagai fitoindikator karena sensitivitasnya yang tinggi terhadap polutan udara. Umumnya, ketika tanaman terpapar polutan, mereka akan menunjukkan gejala perubahan kandungan fitokimia dalam daunnya.

Ketiga spesies tanaman yang dipilih dalam peninjauan ini merupakan tanaman model, sehingga hasil peninjauan ini dapat diterapkan pada spesies tanaman lain. Spesies tanaman golongan pohon memiliki nilai APTI relatif

lebih tinggi dibandingkan dengan nilai APTI pada tanaman semak dan herba, sehingga tanaman pohon lebih toleran terhadap polutan udara. Selain itu, menempatkan sensor pada daun dan tanaman pohon secara teknis lebih sulit dilakukan.

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak upaya telah dilakukan untuk menciptakan sistem kontrol umpan balik tanaman berdasarkan pemantauan instrumental mikro-variasi daun. Deteksi dini stres tanaman terhadap polusi udara dapat ditunjukkan dengan penggunaan sensor berkualitas tinggi pada tanaman itu sendiri. Sensor untuk mengurai data secara cepat, dapat membantu mendukung keputusan yang bertujuan untuk menghindari peningkatan stres pada tanaman (Gurovich dan Alvarez, 2007).

Pelaksanaan peninjauan ini dilakukan untuk menghasilkan interpretasi data berdasarkan *phytomonitoring*, yaitu kondisi polusi udara dan respons tanaman (perubahan pigmen dan antioksidan pada daun), untuk memberikan informasi kepada pembuat kebijakan dalam bentuk sensor pintar untuk memantau kualitas udara perkotaan.

Hasil yang diharapkan dan dapat dicapai melalui peninjauan ini adalah data hasil kajian intensif mengenai alterasi atau perubahan antioksidan dan pigmen daun yang dapat diintegrasikan dengan sistem sensor. Prototipe sistem sensor berdasarkan perubahan antioksidan dan pigmen daun ini diharapkan dapat digunakan sebagai alat yang praktis dalam pekerjaan di masa depan, yang mampu memberi interpretasi kuantitatif yang tepat dan andal untuk mendeteksi gangguan pada proses biokimia tanaman yang tumbuh di tempat tercemar, dengan mengamati gejala fisiologis yang *invisible* pada tanaman. Sistem sensor nantinya dapat melengkapi data yang diperoleh dari analisis fisika dan kimia, bermanfaat dan dapat diterapkan dalam manajemen pemantauan kualitas udara perkotaan di Indonesia serta negara lain di Asia Tenggara.

1.2. Respons Tanaman terhadap Bahan Pencemar Udara

Tumbuhan merespons adanya polusi udara dengan beberapa bentuk respons, meliputi kerusakan atau perubahan daun. Polutan udara seperti gas dan partikel menyebabkan stres lingkungan pada tanaman dan dapat menyebabkan perubahan struktur dan fisiologi daun. Perubahan ini dapat menyebabkan timbulnya berbagai gejala yang terlihat mau pun yang tidak terlihat pada daun (Rajput dan Agrawal, 2005). Perubahan yang diamati pada struktur permukaan daun, karakteristik epidermis, proses enzimatik, serta penyimpangan pada struktur sel dan metabolisme tanaman di kawasan

tercemar dibandingkan dengan tanaman di kawasan yang tidak tercemar yang dapat dijadikan sebagai indikator / monitor polusi udara.

Beberapa peninjauan telah menunjukkan emisi kendaraan bermotor dapat mempengaruhi tanaman yang tumbuh di tepi jalan melalui gejala kerusakan yang dapat dilihat mau pun yang tidak terlihat. Dari seluruh bagian tanaman, daun adalah bagian yang paling sensitif terhadap polusi udara dan faktor eksternal lainnya. Di mana ketika terpapar bahan pencemar udara, sebagian besar tanaman mengalami perubahan fisiologis sebelum menunjukkan kerusakan yang tampak nyata pada daun (Larcher, 1995).

Respons tanaman terhadap bahan pencemar udara bervariasi antar spesies dan dipengaruhi oleh sifat dari bahan pencemar yang ada di udara (Nugrahani, 2009). Epidermal daun tanaman sangat sensitif terhadap polusi udara dan responsnya dapat digunakan untuk menilai tingkat polusi (Sumazian *et al.*, 2010). Kulshreshtha *et al.* (1994) melaporkan perubahan jumlah stomata, penurunan indeks stomata dan ukuran celah stomata pada daun pohon yang tumbuh di kawasan tercemar. Dampak yang timbul pada tanaman terjadi pada tingkat perubahan biokimia, fisiologis dan gejala yang terlihat. Kandungan bahan biokimia dalam daun akan berubah sampai batas tertentu yang berbeda-beda (Larcher, 1995).

Tripathi dan Gautam (2007) melaporkan berbagai perubahan karakteristik morfologi, anatomi, dan fisiologi yang disebabkan oleh polusi udara pada tanaman. Pada awal stres, tanaman merespons dengan penurunan dari satu atau beberapa fungsi fisiologis, seperti transportasi, kinerja metabolit fotosintesis, serapan dan translokasi ion.

Faktor stres abiotik, seperti polusi udara adalah sinyal eksternal yang dirasakan oleh reseptor fungsional tanaman. Transduksi sinyal di dalam sel tumbuhan mengarah pada induksi respons metabolisme, aktivasi ekspresi gen, pembentukan enzim, stres pada sintesis protein, metabolit stres, dan stres hormon pada tahap respons pertama (Taylor, 1978). Seperti yang disebutkan sebelumnya, kinerja fotosintesis menurun pada tahap awal stres. Selain itu, stres tanaman dilaporkan secara signifikan mengubah pigmen kimia dan fotosintesis daun tanaman (klorofil a, klorofil b dan karotenoid) (Govindaraju *et al.*, 2010; Chauhan, 2010a, b; Rohacek *et al.*, 2008).

Kontaminan yang menumpuk dalam tanaman dapat memicu stres pada tanaman. Secara umum, faktor penyebab stres pada tanaman cenderung memicu mekanisme pertahanan bawaan tanaman untuk mengatasi stres. Beberapa mekanisme perlindungan terdapat pada tanaman yang melibatkan antioksidan non-enzim dan antioksidan enzim. Pertahanan non-enzimatik

meliputi vitamin E, vitamin C, vitamin A, glutathione, karoten dan ubiquinol (Manno *et al.*, 2010). Peningkatan enzim antioksidan menunjukkan keefektifan tanaman dalam mengatasi stres dari polutan (Rajalakshmi *et al.*, 2011). Asam askorbat sebagai antioksidan alami pada tumbuhan, telah terbukti memainkan peran penting dalam toleransi terhadap polusi (Joshi dan Swami, 2009).

1.3. Tanaman sebagai Bioindikator Pencemaran Udara

Ada beberapa keuntungan dan kerugian menggunakan tanaman sebagai biomonitor atau *phytomonitoring* untuk memantau polusi udara. Keuntungan utama dari fitomonitor adalah tanaman dapat menunjukkan tingkat polutan yang diserap oleh tanaman, di mana tanaman sensitif terhadap kondisi lingkungan yang ada. Sistem pemantauan fisika-kimia tidak dapat mengatasi masalah ini secara memadai. Pada saat yang sama, kelemahan fitomonitoring yaitu memerlukan sampel yang cukup besar, tergantung pada parameter yang ditetapkan, serta diperlukan kegiatan analisis di laboratorium.

Respons tanaman terhadap pencemaran udara pada tingkat molekuler memberikan keuntungan karena dapat digunakan sebagai fitoindikator untuk membangun sistem peringatan dini (*early warning system*) terhadap keberadaan bahan pencemar udara, serta memprediksi konsentrasi bahan pencemar di udara (Sikora and Chappelka, 2004).

Tumbuhan diketahui lebih sensitif secara fisiologis terhadap polusi udara daripada organisme lain (Raz *et al.*, 2011). Dengan karakteristik tersebut, tanaman dapat dijadikan sebagai bioindikator dalam berbagai peninjauan. Komponen pertumbuhan dan produksi biomasa merupakan parameter yang sering digunakan sebagai indikator stres lingkungan. Ketebalan daun dan kerapatan jaringan daun juga sangat relevan untuk menilai dampak pencemaran udara terhadap tumbuhan (Bussotti *et al.* 2005).

1.4. Sistem Sensor

Sensor adalah alat untuk mendeteksi/mengukur hal-hal yang mengubah variasi mekanis, magnetis, panas, sinar dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Dalam konteks sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kemiripan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah, dan kemudian akan diolah oleh kontroler, yang berfungsi sebagai otak. Sensor dalam teknik pengukuran dan pengaturan secara elektronik digunakan untuk mengubah besaran fisik (temperatur, gaya, dan kecepatan putaran) menjadi besaran listrik yang proporsional (Thalib dan Hardian, 2008).

Sistem sensor telah diakui sebagai alat canggih dengan potensi yang besar di bidang pertanian untuk menginterpretasikan data yang direkam oleh sensor fitomonitoring di lapangan. Sistem sensor sebagai sistem informatika dikembangkan lebih lanjut menjadi sistem pakar, yaitu program komputer yang menggabungkan pengetahuan satu orang atau lebih pakar tentang suatu bidang tertentu. Sistem pakar telah diterapkan dalam praktik pengelolaan tanaman. Sistem pakar adalah sistem komputer yang menstimulasikan kemampuan pengambilan keputusan dari ahli manusia. Sistem ini terdiri dari empat komponen dasar, yaitu: (1) pengetahuan dasar (berisi kumpulan pengetahuan tentang suatu masalah manajemen tertentu), (2) sarana pengambil kesimpulan (mekanisme yang digunakan untuk mencari pengetahuan yang relevan untuk mengajukan solusi atas suatu masalah), (3) penjelasan tampilan, dan (4) sistem untuk memperoleh pengetahuan. Sistem pakar dibangun dengan mengambil pengetahuan dari para pakar dan kemudian dilakukan *coding* menjadi suatu bentuk, sehingga komputer dapat menerapkan pengetahuan tersebut pada masalah yang sama (Farkas, 2003).

Teknologi informasi banyak digunakan dalam bidang pertanian dan perkebunan. Sistem sensor diketahui dapat berguna untuk mendeteksi penyakit pada tanaman (Contreras-Medina *et al.*, 2012); *Remote sensing* untuk mendeteksi cekaman biotik pada tanaman (Jones and Schofield, 2008); pengendali kualitas tanah pertanian (Rahmat *et al.*, 2012), pendeteksi asam askorbat (Ika, 2009), dan sebagainya.

BAB II

TATA PROSES PENDALAMAN

2.1. Lapangan dan Durasi Pelaksanaan

Peninjauan dilakukan di Surabaya dari bulan Maret 2013 hingga Oktober 2013. Sampel tanaman dan sampel udara diambil dari beberapa ruas jalan kota. Analisis antioksidan dan pigmen fotosintesis dilakukan di Laboratorium Bioteknologi Jurusan Agroteknologi, Fakultas Pertanian, UPN "Veteran", Surabaya. Penyusunan sistem sensor dilakukan di Laboratorium Komputerisasi, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, UPN "Veteran" Universitas, Surabaya. Data bahan pencemar udara, data kepadatan lalu-lintas dan data iklim diperoleh dari dinas terkait.

2.2. Seleksi dan Sampel Tanaman

Peninjauan dilakukan dengan menggunakan tiga spesies tanaman hias, elemen lanskap median dan tepi jalan yang terpilih. Tanaman yang terpilih bertindak sebagai biomonitor pasif terhadap kualitas udara *in situ*. Spesies tanaman lanskap dipilih berdasarkan nilai indeks toleransi polusi udara (*Air Pollution Tolerance Index*) terkecil (Nugrahani *et al*, 2008; 2011; 2012), yaitu *Mussaendah philippica* (Nugrahani *et al*, 2009; 2012), *Nerium oleander* (Aksoy dan Öztürk, 1997; Culotta *et al*, 2005; Meletiou-Christou, 2011), dan *Ipomoe* sp. (Mahmooduzzafar *et al.*, 2008). Identifikasi sampel tanaman dilakukan secara acak di bagian luar di setiap lokasi. Sampel daun yang diambil dari setiap sampel tanaman adalah daun yang terletak di tengah (tangkai). Pengambilan sampel daun diulang sebanyak tiga kali, masing-masing beratnya sekitar 100 gram.

2.3. Seleksi Stasiun Pemantauan

Penilaian dilakukan di jalan-jalan utama di Kota Surabaya, meliputi Jalan Kendangsari, Manyar, Ahmad Yani, Kertajaya, Galaxi, Nginden,

Jemursari, Diponegoro, dan Darmo. Lokasi-lokasi ini memiliki banyak jalur hijau yang terpelihara dengan baik yang memberikan estetika kota yang rimbun. Survei untuk evaluasi lokasi dilakukan pada titik pengambilan sampel ini. Spesies tanaman dicatat beserta kelimpahan dan keanekaragamannya. Selain itu, Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) dihitung untuk mengevaluasi kapasitas toleransi tanaman terhadap polusi udara.

Tiga stasiun pemantauan, meliputi kawasan jalan dengan lalu lintas padat, kawasan jalan dengan lalu lintas cukup padat, dan kawasan kebun bibit sebagai lokasi kontrol, yaitu:

- Stasiun I : jalan Ahmad Yani–Mayangkara Fly over (padat lalu lintas)
- Stasiun II : median jalan Ir. Sukarno–MERR (cukup padat lalu lintas)
- Stasiun III : kebun bibit Wonorejo (kontrol)

2.4. Analisis Kualitas Udara Ambien

Analisis kualitas udara ambien dilakukan dengan menguji kadar gas SO₂, CO, dan NO₂. Analisis kualitas udara ambien dilakukan di empat stasiun pemantauan, yaitu jalan Ahmad Yani–Fly over Mayangkara, median jalan Ir. Sukarno–MERR, Kebun Bibit Wonorejo, dan Taman Pelangi–Bundaran Dolog, Kota Surabaya.

Pengujian kualitas udara dilakukan bekerja sama dengan Laboratorium UPT K3 Provinsi Jawa Timur, untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Pengujian dilaksanakan pada tanggal 29 Juli 2013, dengan memantau data meteorologis saat itu.

Data pengamatan cuaca harian juga diambil dari Stasiun Meteorologi Kelas I Juanda Surabaya untuk mengetahui curah hujan, hari hujan, hujan maksimum dan kelembaban udara yang tercatat.

2.5. Analisis Biokimia Tanaman

Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) dikembangkan dengan menganalisis parameter biokimia bahan daun, yaitu pH, asam askorbat, kadar air relatif (RWC), dan klorofil total (Tch). Daun dari 10 spesies semak hias diambil dari tiga lokasi pengambilan sampel secara acak. Lokasi pengambilan sampel tersebut adalah Jalan Ahmad Yani, Kendangsari dan Kertajaya. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak tiga pengulangan pada pagi hari, pada daun yang matang dari masing-masing spesies.

Rumus $RWC = (W_f - W_d) \times 100 / (W_t - W_d)$ digunakan untuk menentukan dan menghitung RWC daun. W_f , yaitu berat segar yang diperoleh dengan

menimbang daun segar pada neraca digital. Potongan daun kemudian direndam dalam air semalaman dan ditimbang untuk mendapatkan W_t (berat turgid). Potongan daun kemudian dikeringkan hingga kering dan dimasukkan ke dalam alat pengering pada suhu 105 (2 jam) dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat kering (W_d). Untuk analisis TCh, 0,5 g bahan daun segar dihaluskan dan diencerkan menjadi 10 ml dalam air suling. Subsampel sebanyak 2,5 ml dicampur dengan 10 ml aseton dan kemudian disaring. Kepadatan optik dibaca pada 645 nm (D645) dan 663 nm (D663). Kepadatan optik TCh (CT) adalah jumlah dari kerapatan klorofil a (D645) dan kerapatan klorofil b (D663), dan rumus perhitungannya adalah: $CT = 20,2 (D645) + 8,02 (D663)$; TCh (mgg-1DW) dihitung sebagai berikut: $Tch = 0.1CT \times (DW \text{ daun/berat segar daun})$. pH ekstrak diukur dengan menggunakan pH meter yang dikalibrasi secara digital, dan kandungan asam askorbat (dinyatakan sebagai mgg-1) diukur dengan metode titrimetri DCPIP.

Rumus yang digunakan untuk menentukan APTI menggunakan rumus yang telah diberikan sebelumnya: $APTI = [A(T+P) + R] \div 10$. Di mana A mewakili asam askorbat; T, klorofil total; P, nilai pH ekstrak daun; dan R, kadar air daun relatif.

Penguraian pada estimasi klorofil total, kandungan karotenoid, dan asam askorbat total dilakukan sesuai dengan prosedur yang dipilih. Peralatan utama yang digunakan dalam analisis biokimia tanaman adalah: *cooler box* dan *blue ice* untuk membawa sampel dari lapangan ke laboratorium, gunting pangkas, *spectrophotometer* (Cole Pomer[®] 1100 RS), sentrifuga (Hettich[®] EBA 8), timbangan digital (Sentra[®] EL 4105), mortal, *blender*, peralatan gelas, buret, pipet pump, mikro pipet 10 μ L dan mikro pipet seri, serta peralatan tulis.

2.5.1 Jumlah Klorofil (TC) dan Konten Karotenoid (CC)

Total kandungan klorofil dan karotenoid akan diukur menurut Chouhan (2010a) yang diadaptasi dari metode AOAC. Daun dicuci dengan air suling dan dipotong kecil-kecil. Sebanyak 100 mg daun segar diambil dari setiap sampel untuk dianalisis. Sampel dihancurkan dengan 5 ml aseton 80% dalam mortal. Sampel kemudian diencerkan dengan 2 ml aseton 80% dan disentrifugasi selama 3 menit. Volume akhir supernatan dibuat hingga 10 ml dengan menambahkan 80% aseton untuk dianalisis. Sampel dianalisis dengan bantuan spektrofotometer. Absorbansi dibaca pada 645-663 nm untuk klorofil dan pada 480, 645 dan 663 nm untuk karotenoid. Konsentrasi klorofil dan karotenoid dihitung dengan koefisien penyerapan Arnon, dengan persamaan:

$$\text{Chl.a (mg / gm)} = 22,7 \times \text{OD 663} - 2,69 \times \text{OD 645}$$

$$\text{Chl.b (mg / gm)} = 12,9 \times \text{OD 645} - 4,68 \times \text{OD 663}$$

$$\text{Klorofil total} = \text{Chl.a} + \text{Chl.b}$$

$$\text{Karotenoid } (\mu\text{mol/L}) = \frac{(\text{OD 480} + (0.114 \text{ OD 663})) - (0.638 \times \text{OD 645} \times V \cdot 10^3)}{112.5 \times W}$$

$$1 \mu\text{mol/L} = 27.25 \text{ mg/L (Hendry and Grime, 1993)}$$

2.5.2 Asam Askorbat Total (TAA)

Asam askorbat diuji menggunakan metode titrasi DCPIP (Sadasiyam dan Manickam, 1992; Anjali 2012). Kandungan asam askorbat dihitung berdasarkan teori bahwa asam askorbat dapat menghilangkan warna biru pada larutan DCPIP. Tata cara pengujian asam askorbat pada daun adalah sebagai berikut: pertama, melakukan preparasi larutan, berupa:

- 4% asam oksalat (4 g asam oksalat dalam 100 ml aquadest)
- Larutan DCPIP (53 mg DCPIP + 42 mg sodium bicarbonate dalam 200 ml aquadest)
- Larutan stok asam askorbat (100 mg asam askorbat dalam 100 ml 4% asam oksalat)
- Larutan kerja asam askorbat (10 ml larutan stok diencerkan dengan aquadest hingga 100 ml)

Kedua, melakukan titrasi asam askorbat dengan mengambil 5 ml larutan kerja asam askorbat (d), ditambah dengan 10 ml asam oksalat 4% (a), kemudian dititrasi dengan larutan DCPIP (b). Titrasi dihentikan ketika warna merah muda muncul dan bertahan selama 60 detik. Volume larutan DCPIP yang dibutuhkan dicatat sebagai V1.

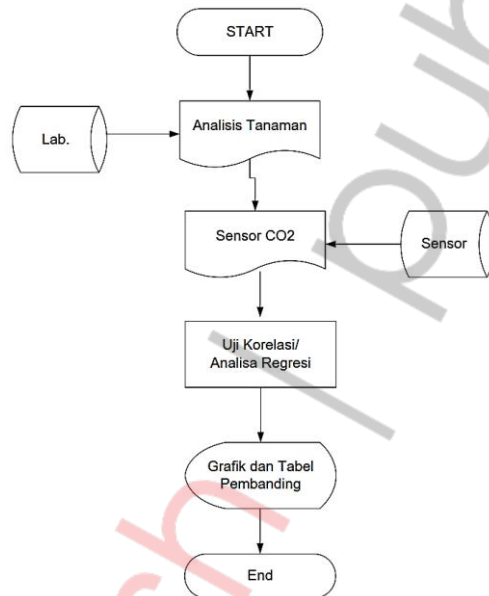
Ketiga, mendeteksi kadar asam askorbat pada jaringan segar daun. Daun segar sebanyak 50 mg dihancurkan dengan 5 ml asam oksalat, kemudian disaring dan diencerkan hingga mencapai volume 100ml dengan asam oksalat. Sebanyak 5 ml dari larutan ini diambil, ditambah dengan 10 ml asam oksalat, dan kemudian dititrasi dengan larutan DCPIP. Volume DCPIP yang dibutuhkan dicatat sebagai V2. Kandungan asam askorbat dihitung dengan rumus:

$$\text{Asam askorbat} = \frac{0.5}{V1} \times \frac{V2}{5} \times \frac{100}{\text{berat segar sampel}} \text{ mg/g berat segar}$$

(Anjali *et al.*, 2012)

2.6. Sistem Sensor, Spesifikasi *Hardware* dan *Software*

Sensor adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan lingkungan fisik atau kimia. Sekarang, sensor berskala nano dengan dimensi yang sangat kecil juga tersedia secara komersial. Ukuran yang sangat kecil ini sangat memudahkan penggunaan dan penghematan energi. Diagram rancangan blok sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Diagram Rancangan Sistem Blok

Software untuk membangun sistem dengan menggunakan Delphi. Database yang digunakan untuk menyimpan hasil peninjauan menggunakan SQLite. Beberapa driver untuk windows 98 dan 98 SE dipasang di komputer (Gambar 5).

Hardware yang digunakan dalam percobaan adalah:

- DT Sense Carbon Dioxida Sensor (691-920) dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Berbasis sensor MG-811
 - Kompatibel dengan sensor gas MG-3. MG-4, MG-8, MG-7, MG-135, MG-811
 - Antar muka 12C
 - Tersedia 1 jalur output kendali ON/OFF
 - Tegangan Supply 5 VDC

- DT Sense Color Sensor (#991–912), sebagai berikut:
 - Berbasis TC33200 yang mengukur komponen RGB dari objek yang dilihat lensa.
 - Fitur penyimpanan warna 25 warna tersimpan di EEPROM
 - Antar muka 12C dapat di cascade hingga 8 modul dan UART TTL
 - Catu Daya 4.8–5.4 VDC
- PC Link USBer (#991-309), sebagai berikut:
 - USB - UART Converter
 - USB GBIO Converter
 - Compatible USB 1.1 dan USB 2.0

Beberapa peralatan pendukung yang diperlukan untuk membuat rangkaian sistem sensor antara lain: Kabel Header Connector, Switching Adaptor, Header 40x1, DC Jack, PC Link USB fier, Multi Tester Digital, Stop kontak dan Komputer.

2.7. Pengujian Sensor

Pengujian dilakukan di ruang *Environmental Testing Chamber* tertutup yang dilengkapi dengan pemantau suhu dan kelembaban udara, serta kipas angin untuk distribusi gas yang merata (Gambar 6). Sebagai alat pembanding sensor, digunakan *Altair 4 Multigas Detector 4 Gas*, dengan spesifikasi (Tabel 1) sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi *Altair 4 Multigas Detector 4 Gas*

NO	Tipe sensor	Spesifikasi
1	LEL	54–64 % LEL
2	CO	54–66 % ppm
3	H2S	18–23 % ppm
4	O2	13–17 % ppm

Sumber: PT MSA Indonesia, 2010. Instrument Calibration Report

2.8. Analisis statistik data

Analisis statistik data dilakukan menggunakan ANOVA dengan SPSS (Ver. 16.0, SPSS). Perbedaan ini dibandingkan untuk spesies yang sama antara kawasan tercemar dengan kawasan kontrol. Perbedaan dianggap signifikan jika $p < 0,05$.

BAB III

PERUBAHAN ANTIOKSIDAN DAN PIGMEN TUMBUHAN LANSKAP SEBAGAI PEMANTAUAN KUALITAS UDARA PERKOTAAN

3.1. Keadaan Umum Lokasi Penelitian dan Kualitas Udara

3.1.1. Tanaman Model

Peninjauan dilakukan di Kota Surabaya, dengan melibatkan tiga spesies tanaman hias, elemen lanskap median dan tepi jalan, yang dipilih sebagai tanaman model. Tanaman yang terpilih akan berfungsi sebagai biomonitor pasif terhadap kualitas udara *in situ*. Spesies tanaman hias sebagai tanaman model adalah: *Mussaenda philippica*, *Nerium oleander* dan *Ipomoea* sp. (Gambar 2).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. Tanaman Model: a) *Mussaenda philippica* (Wikipedia, 2020),
b) *Nerium oleander* (Pyxabay, 2020) c) *Ipomoea* sp. (Planter and Forester,
2020)

Deskripsi Tanaman

Mussaenda philippica

Nusa indah (*Mussaenda philippica*) adalah perdu yang berasal dari famili *Rubiaceae* atau kopi-kopian. Tanaman ini tumbuh liar di lereng bukit, semak-belukar, dan biasanya dipelihara sebagai tanaman hias. Masyarakat biasa menyebut tumbuhan ini dengan nama Nusa Indah. Bagian tumbuhan ini ada yang dapat dimanfaatkan sebagai obat, yaitu ranting, daun, dan akarnya (<http://id.wikipedia.org>, diakses tanggal 28 Oktober 2013).

Nerium oleander

Merupakan tanaman hias berbunga yang biasa disebut dengan Bunga jepun atau Bunga Mentega. Tanaman ini tergolong tanaman perdu yang masih menjadi bagian dari keluarga *Apocynaceae*, yang menghasilkan bunga sepanjang tahun. Bunga jepun berasal dari Afrika bagian utara, bagian timur Mediterania dan juga Asia Tenggara. Tanaman ini tumbuh dengan baik pada daerah kering yang beriklim hangat dan dapat dibudidayakan di berbagai daerah. Bunga jepun merupakan perdu tegak dengan tinggi berkisar antara 2-5 m, yang biasanya dipakai sebagai tanaman hias di taman dan di pinggir jalan. (<http://id.wikipedia.org>, diakses tanggal 28 Oktober 2013).

Ipomoea sp.

Merupakan tanaman semak penutup tanah yang sering disebut dengan nama Telo Margurita (*Ipomoea batatas* "marguerite"). Tanaman ini mudah tumbuh dan berkembang. Warna daunnya yang kuning menyala, membuatnya memiliki nilai lebih sebagai unsur pelengkap desain lanskap (<http://id.wikipedia.org>, diakses tanggal 28 Oktober 2013).

3.1.2. Kondisi Cuaca Harian

Menurut kondisi cuaca harian Kota Surabaya yang dilaporkan oleh Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya, dari bulan Maret hingga Juli 2013, kondisi curah hujan, hari hujan, hujan maksimum, serta kelembaban udara, mencapai nilai tertinggi dalam tiga tahun terakhir (2011-2013). Kondisi ini tidak hanya menghambat pelaksanaan peninjauan, tetapi juga dikhawatirkan dapat mempengaruhi hasil peninjauan.

3.1.3. Titik Pemantauan

Titik (stasiun) pemantauan kualitas udara ambien tersebar di tiga titik (stasiun) pemantauan meliputi kawasan jalan dengan lalu lintas padat,

kawasan jalan dengan lalu lintas cukup padat, dan kawasan tanpa kendaraan bermotor (kawasan kontrol), yaitu:

- Stasiun I : Taman Pelangi Bundaran Dolog (padat lalu lintas)
- Stasiun II : Fly over Mayangkara, Jl. Darmo (padat lalu lintas)
- Stasiun III : median jalan MERR, Jl. Ir. Sukarno (cukup padat lalu lintas)
- Stasiun IV : kebun bibit Wonorejo (kontrol)



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Situasi pada masing-masing titik pemantauan: a). Taman Pelangi, b) Jl Darmo, Mayangkara c) Jalan Ir. Sukarno d). Kebun Bibit Wonorejo

Hasil pengujian kualitas udara berdasarkan parameter kadar bahan pencemar udara Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Dioksida (NO₂) dan Sulfur Dioksida (SO₂), di empat titik pemantauan menunjukkan bahwa kualitas udara (ambience) Kota Surabaya masih dapat dikategorikan dalam level baik. Nilai hasil pengukuran menunjukkan angka di bawah batas ambience yang ditetapkan (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengujian Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya^{*)}

No.	Parameter	Satuan	Kadar terukur				Baku Mutu ^{**)}
			I	II	III	IV	
1	CO	$\mu\text{gr}/\text{Nm}^3$	0	805	345	0	22600
2	NO ₂	$\mu\text{gr}/\text{Nm}^3$	26.1	41.5	37.4	5.9	-
3	SO ₂	$\mu\text{gr}/\text{Nm}^3$	1.7	4.5	0.6	1.4	262

^{*)} Sumber: Laboratorium Pengujian UPT K3 Provinsi Jawa Timur, Surabaya

^{**)} Baku mutu udara ambient Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 10 Th.2009

Data kualitas udara diambil pada tanggal 29 Juli 2013, dengan kondisi meteorologis sebagai berikut (Tabel 3).

Tabel 3. Data Meteorologis pada Saat Pengukuran

No.	Parameter	Hasil Pengukuran				Satuan
		I	II	III	IV	
1	Suhu Udara	26.8	28.7	30.1	31.1	°C
2	Kelembaban Nisbi (RH)	76	67	61	59	%
3	Kecepatan Angin	0.32-0.98	0.80-2.18	0.26-3.13	0.14-1.71	m/dt
4	Arah angin	Barat Laut	Utara	Utara	Barat	
5	Cuaca	Cerah	Cerah	Cerah	Cerah	

Sumber: Laboratorium Pengujian UPT K3 Provinsi Jawa Timur, Surabaya

3.1.4 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Kota Surabaya

Kualitas udara perkotaan ditentukan berdasarkan hasil pengukuran konsentrasi zat pencemar udara seperti CO, SO₂, O₃, NO₂, dan PM₁₀. Informasi tentang kualitas udara ambien disampaikan kepada masyarakat dalam bentuk angka yang disebut dengan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). ISPU adalah angka tanpa satuan yang menggambarkan keadaan kualitas udara ambien pada suatu tempat dan waktu tertentu, berdasarkan pengaruhnya terhadap kesehatan manusia, makhluk lainnya dan estetika (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 45 Tahun 1997). Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) ditentukan dengan mengubah kadar

pencemar udara yang diukur menjadi suatu angka tanpa dimensi.

Peralatan pemantauan kualitas udara terdiri dari empat bagian, yaitu: a). Stasiun pemantau kualitas udara permanen, b). *Public Data Display*, c). Peralatan RAQMC (*Regional Air Quality Monitoring Centre*) dan d). Peralatan kalibrasi dan *maintenance*. Data yang dihasilkan adalah data kualitas udara ambien, bukan udara emisi kendaraan bermotor (Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, 2012). Gambar 4. memperlihatkan *Public Data Display* yang terpasang pada salah satu median jalan di Kota Surabaya.



Gambar 4. *Public Data Display*

Kategori kualitas udara yang tercantum pada *Public Data Display* dinyatakan dalam rentang nilai ISPU dengan penjelasan sebagaimana tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Kategori dan Rentang ISPU (Kep.Men.LH No. 45 Th. 2007)

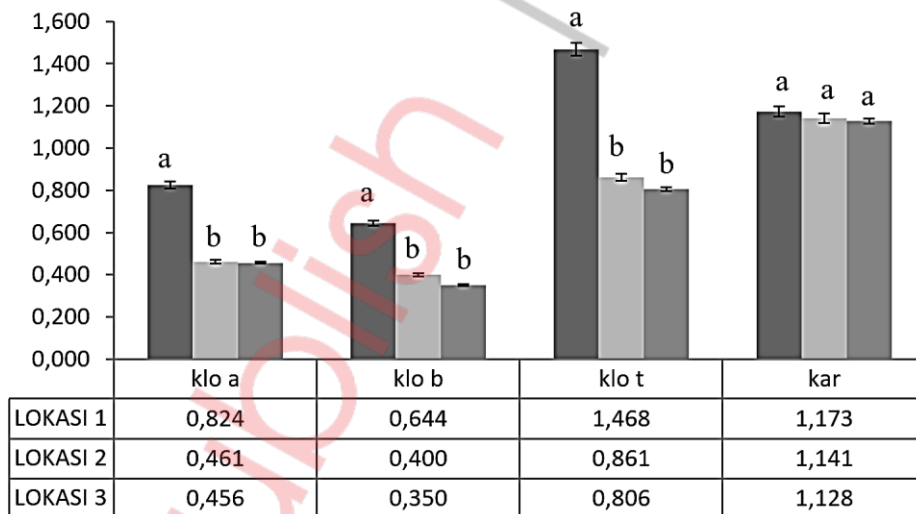
Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 - 50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan atau pun nilai estetika.
Sedang	51 - 100	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika.
Tidak sehat	101 - 199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia atau pun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan atau pun nilai estetika.

Kategori	Rentang	Penjelasan
Sangat tidak sehat	200 - 299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat kualitas udara yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi

3.2. Pengujian Perubahan Kadar Pigmen dan Antioksidan Daun

3.2.1. Kadar Pigmen Daun

Pigmen daun yang diuji pada peninjauan ini adalah kadar klorofil a, klorofil b, klorofil total dan kadar karotenoid daun tanaman sampel yang ditanam pada lokasi I (Kebun bibit Wonorejo), lokasi II (Taman Pelangi/Bundaran Dolog), dan lokasi III (Jl. Sukarno/MERR), dengan tingkat kepadatan lalu lintas yang berbeda. Hasil pengukuran terhadap rata-rata kadar klorofil dan karotenoid (mg/g) daun tanaman Nusa Indah, Oleander, dan Ubi Hias di lokasi yang berbeda, ditunjukkan pada Gambar 5. notasi huruf menunjukkan perbedaan nilai uji Tukey HSD ($p=0,05$).



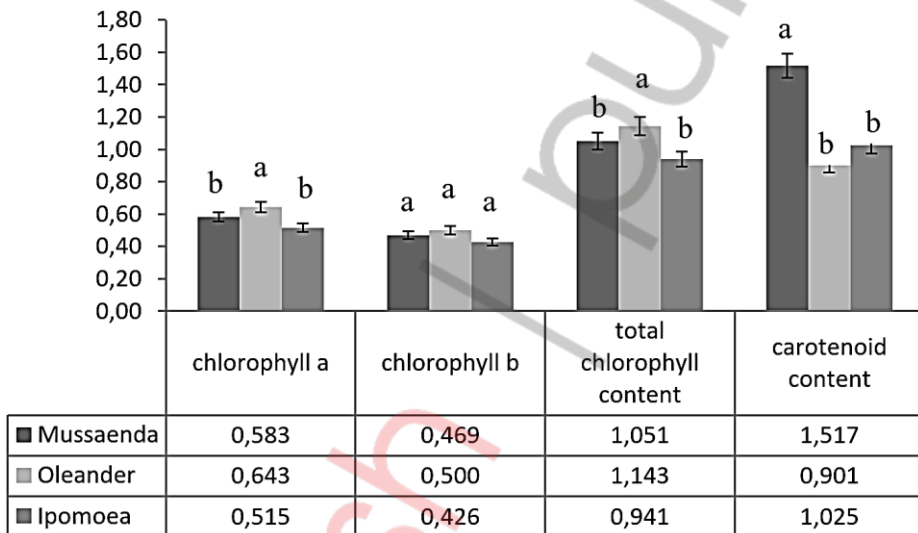
Keterangan: Notasi huruf menunjukkan perbedaan nilai pada uji Tukey HSD ($p=0.05$)

Gambar 5. Diagram Hasil Uji Kadar Klorofil A, Klorofil B, Klorofil Total Dan Karotenoid Tanaman Pada Tiga Lokasi Berbeda Kepadatan Lalu-Lintas

Kadar klorofil a, klorofil b, dan klorofil total rata-rata ketiga tanaman menunjukkan perbedaan antara kawasan kontrol (tanpa pencemaran udara) dan kawasan tercemar. Rata-rata kadar klorofil a, klorofil b, klorofil total, dan

karotenoid mengalami penurunan berturut-turut sebesar 44.42%, 41.75%, 43.25% dan 3.28% pada kawasan tercemar dan daerah kontrol.

Berdasarkan uji Tukey HSD, hasil analisis ragam kadar pigmen daun pada berbagai spesies tanaman menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p=0.05$). Kadar klorofil a dan klorofil total pada tanaman Oleander berbeda dengan kadar klorofil a pada tanaman Ipomoea. Demikian juga dengan kadar klorofil total dan kadar karotenoid. Namun, tidak ada perbedaan yang signifikan pada kadar klorofil b di antara ketiga spesies tanaman (Gambar 6).



Keterangan: Notasi huruf menunjukkan perbedaan nilai pada uji Tukey HSD ($p=0.05$)

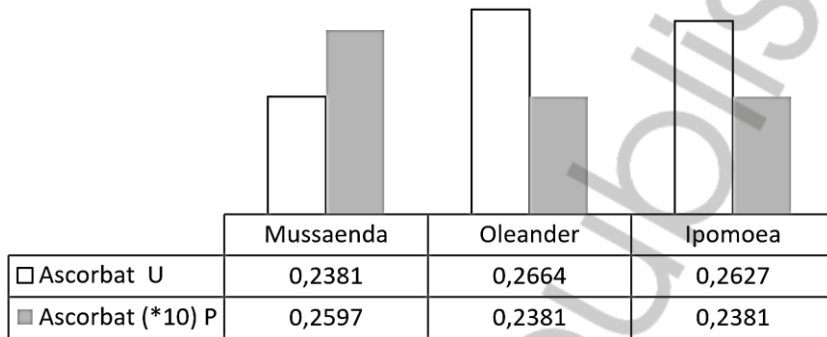
Gambar 6. Diagram Hasil Uji Kadar Klorofil A, Klorofil B, Klorofil Total Dan Karotenoid Tanaman Pada Tiga Spesies Tanaman Yang Berbeda

Pada Gambar 6. ditampilkan rata-rata dari hasil pengujian kadar pigmen daun dari tiga spesies tanaman. Kadar klorofil a tanaman Oleander lebih tinggi ($p=0.05$) dibandingkan kadar klorofil a pada tanaman Ipomoea, demikian juga dengan kadar klorofil total. Kadar klorofil b dari tiga spesies tanaman tidak menunjukkan adanya perbedaan. Kadar karotenoid pada tanaman Mussaenda lebih tinggi ($p=0.05$) dibandingkan kadar karotenoid pada tanaman Oleander dan Ipomoea.

3.2.2. Kadar Asam Askorbat Daun

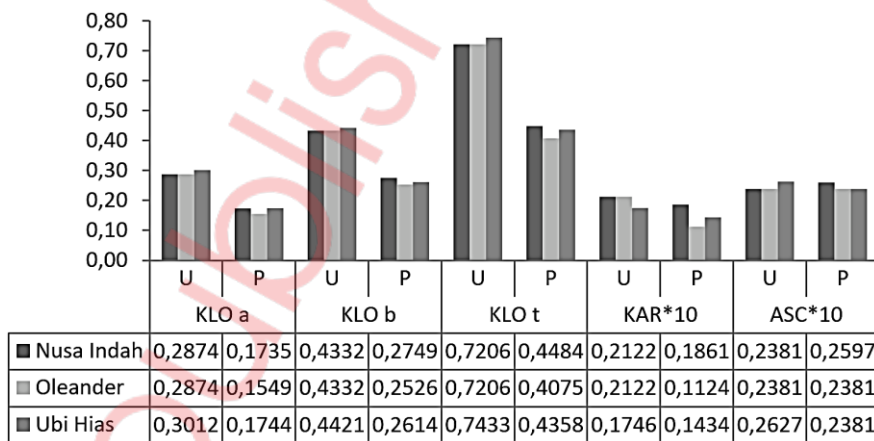
Hasil pemeriksaan terhadap kadar asam askorbat daun tanaman menunjukkan bahwa kadar asam askorbat pada tanaman Mussaenda yang

ditanam pada kawasan tanpa polusi lebih tinggi dibandingkan dengan kadar askorbat pada tanaman yang ditanam pada kawasan tercemar (Gambar 7).



Gambar 7. Kadar Asam Askorbat Tanaman Pada Dua Lokasi Berbeda

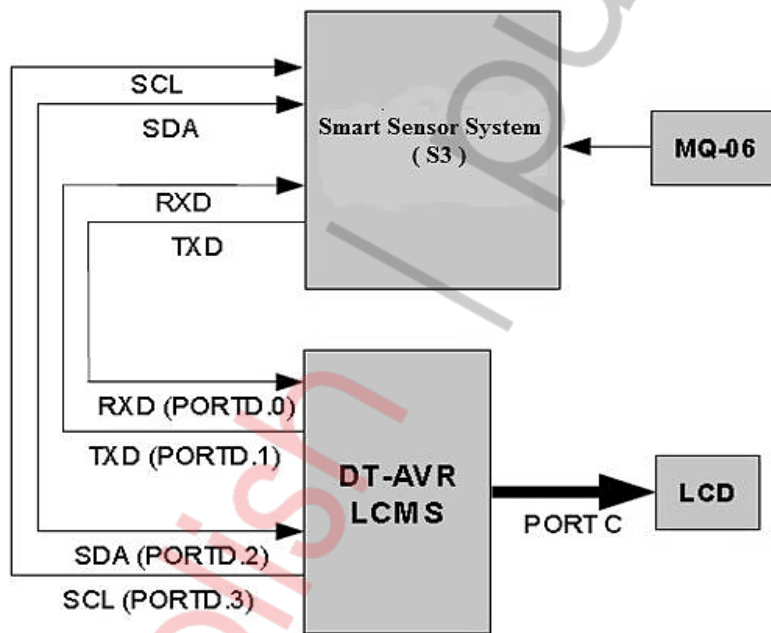
Berdasarkan analisis statistik hasil pengujian kadar asam askorbat daun, diketahui bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan pada kadar asam askorbat daun dari ketiga spesies tanaman ($p=0.05$). Demikian pula kadar asam askorbat tanaman pada lokasi tidak tercemar dan tercemar. Gambar 8. menunjukkan hasil pengujian kadar pigmen daun dan asam askorbat daun pada ketiga spesies tanaman pada lokasi tercemar dan tidak tercemar.



Gambar 8. Diagram Hasil Uji Kadar Pigmen Dan Asam Askorbat Daun Tiga Spesies Tanaman Hias Model

3.3. Rancangan Sensor Kualitas Udara

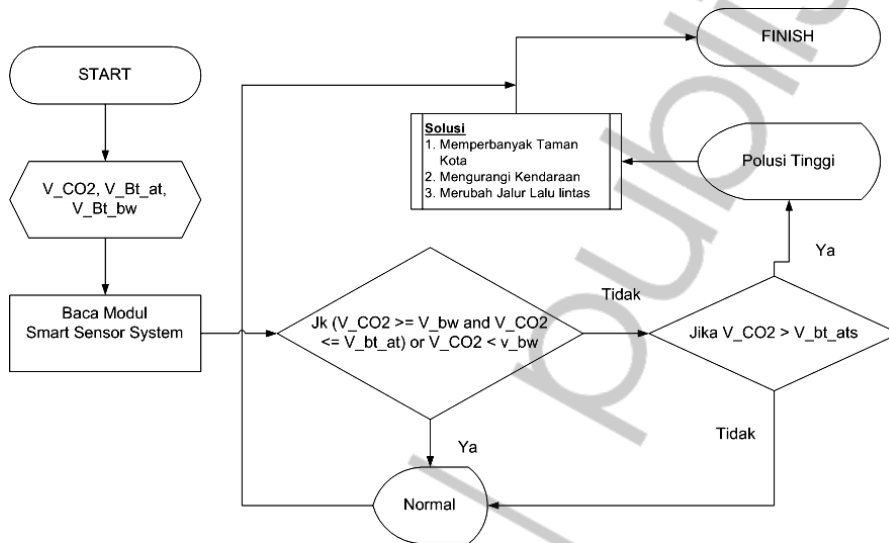
Sensor pemantau kualitas udara (*Sensor System*) dirancang sebagai aplikasi yang terintegrasi antara perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk mendeteksi polusi udara berupa kadar karbondioksida (CO_2) di udara. Modul sensor dapat berfungsi sebagai kendali konsentrasi gas mandiri secara ON/OFF mengikuti *self point* yang ditentukan. Modul sensor dilengkapi dengan *interface* UART TTL dan I2C. Rangkaian sistem sensor ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Sistem Sensor

Pada saat *power-up*, LED hijau akan berkedip dengan cepat hingga kondisi pemanasan sensor dan hasil pembacaan sensor sudah stabil. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi stabil akan berbeda-beda pada setiap sensor yang digunakan, tergantung pada seberapa cepat respons sensor dan kondisi *heater* pada sensor. Jika kondisi stabil sudah tercapai, maka LED hijau akan menyala tanpa berkedip. Pada kondisi pengoperasian normal (setelah kondisi *power-up*), LED merah akan hidup atau mati tergantung pada hasil pembacaan sensor dan mode operasi yang dipilih. Sedangkan LED hijau akan tetap menyala selama hasil pembacaan sensor stabil dan hanya berkedip

pelan (tiap 1 detik) saat terjadi perubahan konsentrasi gas. Gambar 10. menunjukkan diagram blok dan Gambar 11. merupakan hasil rancangan sistem sensor.



Gambar 10. Diagram Blok Rancangan Sensor



Gambar 11. Hasil Rancangan Sistem sensor

3.4. Pengujian Modul Sensor

Modul sensor MG-811 diuji dengan memberikan input dari empat macam sumber gas yang berbeda. Pengujian dilakukan di dalam *Environmental Testing Chamber* tertutup yang dilengkapi dengan pemantau suhu dan kelembaban udara, serta kipas angin untuk distribusi gas yang

merata (Gambar 12). Hasil pengujian dibandingkan dengan hasil pengujian detektor gas (*Altair 4 Multigas Detector 4 Gas*).

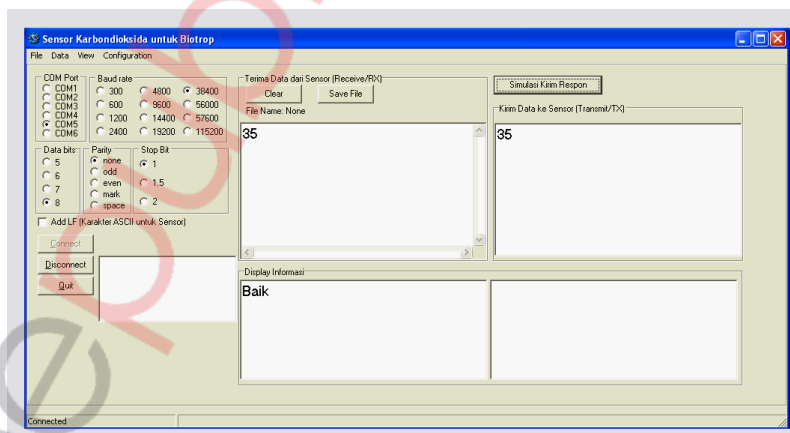
Tabel 5. Hasil Pengujian Sistem Sensor

No.	Sumber Gas	Gas Detektor	Sensor	Display informasi
1	Ambient	0	18	Baik
2	Asap rokok	0	35	Baik
3	Obat nyamuk bakar	0	26	Baik
4	Emisi sepeda motor	0	20	Baik



Gambar 12. Pengujian Modul Sensor

Rangkaian sistem sensor pemantau kualitas udara menampilkan hasil pengukuran dengan indikator lampu LED dan memiliki kriteria baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Gambar 13. menunjukkan hasil pengujian untuk kondisi yang tercatat sebagai “baik”. Sedangkan LCD secara kuantitatif menampilkan hasil pengukuran berupa angka “29”.



(a)

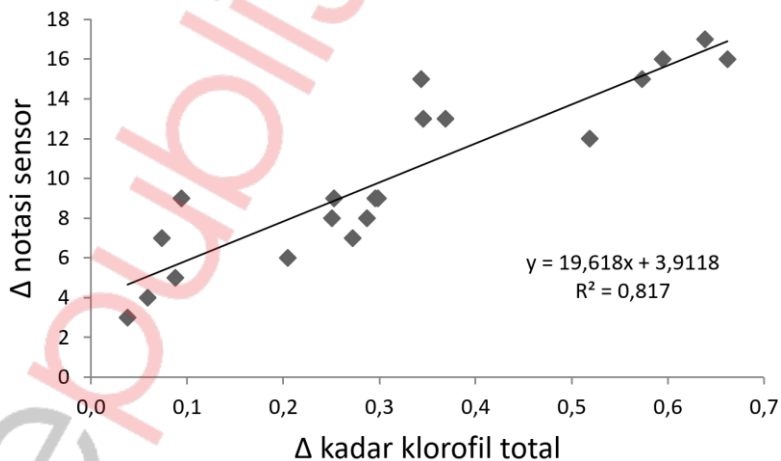


(b)

Gambar 13. Tampilan *Window* (a), dan Tampilan pada Monitor Komputer (b)

3.5. Koneksi Sistem Sensor Dengan Alterasi Kadar Pigmen Daun

Alterasi kadar pigmen daun dihitung dari hasil pengukuran rata-rata kadar klorofil total dari ketiga spesies tanaman. Koefisien korelasi antara perubahan kadar klorofil total (persen perubahan) dan perubahan angka rata-rata pengujian sensor pada udara “bersih” (kontrol) dengan udara yang diberi input gas adalah 0.817 (Gambar 14). Model persamaan korelasi antara kedua parameter adalah: $y = 19.61x + 3.911$.



Gambar 14. Grafik hubungan antara alterasi kadar klorofil total dengan perubahan notasi sistem sensor

3.6. Alterasi Kadar Pigmen Daun

Kadar pigmen daun yang diamati pada peninjauan ini meliputi kadar klorofil a, klorofil b, klorofil total, dan kadar karotenoid. Gambar 5. menunjukkan bahwa kadar klorofil a, klorofil b, dan klorofil total daun menurun secara signifikan ($p=0.05$). Perbedaan kadar klorofil daun antara tanaman yang ditanam pada kawasan terdampak polusi dan kawasan kontrol menurun lebih dari 40%.

Klorofil adalah pigmen fotosintesis utama pada tanaman. Bahan pencemar udara yang masuk ke dalam jaringan daun diketahui menyebabkan perubahan kandungan klorofil pada daun. Bahan pencemar udara merupakan salah satu pemicu stres lingkungan pada tanaman. Perubahan kadar klorofil daun telah lama menjadi parameter yang dipelajari sebagai indikator pemicu stres lingkungan pada tanaman (Taylor, 1978). Beberapa tanaman menunjukkan penurunan kadar klorofil akibat paparan bahan pencemar udara (Meletiou-Christou *et al.*, 2011). Namun di sisi lain, ada juga laporan peningkatan kandungan klorofil pada beberapa tumbuhan akibat paparan polutan udara. Tanaman *Azadirachta indica*, *Mangifera indica*, dan *Cassia fistula* (Thawale *et al.*, 2011), *Pongamia pinnata*, *Saraca indica*, dan *Bauhinia variegata* (Tripathi *et al.*, 2009), dilaporkan sebagai tanaman yang mengalami peningkatan kandungan klorofil pada kawasan tercemar. Agbaire dan Esiefarienrhe (2009) juga menunjukkan bahwa tanaman yang tumbuh di kawasan tercemar memiliki kandungan klorofil yang lebih tinggi. Demikian pula, Seyyednejad *et al.*, (2011) yang mengatakan bahwa tanaman *Albizia lebbek* dan *Callistemon citrinus* yang tumbuh di kawasan tercemar memiliki klorofil total yang lebih tinggi daripada yang tumbuh di kawasan dengan udara yang lebih bersih.

Menurut Cui *et al.* (2006), kadar klorofil daun yang terkena paparan bahan pencemar udara akan memiliki variasi yang sangat spesifik tergantung pada karakteristik spesiesnya. Kadar pigmen fotosintesis tidak meningkat secara statistik, namun mendukung stabilitas asimilasi tanaman (Cuit *et al.*, 2006). Pengujian terhadap kadar klorofil tanaman memberikan informasi tentang status fisiologis tanaman, yang sangat berguna dalam peninjauan pertanian dan ekosistem karena berkaitan dengan kadar Nitrogen dan proses fotosintesis (Serrano, 2008).

Walaupun ketiga tanaman model dalam peninjauan ini menunjukkan penurunan kadar klorofil yang cukup signifikan (Gambar 14), peninjauan tetap melihat dari alterasi atau besarnya perubahan kadar klorofil antara tanaman yang tumbuh pada kawasan tercemar dan kawasan bebas polusi

udara. Alterasi kadar klorofil digabungkan dengan sistem sensor untuk memberikan informasi lebih cepat, akurat dan efisien. Sejauh ini, perubahan kadar klorofil akibat paparan pencemar udara masih tetap dilakukan untuk membangun sistem fitomonitoring yang lebih baik (Jones and Schofield, 2008; Meletiyou-Christou, *et al.*, 2010).

Perubahan kadar antioksidan (Asam askorbat) pada peninjauan ini menunjukkan nilai yang tidak signifikan, baik antar spesies mau pun antar lokasi. Asam askorbat merupakan senyawa yang mudah teroksidasi dan larut dalam air. Perubahan kadar asam askorbat pada daun tanaman di lokasi tercemar dan tidak tercemar bervariasi sesuai musim (*seasonal*). Pada saat peninjauan ini dilakukan (bulan Mei–Agustus), Kota Surabaya mengalami curah hujan yang cukup tinggi. Kondisi cuaca diduga berpengaruh secara signifikan terhadap kandungan asam askorbat daun. Perubahan kadar asam askorbat pada peninjauan ini tidak dapat dijadikan sumber pembeda atau indikator pencemaran udara.

3.7. Sistem Sensor

Sistem sensor yang dikembangkan pada peninjauan ini didasarkan pada asumsi bahwa terjadi perubahan fisiologis dan biokimia pada daun tanaman. Perubahan biokimia yang signifikan secara statistik adalah perubahan kadar klorofil a, klorofil b dan klorofil total. Kadar pigmen karotenoid dan kadar antioksidan asam askorbat tidak menunjukkan nilai yang berbeda secara signifikan.

Pada percobaan kali ini, sistem sensor dapat bekerja dengan baik, selain praktis karena dapat dioperasikan di mana saja, juga sangat sensitif. Perubahan kadar gas polutan (CO₂) dapat dipantau dari waktu ke waktu (*real time*) melalui tampilan grafik. Hasil korelasi antara perubahan klorofil total dengan tampilan digital pada layar monitor, menunjukkan nilai koefisien korelasi yang cukup baik.

Kelemahan dari sistem sensor ini adalah sistem sensor tidak dapat menunjukkan kadar atau konsentrasi polutan CO₂ di udara. Notasi angka yang ditampilkan pada layar monitor komputer adalah angka tanpa besaran sebagai bentuk perubahan tegangan listrik yang terukur pada sistem.

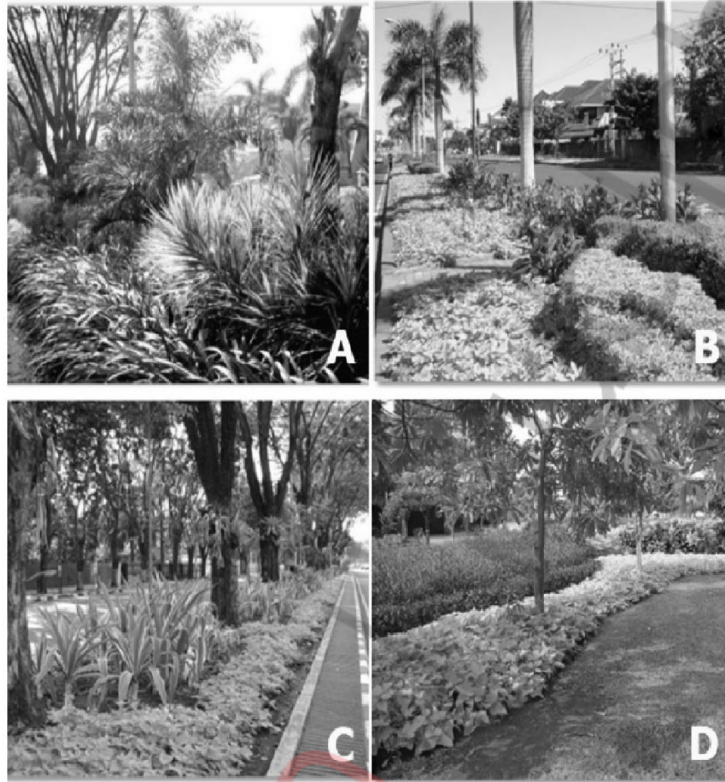
BAB IV

SEMAK HIAS SEBAGAI PALET TANAMAN DAN BIOINDIKATOR BERDASARKAN INDEKS TOLERANSI POLUSI UDARA DI KOTA SURABAYA, INDONESIA

4.1. Karakteristik Palet Tanaman

Peninjauan ini telah menetapkan bahwa bahan tanaman untuk median jalan di Kota Surabaya terdiri dari vegetasi alami. Enam puluh enam spesies semak hias ditemukan di lokasi (Nugrahani, 2008), tersusun baik dalam palet atau tanaman secara individual. Tumbuhan ini memiliki banyak kesamaan ciri dalam hal bentuk daun, warna daun, dan tekstur daun (Carpenter, Walker, & Lanphear, 1975). Semak berbunga adalah elemen minoritas dari palet tersebut. Palet tanaman yang digunakan di lokasi ini memberikan median penuh warna dan memberikan tampilan visual yang kuat di tengah lalu lintas yang padat di sepanjang jalan. Paletnya dapat terlihat agak ramai karena banyaknya warna, bentuk daun, dan tekstur. Namun, di sepanjang jalan Kendangsari, penanaman menjadi kurang konsisten, dengan pohon-pohon yang tidak beraturan yang ditutupi oleh mulsa (Gambar 15a). Ipomoe kuning mendominasi mulsa di lokasi, terutama di Jalan Galaxi (Gambar 15b).

Tercatat bahwa semua palet jalan terdiri dari berbagai spesies semak hias. Jumlah jenis tanaman perdu hias bervariasi dari satu tempat ke tempat lain, namun tidak ada lokasi yang memiliki kurang dari sepuluh jenis tanaman perdu hias. Keanekaragaman hayati ini dalam lanskap jalanan, dengan lebih dari tiga spesies semak hias ditemukan dalam satu meter persegi median dari semua lokasi yang diamati. Ada berbagai komposisi spesies dalam desain palet tersebut tanpa ada pengulangan yang konsisten.



Gambar 15. Ciri Palet Tumbuhan a) Palet Tumbuhan Kendangsari, b) Palet Tumbuhan Galaksi, c) Palet Tumbuhan Darmo, d) Palet Tumbuhan Manyar

Ini adalah potret dari karakter visual Jalan Darmo, dengan nuansa palet tanaman yang terlihat sekilas (Gambar 15c). Palet adalah pengelompokan tanaman dominan yang terjadi secara tidak alami. Kelompok tanaman ini cocok ditanam di bawah pohon yang tidak terkena sinar matahari secara langsung. Seperti halnya pada jalan Manyar, banyak palet tanaman yang dicirikan karakteristik palet tradisional, sehingga tanaman asli dan non-asli yang biasa digunakan dalam aplikasi lanskap sangat cocok untuk iklim kota, dan mungkin sesuai dengan bentuk, susunan, atau warna tertentu diinginkan. Area median yang indah menggambarkan kenampakan alami dalam jenis dan kepadatan tanaman, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 15d.

Streetscape dapat didefinisikan sebagai elemen yang mempercantik atau memperhalus jalanan kota. Jumlah spesies yang digunakan harus dirancang untuk memastikan hasil yang konsisten dan komprehensif. Pemilihan spesies untuk taman jalanan adalah untuk melengkapi

keseimbangan antara penanaman jalan, lingkungan, dan skala lingkungan. Penanaman monokultur semacam itu harus dihindari demi penanaman yang lebih beragam, yang tidak terlalu rentan terhadap tekanan lingkungan dan yang, jika disusun dengan hati-hati, dapat menawarkan minat musiman yang lebih besar dan kekayaan visual terhadap penanaman semak jalanan, jika dipilih dengan hati-hati dan dipelihara dengan baik, serta membantu membingkai jalan dan meningkatkan pemandangan jalan secara visual. Visi jangka panjang diperlukan untuk menentukan kualitas estetika pemandangan jalan di tahun mendatang. Penanaman untuk area median dibagi menjadi beberapa pengelompokan umum atau “palet”, yang mungkin sesuai dengan konteks yang berbeda. Dalam beberapa keadaan, menggunakan tanaman non-asli yang secara hortikultura cocok dengan iklim dan tanah dapat menjadi pilihan yang tepat. Misalnya, tanaman non-asli mungkin lebih cocok untuk penanaman aksen di lokasi komersial. Pemilihan spesies juga harus mempertimbangkan komposisi secara keseluruhan, kemudahan pemeliharaan, dan umur yang panjang.

Palet tradisional ini mungkin cocok untuk area komersial, atau di sepanjang lanskap jalan dengan nuansa pinggiran kota. Palet ini sering menambah warna dan ketertarikan dan dapat digunakan untuk menekankan area fokus. Beberapa tanaman non-asli yang sering digunakan dalam proyek lanskap dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungan kawasan, dan jika diperlukan dalam bentuk, susunan atau warna tertentu, tanaman tersebut dapat digunakan (SMCMA, 2008).

4.2. Indeks Toleransi Polusi Udara (APTI)

Tumbuhan yang tumbuh di lingkungan yang tercemar sering merespons dan menunjukkan perubahan yang signifikan dalam morfologi, fisiologi, dan biokimia-nya. Tabel 4 menunjukkan nilai analisis keempat parameter biokimia beserta APTI yang dihitung untuk sepuluh spesies tanaman semak hias. Seperti dapat dilihat pada tabel, tanaman menunjukkan tingkat toleransi yang berbeda terhadap polusi udara. Dapat dilihat pada Tabel 6, bahwa nilai APTI tanaman berkisar antara 8,01 hingga 10,91, dengan *Codiaeum* memiliki nilai tertinggi dan *Mussaenda* memiliki nilai terendah.

Menurut peninjauan sebelumnya (Lakshmi & Land Srinivas, 2008) spesies ini juga memiliki nilai APTI yang rendah. Nilai APTI dapat digunakan sebagai bioindikator kualitas udara, sedangkan spesies yang termasuk dalam kelompok toleran dapat digunakan untuk pengembangan penghijauan jalan.

Tabel 6. Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) dari beberapa palet semak hias

Spesies	Asam Askorbat (mg/g)	Kadar Air Relatif (%)	pH	Total Chlorofil (mg/g)	APTI
Batavia (<i>Jatropha pandurifolia</i>)	2.32	71.00	6.0	4.19	9.46
Bugenvil (<i>Bougainvilleasp.</i>)	2.39	74.00	6.0	4.57	9.92
Hanjuang (<i>Cordyline terminalis</i>)	2.00	72.30	5.8	3.86	9.16
Kana (<i>Canna indica</i>).	1.30	84.00	6.1	4.02	9.72
LiliSpider (<i>Hymenocallis speciosa</i>)	1.70	69.00	5.6	4.18	8.56
NusaIndah (<i>Mussaenda philippica</i>)	1.00	70.30	5.2	4.56	8.01
Puring (<i>Codiaeum variegatum</i>)	2.93	77.60	6.0	4.75	10.91
Pisang Hias (<i>Heliconia psittacorum</i>)	2.77	81.00	6.4	3.54	10.85
Lidah Mertua (<i>Sansevieria trifasciata</i>)	1.52	87.30	5.3	4.29	10.19
UbiHias (<i>Ipomoea batatas</i>)	1.14	86.30	5.7	3.35	9.66

BAB V

TANAMAN DAN PENCEMARAN UDARA

Udara bersih sangat penting untuk hubungan antara lingkungan dan kesehatan masyarakat; namun, penurunan kualitas udara yang disebabkan oleh pelepasan polutan ke lingkungan dari berbagai sumber kini menjadi masalah bagi iklim dan kesehatan manusia. Ketika ada satu atau lebih polutan dalam jumlah yang signifikan di udara, maka itu dianggap tercemar. Polutan gas seperti sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), ozon (O₃), timbal (Pb), dan partikel (PM_{2.5} dan PM₁₀) adalah contoh polutan antropogenik atau alami yang hadir di atmosfer (Sharma, *et al.*, 2018). Pola distribusi, pola cuaca, dan aspek topografi suatu ekosistem semuanya mempengaruhi konsentrasi pencemaran di atmosfer. Bahan pencemar udara berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia, menyebabkan penyakit pada manusia, tumbuhan, dan hewan. Menurut laporan, polusi udara merusak tumbuhan dengan menurunkan kadar pigmen fotosintesis, konduktansi stomata, laju fotosintesis bersih, dan protein biji-bijian (Rai dan Panda, 2014).

Populasi di negara-negara berpenghasilan rendah dilaporkan secara signifikan dipengaruhi oleh berbagai kemungkinan masalah kesehatan fatal yang disebabkan oleh udara ambien dan dalam ruangan. Gejala pernapasan kronis, neurologis, vaskular, dan gangguan yang memengaruhi usia secara global, serta kondisi pernapasan kronis. Selain itu, paparan polusi udara dari berbagai sumber disalahkan atas peningkatan penyakit jantung, pernapasan, paru-paru, dan kematian yang terus berlanjut (Pope, *et al.*, 2002).

Salah satu polutan udara, partikel atmosfer, dinyatakan menyebabkan 3,3 juta kematian dini setiap tahunnya, terutama di Asia, dan memiliki sejumlah dampak yang merugikan bagi kesehatan manusia (Lelieveld, 2015). Oleh karena itu, penelitian bio-monitoring di bidang polusi udara sangat penting untuk memulihkan ekosistem perkotaan sejak polutan dilepaskan ke

atmosfer, mereka menyebar dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Akibatnya, banyak penelitian telah melaporkan dan mengakui fungsi tanaman dalam mengurangi polusi udara (Nugrahani, 2012; Roy *et al.*, 2020).

Satu-satunya strategi *ecomangement* untuk mengurangi efek negatif dari aktivitas manusia terhadap lingkungan, dengan menurunkan dan menyerap polutan dari atmosfer, adalah dengan memanfaatkan tumbuhan. Strategi ini menguntungkan lingkungan, karena bebas risiko, melindungi lingkungan melalui efisiensi energi dan pengurangan polutan yang lebih murah, tidak memiliki efek lingkungan yang negatif, dan menggunakan sumber energi terbarukan (Rai *et al.*, 2013).

Pengukuran beberapa faktor biologis dari setiap spesies membantu menghitung tingkat toleransi berdasarkan bagaimana tanaman bereaksi terhadap polusi udara. Dengan menilai ciri-ciri biokimia dan sosial ekonomi tertentu, yang dapat ditemukan dari dua indeks yang masing-masing dikenal sebagai indeks toleransi polusi udara (APTI) dan indeks kinerjaantisipasi (API), spesies tanaman yang tepat dapat ditemukan.

Penelitian tentang APTI atau API tanaman untuk mengurangi polusi udara telah menjadi subyek banyak penelitian (Nugrahani *et al.*, 2012; Qonita 2016; Salsabila *et al.*, 2020). Kedua indeks ini perlu diintegrasikan untuk menentukan besarnya toleransi bagi pengembangan sistem pengelolaan lingkungan hijau yang berkelanjutan. Penelitian perlu dilakukan untuk mengidentifikasi tanaman yang paling banyak dan tersebar luas dengan nilai API tinggi dan tingkat toleransi untuk mengurangi polusi udara di musim apa pun, di bawah kondisi lingkungan apa pun, termasuk variasi cuaca dan iklim. Tanaman asli wilayah tertentu yang dapat meningkatkan kualitas udara dengan menyerap polutan, perlu prioritas untuk ditanam sebagai hasil pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

5.1. Komponen Pencemaran Udara dan Pengaruh pada Manusia

Polutan gas dan partikel yang lazim di atmosfer pada tekanan dan suhu standar dianggap sebagai polutan udara ambien. Ada banyak aktivitas antropogenik yang berkontribusi pada pelepasan polutan ke atmosfer, seperti pembakaran bahan bakar rumah tangga, produksi batu bata, penambangan, dan emisi kendaraan. Konsentrasi polutan dinyatakan dalam bagian per juta (ppm) atau mikrogram per meter kubik ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Sharma, 2018).

1. Debu (Partikulat)

Materi partikulat (PM) adalah produk sampingan dari emisi primer dan sekunder. Emisi primer contohnya jelaga dari sumber pembakaran pada lokasi

konstruksi, debu pada jalan tak beraspal, ladang, dan cerobong asap. Materi Partikulat (PM) adalah senyawa fisik dan kimia berupa partikel yang berbeda dalam berbagai ukuran, baik sebagai tetesan cair atau padatan. PM dapat diklasifikasikan sebagai partikel dengan diameter aerodinamis kurang dari 10 μm (PM10) atau kurang dari 2,5 μm (PM2.5).

Polutan udara yang disebut partikel (PM2.5) memiliki konsekuensi langsung dan jangka panjang. Jika terpapar dalam jumlah yang berlebihan, partikulat (PM) dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia, membahayakan ekosistem dan kehidupan tanaman, serta menyebabkan masalah lingkungan di seluruh dunia. Debu atau material partikulat memiliki kemampuan memasuki sistem pernapasan melalui inhalasi, mengendap ke dalam area paru-paru yang dalam, dan menyebabkan infeksi pernapasan, penyakit jantung dan paru-paru, kanker paru-paru, kematian dini, dan kematian (Saxena et al., 2017), paparan partikel halus sekitar partikel telah dikaitkan dengan peningkatan efek negatif pada kesehatan manusia.

2. Ozon

Ketika molekul organik dan nitrogen oksida (NO_x) berinteraksi secara fotokimia, terbentuklah Ozon (Hanna, 2011). Ini terjadi ketika polutan dari pabrik, pembangkit listrik, boiler industri, kilang, dan sumber lainnya bereaksi secara kimiawi saat terkena sinar matahari. Orang yang berolahraga dan bekerja di luar ruangan di bawah sinar matahari berisiko lebih tinggi terkena paparan Ozon. Orang tua dan anak-anak dengan kondisi menderita pernapasan seperti asma, menjadi lebih rentan. Hal ini juga berdampak pada ekosistem dan tumbuhan, termasuk hutan, taman, dan suaka margasatwa.

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas yang sedikit lebih ringan dari udara, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa (Konkani, et al., 2020). Gas CO merupakan produk sampingan dari pembakaran yang dihasilkan setiap kali bahan bakar dibakar dalam ruang dengan oksigen yang tidak mencukupi. Gas alam dan zat lain yang mengandung karbon, termasuk gas otomotif, minyak tanah, minyak, propana, batu bara, dan kayu, antara lain, yang dibakar secara tidak sempurna akan menghasilkan CO. Konsentrasi CO dan waktu paparan dapat mempengaruhi kesehatan. Paparan CO dapat berakibat gangguan kardiovaskular dan syaraf, pada konsentrasi rendah. Pada paparan yang lama dan konsentrasi tinggi, dapat mengakibatkan ketidaksadaran dan kematian (Raub et al., 2000).

4. Sulfur Dioksida

Gas sulfur atau belerang dioksida (SO₂) adalah gas yang beracun, tidak berwarna, dan dapat bertahan di atmosfer hingga beberapa minggu. Gas ini berbau busuk dalam konsentrasi lebih dari 3 ppm. Diperkirakan 65 juta ton SO₂ dilepaskan ke atmosfer setiap tahun sebagai akibat aktivitas manusia, sebagian besar pembakaran bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil dalam industri, emisi mobil, peleburan mineral, dan kilang merupakan sumber potensial (Mitthal, 2011).

Paparan gas SO₂ dapat menyebabkan batuk, asma, dan bronchitis serta berdampak buruk pada kesehatan manusia (Kamarehie *et al.*, 2017) Tingkat SO₂ yang tinggi di udara dapat merusak tanaman, dan memperlambat pertumbuhannya.

5. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Gas nitrogen dioksida merupakan bagian dari golongan yang sangat reaktif yang dikenal sebagai nitrogen oksida (NO_x). Gas ini terbentuk pada bahan bakar yang dibakar pada suhu tinggi. NO_x di atmosfer umumnya dihasilkan oleh aktivitas antropogenik atau aktivitas manusia. Paparan nitrogen oksida di perkotaan, dapat mengubah warna bangunan, mobil dan property lainnya menjadi coklat kekuningan, sehingga berdampak pada estetika.

BAB VI

FITOREMEDIASI

Pengaruh bahan pencemar udara terhadap karakteristik biokimia, fisiologis, dan morfologi tanaman, merupakan aspek penting dalam penelitian-penelitian metode mitigasi pencemaran udara yang ramah lingkungan. Tanaman diketahui dapat berfungsi sebagai biofilter alami yang membersihkan udara di paru-paru kota dengan aktif menyerap dan mengakumulasi polutan. Pohon dan tanaman di perkotaan dinyatakan sebagai bio-monitor dan bio-indikator yang cocok untuk polusi udara di perkotaan. Toleransi atau tingkat kepekaan tanaman, memainkan peran penting dalam meningkatkan kualitas udara dengan menyerap gas dan partikel (Weyens *et al.*, 2015). Menggunakan tanaman untuk menghilangkan kontaminan dari air, tanah, dan udara yang tercemar, disebut sebagai metode fitoremediasi. Saat ini, metode fitoremediasi diakui sebagai metode alternatif ramah lingkungan (Kumar *et al.*, 2013).

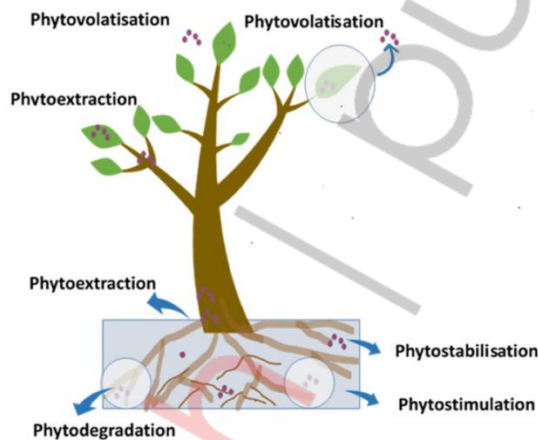
Beberapa penelitian menunjukkan adanya distribusi dan susunan unsur partikel debu yang terserap pada daun dan jaringannya. Penelitian menunjukkan bahwa sejumlah besar polutan diendapkan pada tanaman (Rai, 2016), yang ditunjukkan terjadinya konsentrasi tinggi polutan gas, partikulat material, dan logam berat pada tanaman. Tanaman dapat menyerap polutan udara tanpa mengalami efek negatif, sehingga beberapa penelitian menyarankan menggunakan bagian tanaman yang berbeda untuk meremediasi polutan udara sebagai cara yang baru dan berkelanjutan untuk kesehatan lingkungan, dengan menggunakan strategi fitoremediasi yang berbeda (Razzaq, 2017).

6.1. Metode Fitoremediasi

Fitoremediasi untuk menghilangkan bahan pencemar lingkungan, dibedakan menjadi beberapa metode, yaitu: Rhizofiltration, fitodegradasi, fitostimulasi, fitovolisasi, fitoekstraksi, dan fitostabilisasi (Gambar 22)

1. Fitoekstraksi

Kontaminan yang tidak terurai di daun, akar, dan pucuk tanaman, akan terakumulasi atau terserap. Pendekatan ini biasanya digunakan pada tanah yang telah terkontaminasi logam dan mungkin berbahaya bagi organisme bahkan pada konsentrasi rendah. Konsentrasi timbal (Pb) yang tinggi ditemukan di dalam tanah, akibat paparan terus-menerus terhadap polusi udara knalpot kendaraan. Timbal dihilangkan dari tanah yang terkontaminasi menggunakan metode phytoextraction (Kapourchal *et al.*, 2009).



Gambar 16. Skema Fitoremediasi (Enitan *et.al*, 2022)

2. Rhizofiltrasi

Rhizofiltrasi sebagian besar digunakan untuk memurnikan air tanah yang tercemar, dimana polutan (senyawa beracun atau nutrisi berlebih) dari air permukaan atau air tanah diserap dan disimpan oleh akar tanaman. Mirip dengan proses phytoextraction, tanaman dipanen setelah mencapai batas kejenuhan polutan (Lee, et al., 2020). Penelitian lanjut dan pemahaman yang lebih dalam tentang interaksi tanaman-air yang mengatur ekstraksi logam target dari sumber daya air yang terkontaminasi, masih sangat diperlukan dalam penerapan fitoremediasi.

3. Fitodegradasi

Fitodegradasi atau disebut juga fitotransformasi adalah proses menggunakan enzim tanaman untuk mendegradasi polutan berbahaya yang telah diambil dan disimpan untuk sementara waktu dalam jaringan

tanaman. Cara ini menggunakan tanaman dan mikroorganisme rizosfer untuk menghilangkan, menahan, atau mengubah senyawa berbahaya atau nutrisi berlebih di tanah, sedimen, dan air tanah, antara lain (Favas, *et al.*, 2014). Tumbuhan dan bakteri endositik yang mengkolonisasi jaringan bagian dalam tumbuhan, dapat mengurangi toksisitas polusi udara dengan mengubah polutan organik menjadi senyawa yang lebih larut dalam air.

4. Fitostimulasi

Proses *phytostimulation*, sering disebut sebagai *rhizodegradation*, melibatkan tanaman yang mengeluarkan bahan kimia tertentu ke dalam tanah atau air tanah melalui akarnya. Kapasitas mikroorganisme untuk memecah dan menghilangkan polutan lebih cepat meningkat dengan bahan kimia yang dilepaskan (Etim, 2012). Prosedur ini sangat penting untuk penerapan teknik *rhizoremediasi*, yang menghilangkan polutan organik dari tanah dengan menggabungkan *fitoremediasi* dan *bioaugmentasi*.

5. Fitovolatilisasi

Metode ini melibatkan tanaman menyerap kontaminan dari tanah, mengubahnya menjadi keadaan yang mudah menguap, dan kemudian melepaskannya ke atmosfer (Razzaq, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa polutan yang terdapat dalam air yang diserap tumbuhan mengalir melalui tumbuhan atau diubah oleh tumbuhan dan dilepaskan ke atmosfer (proses *transpirasi*).

6. Fitostabilisasi

Fitostabilisasi adalah proses dimana polutan di dalam tanah dinetralkan, diserap oleh akar tanaman, melekat pada akar, atau mengendap di dalam zona akar tanaman. Metode ini digunakan dalam penanganan lumpur, sedimen, dan tanah.

BAB VII

ANTICIPATED PERFORMANCE INDEX (API)

Tingkat toleransi tanaman terhadap pencemaran, mempengaruhi bagaimana tumbuhan bereaksi terhadap polutan udara dan seberapa baik mereka dapat mentolerirnya. Memanfaatkan parameter biokimia, indeks toleransi polusi udara (APTI) dapat digunakan secara umum untuk membuat indikator lingkungan yang tepat, dan strategi mitigasi untuk mengevaluasi sensitivitas, reaksi, dan toleransi tanaman terhadap polutan udara (Rai dan Panda, 2014). Namun, perkembangan pada temuan penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa selain APTI, indeks kinerja yang diantisipasi atau *Anticipated Performance Index* (API) juga perlu dipertimbangkan. Berbagai fitur sosio-ekonomi perlu dimasukkan dalam rangka mitigasi pencemaran udara melalui fitoremediasi. API adalah bentuk pengembangan pada APTI, yang digunakan untuk mengukur seberapa baik spesies yang mendominasi kawasan dalam menghilangkan polutan dari atmosfer (Govindaraju et al., 2012).

API juga dapat membantu mengidentifikasi spesies tumbuhan terbaik untuk pengelolaan lingkungan. API sangat membantu dalam pemilihan spesies tumbuhan yang dapat dipergunakan untuk meningkatkan nilai rekreasi dan meningkatkan kualitas udara dengan menghilangkan bahan pencemar udara (Leghari et al., 2019). Selain itu, Govindaraju et al. (2012) mengungkapkan bahwa API, dengan beberapa aspek biologis dan sosial ekonomi tumbuhan, lebih penting dan efisien bagi pengelolaan lingkungan untuk menanggulangi polusi udara. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2, API berbagai jenis tumbuhan ditentukan dengan menambahkan nilai APTI pada sejumlah karakteristik biologi dan sosial ekonomi, seperti habitus tumbuhan, struktur daun, struktur kanopi, jenis tumbuhan, dan nilai ekonomi.

Tabel 7. Penilaian tanaman berdasarkan APTI, karakter biologi dan sosial ekonomi (Govindaraju et al., 2012)

Penilaian	Karakter	Pola Penilaian	Nilai yang Diberikan*
Toleran	APTI	12.1–15.0	++
		15.1–18.0	+++
		18.1–21.0	++++
		21.1–24.0	+++++
		24.1–27.0	++++++
		27.1–30.0	+++++++
		30.1–33.0	+++++++
		33.1–36.0	+++++++
Biologis	Habitus Tanaman	Kecil	-
		Sedang	+
		Besar	++
	Struktur Kanopi	Jarang / Tidak Teratur / bulat	-
		Menyebar /terbuka / semi padat	+
		Padat menyebar	++
	Tipe Tanaman	Gugur daun	-
		Evergreen	+
	Ukuran Daun	Besar	-
		Sedang	+
		Kecil	++
	Tekstur	Halus	-
		Kasar	+
Kekerasan Daun	Keras	-	
	Lunak	+	
	Sosial Ekonomi	Nilai ekonomi	Kurang dari 3 kegunaan
3 atau 4 kegunaan			+
5 atau lebih kegunaan			++

* Nilai maksimum tanaman adalah 16

Berdasarkan skor API-nya, selanjutnya spesies tanaman dikategorikan dalam Tabel 3. Kemampuan tanaman untuk mengurangi polusi juga dipengaruhi oleh beberapa karakteristik tanaman, antara lain ukuran daun dan struktur tajuk. Spesies tanaman yang berbeda menunjukkan sifat yang berbeda. Persamaan berikut ini (Govindaraju, 2012) digunakan untuk menentukan lebih lanjut skor API (%).

$$API = \frac{\text{Jumlah nilai} +}{16} \times 100\%$$

Tabel 8. Klasifikasi spesies tanaman menggunakan API

Skor	Nilai (%)	Kategori Penilaian
0	< 30	Tidak direkomendasikan
1	31–40	Sangat buruk
2	41–50	buruk
3	51–60	Sedang
4	61–70	Cukup Baik
5	71–80	Baik
6	81–90	Sangat Baik
7	91–100	Terbaik

Sumber: Govindaraju *et al.* (2012)

Sistem penilaian dengan API dan APTI telah dilakukan terhadap 28 spesies tumbuhan yang dievaluasi kemampuannya dalam menyerap polutan (Shekar, 2019). Kisaran dari sangat baik hingga terbaik adalah 80%. Tanaman Mahoni (*Swietenia mahagoni*), Mangga (*Mangifera indica* L.), *Ficus infectoria* L., Jambu Biji (*Psidium guajava*), *Ficus benghalensis* L., Pohon Bodi (*Ficus religiosa* L.), *Saraca indica*, Mindi (*Azadirachta indica*) dan Kayu Putih (*Eucalyptus* sp.). mendapat skor di atas 80% (Tabel 9).

Tabel 9. Evaluasi jenis tumbuhan berdasarkan APTI dan API (Enitan *et al.*, 2022)

No.	Nama Tanaman	Jumlah Nilai +	% Skor	Penilaian API
1	<i>Psidium guajava</i>	14	88	Sangat Baik
2	<i>Swietenia mahogany</i>	16	100	Terbaik
3	<i>Mangifera indica</i> L.	16	100	Terbaik
4	<i>Alstonia scholaris</i> (L.)	10	63	Cukup baik
5	<i>Ficus religiosa</i> L.	13	81	Sangat baik
6	<i>Eucalyptus</i> sp.	13	81	Sangat baik

Fitoremediasi, dengan menggunakan tumbuhan dan mikrobiomanya, dapat digunakan untuk mencapai kualitas udara yang baik. Telah dibuktikan bahwa fitoremediasi dapat mengurangi efek dari beberapa polutan udara dan gangguan lingkungan untuk mencapai pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. Di daerah di mana tanaman terus-menerus terpapar polusi udara. APTI dan API merupakan sistem penilaian yang praktis untuk memilih spesies yang toleran dan sensitif, untuk perencanaan dan pengelolaan lingkungan di masa mendatang. API dan APTI memiliki korelasi positif yang menunjukkan bahwa peningkatan APTI akan mengakibatkan peningkatan API. Tumbuhan yang memiliki nilai APTI dan API yang tinggi, memiliki potensi yang baik untuk pengembangan pengelolaan ramah lingkungan dan tercapainya interaksi populasi-polusi yang berkelanjutan (Enitan, *et al.*, 2022).

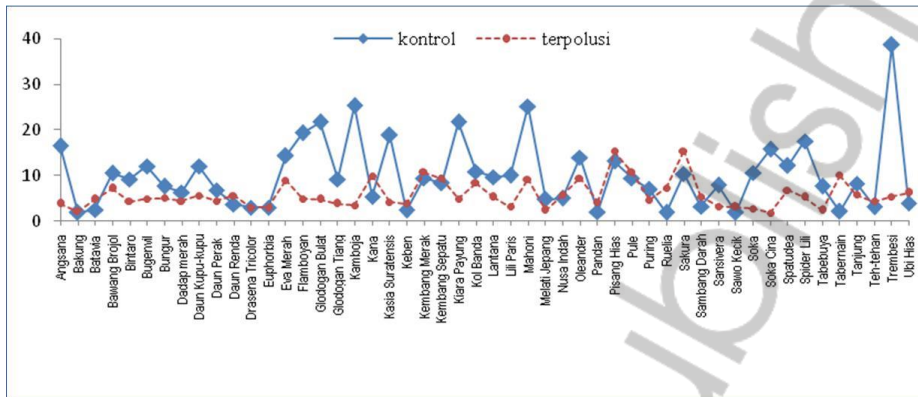
BAB VIII

PERUBAHAN PIGMEN DAUN DAN NILAI APTI BEBERAPA TANAMAN LANSKAP DI KOTA SURABAYA

8.1. Perubahan Pigmen Daun

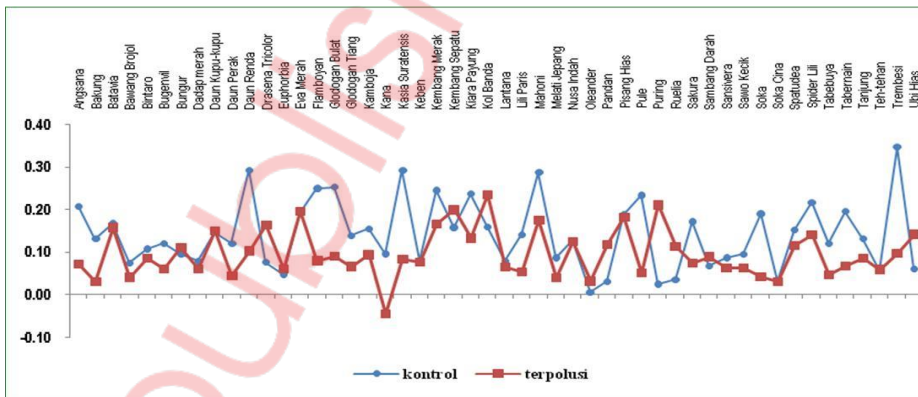
Pengukuran perubahan pigmen daun dilakukan terhadap tanaman hias lanskap yang ditanam pada beberapa ruas di Kota Surabaya. Pigmen daun yang diamati adalah klorofil a, klorofil b, dan karotenoid. Pengukuran dilakukan untuk melihat gejala perubahan pigmen daun akibat pencemaran udara di perkotaan, sehingga dapat menjadi indikator pencemaran udara pada tingkat dini. Identifikasi terhadap kadar pigmen daun yang ditanam di lokasi yang diduga terdampak pencemaran udara dan terhadap tanaman yang tumbuh di lokasi tanpa pencemaran udara, sebagai pembandingan atau kontrol. Sampel tanaman ditentukan secara purposive sejumlah 50 spesies tanaman hias dengan jenis pohon, perdu, semak dan penutup tanah. Analisis kadar klorofil daun dan karotenoid dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer (Hendry dan Grime, 1993).

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan kadar klorofil total antara tanaman pada lokasi kontrol dengan kadar klorofil total tanaman pada kawasan terdampak pencemaran udara, demikian juga pada kadar karotenoid daun. Gambar 1 dan 2 memperlihatkan kadar klorofil dan kadar karotenoid.



Gambar 17. Kadar Klorofil Daun (Nugrahani, *et al.*, 2014)

Gambar 17. adalah data hasil pengukuran kadar klorofil total daun tanaman di kawasan tidak terdampak pencemaran udara (kontrol), dan di lokasi pengamatan yang diduga terdampak pencemaran udara. Gambar 1 tersebut menunjukkan perubahan kadar klorofil total antara tanaman pada lokasi kontrol dengan kadar klorofil total tanaman pada kawasan terdampak pencemaran udara. Perubahan kadar klorofil total daun bervariasi, karena ada perbedaan dengan nilai positif yang berarti kadar klorofil daun menurun, dan ada perbedaan dengan nilai negatif, yang berarti kadar klorofil meningkat.



Gambar 18. Kadar Karotenoid Daun (Nugrahani, *et al.*, 2014)

Pada Gambar 18. terlihat bahwa ada perbedaan kadar karotenoid daun tanaman di lokasi kontrol dengan kadar karotenoid daun di lokasi pengamatan. Secara rata-rata kadar karotenoid daun tanaman di lokasi kontrol lebih tinggi daripada kadar karotenoid daun tanaman di lokasi pengamatan.

Bahan pencemaran udara merupakan salah satu pemicu stres lingkungan pada tanaman. Perubahan kadar klorofil daun, menjadi parameter yang telah lama diteliti sebagai salah indikator dari stres lingkungan akibat bahan pencemar udara. Tanaman menanggapi adanya polusi udara dengan beberapa bentuk respon, baik yang terlihat maupun yang tidak terlihat. Beberapa tanaman menunjukkan penurunan kadar klorofil dan karotenoid akibat paparan bahan pencemar udara (Meletiou-Christou *et al.*, 2011). Namun disisi lain juga dilaporkan bahwa ada beberapa tanaman yang mengalami peningkatan kadar klorofil dan karotenoid akibat dari paparan bahan pencemar udara. Tripathi dan Gautam (2007) dalam penelitiannya terhadap tanaman beberapa tanaman mendapatkan adanya variasi kadar klorofil dan fitokimia lainnya, tergantung pada tingkat polusi udara. Variasi kadar klorofil dan karotenoid daun akibat bahan pencemar udara juga sangat spesifik tergantung pada karakteristik spesies (Nugrahani, 2008). Dari Gambar 1. terlihat bahwa klorofil daun ada yang mengalami perubahan menjadi lebih rendah pada tanaman di lokasi terpolusi (perubahan positif) namun ada pula yang mengalami perubahan negative apabila dibandingkan dengan kadar klorofil daun di lokasi kontrol. Sedangkan perubahan kadar karotenoid cenderung positif, artinya kadar karotenoid mengalami penurunan pada lokasi terpolusi.

Pengujian terhadap kadar klorofil dan karotenoid menyediakan informasi mengenai status fisiologis tanaman yang sangat bermanfaat dalam penelitian pertanian dan ekosistem, (Serrano, 2008). Epidermal daun tanaman sangat sensitif terhadap polusi udara dan tanggapan mereka dapat digunakan untuk menilai tingkat pencemaran (Sumazian *et al.*, 2010).

Dari hasil pengukuran ini dapat disimpulkan bahwa pada kondisi lingkungan udara di perkotaan yang tercemar bahan sisa pembakaran kendaraan bermotor, daun tanaman menunjukkan adanya perubahan kadar pigmen klorofil dan karotenoid. Perubahan kadar klorofil dan kadar karotenoid, dapat menjadi indikator dini terhadap adanya pencemaran udara.

8.2. Nilai APTI Beberapa Tanaman Lanskap Kota Surabaya

Setiap tanaman memiliki tingkat toleransi terhadap pencemaran udara yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, tanaman dapat bertahan hidup dengan nilai toleransi terhadap pencemaran udara yang berbeda-beda berdasarkan pada kriteria yang dihitung dengan rumus APTI dengan beberapa komponen penyusun nilainya seperti pH, kadar air, asam askorbat dan klorofil. Hasil analisa Agbaire (2009) menunjukkan

bahwa tanaman yang stres bertindak defensif dengan meningkatkan atau menurunkan kadar air relatifnya, asam askorbat konten, kandungan total klorofil dan pH untuk membantu tanaman mempertahankan keseimbangan fisiologisnya di bawah tekanan kondisi yang disebabkan oleh polutan udara.

Toleransi tanaman terhadap pencemaran udara merupakan suatu hal yang setiap hari terjadi dalam tanaman sebagai kemampuan tanaman dalam merespon tekanan lingkungan yang ekstrem dari kondisi normal. Respon pertumbuhan tanaman terganggu akibat cekaman lingkungan seperti pencemaran udara. Tanaman dengan toleransi rendah akan menampilkan kerusakannya secara fisik dan fisiologisnya. Seperti nekrosis bahkan sampai layu dan mengalami kematian karena tidak tahan dengan lokasi dengan polusi yang tinggi.

Menurut penelitian Dewi (2001), pengaruh hujan asam dengan pH 2,8 terhadap anakan Akasia berupa gejala kerusakan nekrosis, klorosis dan abnormalitas bentuk daun. Terdapat 25,85% keabnormalan bentuk daun menjadi melengkung dan mengalami kematian jaringan pada daun. Tanaman akan kekurangan nutrisi karena limbah yang mencemari tanah telah membunuh organisme pengurai bangkai. Organisme tersebut antara lain adalah bakteri, jamur, dan cacing, hingga sisa makhluk hidup, seperti potongan kayu, tumpukan rumput yang tidak bisa diuraikan menjadi anorganik. Tanaman yang tumbuh di daerah dengan tingkat pencemaran tinggi dapat mengalami berbagai gangguan pertumbuhan serta rawan akan berbagai penyakit, antara lain klorosis, nekrosis, dan bintik hitam (Wijianto, 2013).

Tabel 10. Tingkat toleransi tanaman terhadap pencemaran udara berdasarkan APTI (Salsabila et al., 2020)

No	Nama Latin	Nilai APTI		Tingkat Toleransi	
		L0	L1	L0	L1
1	<i>Aerva sanguinolenta</i>	39,34	32,60	Toleran	Toleran
2	<i>Bougainvillea</i>	26,47	11,17	Cukup	Sedang
				Toleran	
3	<i>Canna indica</i>	13,47	13,17	Sedang	Sedang
4	<i>Codiaeum variegatum</i>	12,76	12,33	Sedang	Sedang
5	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	23,01	20,39	Cukup	Cukup
				Toleran	Toleran
6	<i>Hymenocallis littoralis</i>	20,35	19,94	Cukup	Cukup
				Toleran	Toleran
7	<i>Polyalthia longifolia</i>	15,63	14,88	Sedang	Sedang
8	<i>Polyscias scutellaria</i>	28,93	25,87	Cukup	Cukup
				Toleran	Toleran
9	<i>Pseuderanthemum</i>	32,21	30,04	Toleran	Toleran

No	Nama Latin	Nilai APTI		Tingkat Toleransi	
		L0	L1	L0	L1
	<i>reticulatum</i>				
10	<i>Pterocarpus indicus</i>	36,20	37,08	Toleran	Toleran
11	<i>Ruellia simplex</i>	27,78	18,69	Cukup	Cukup
				Toleran	Toleran
12	<i>Saraca asoca</i>	13,99	10,37	Sedang	Sedang
13	<i>Syzygium oleana</i>	11,56	12,26	Sedang	Sedang

Tanaman yang memiliki nilai APTI tertinggi adalah tanaman *Aerva sanguinolenta* dengan nilai 39,34 pada lokasi kontrol dengan kriteria toleran. Sedangkan tanaman *Saraca asoca* memiliki tingkat kriteria toleransi yang sedang dengan nilai sebesar 10,37 pada lokasi terpolusi. Perbedaan selisih nilai APTI pada setiap tanaman antara lokasi terpolusi dan lokasi kontrol dapat menunjukkan kriteria toleransi terhadap tanaman tersebut. Tanaman yang memiliki selisih nilai APTI yang sedikit antara lokasi terpolusi dan lokasi kontrol, menunjukkan tanaman tersebut toleran dalam kondisi terpapar polusi yang tinggi atau rendah, karena tanaman tersebut dapat menyesuaikan diri.

Pada tabel 2 menunjukkan tanaman *Pterocarpus indicus* dan *Syzygium oleana* memiliki akumulasi APTI tertinggi pada lokasi terpolusi (L1) dari pada lokasi kontrol (L0), hal ini terjadi karena lokasi tanaman tersebut sangat berdekatan dengan jalan raya yang diduga perlu kemampuan dan jumlah beberapa komponen fisiologis seperti pH, asam askorbat, kadar air atau klorofil yang tinggi guna mempertahankan dirinya terhadap polusi udara. Tanaman tersebut toleran terhadap polusi udara.

Tanaman dengan APTI tinggi terbukti toleran terhadap polusi udara bertindak sebagai bioakumulator penting dari polutan udara, sedangkan tanaman yang menunjukkan APTI rendah dapat diklasifikasikan sebagai sensitif terhadap pencemaran udara dapat bertindak sebagai bioindikator polusi udara (Rai *et al.* 2013).

Gambar 6 menunjukkan bahwa tanaman memiliki perbedaan selisih nilai APTI antara lokasi terpolusi dengan kontrol. Banyak atau sedikitnya selisih nilai APTI disebabkan oleh komponen penyusun indeks APTI. Tanaman yang memiliki selisih sedikit, mempunyai kadar komponen penyusun indeks APTI yang tidak berbeda jauh antara tanaman pada lokasi terpolusi dan kontrol, sedangkan pada tanaman yang memiliki persentase selisih banyak memiliki kadar komponen penyusun APTI yang berbeda jauh antara lokasi terpolusi dan kontrol.

Berdasar pada pengukuran yang dilakukan, tanaman *Aerva sanguinolenta* memiliki APTI tertinggi dengan nilai 39,34 pada lokasi kontrol

(L0) dan *Pterocarpus indicus* dengan nilai 37,08 pada lokasi terpolusi (L1) sedangkan *Saraca asoca* memiliki APTI terendah dengan nilai 10,37 pada lokasi terpolusi (L1). Selisih nilai APTI setiap tanaman menunjukkan ketahanan suatu tanaman dalam menyesuaikan fisiologi tanaman pada cekaman. Sedangkan klasifikasi tanaman *Aerva sanguinolenta*, *Pseuderanthemum reticulatum* dan *Pterocarpus indicus* merupakan tanaman toleran, tanaman *Hibiscus rosa-sinensis*, *Hymenocallis littoralis*, *Polyscias scutellaria*, *Ruellia simplex* termasuk dalam kriteria tanaman yang cukup toleran dan tanaman *Bougainvillea* sp., *Canna indica*, *Codiaeum variegatum*, *Polyalthia longifolia*, *Saraca asoca*, dan *Syzygium oleana* termasuk tanaman dalam kategori toleransi sedang berdasar hasil pengukuran yang telah dilakukan tersebut.

BAB IX

PENALI AKHIR DAN GAGASAN USUL

9.1. Penali Akhir

Perubahan kadar pigmen daun, sebagai bentuk respons tanaman terhadap keberadaan gas polutan udara, dapat dijadikan sebagai bioindikator kualitas udara. Dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh di daerah bebas polusi, kadar klorofil a, klorofil b dan klorofil total tanaman yang berada di kawasan tercemar emisi kendaraan bermotor menurun sebanyak 40%. Kadar karotenoid tanaman juga menurun sebanyak 3%. Perubahan kadar antioksidan asam askorbat pada daun tanaman yang tumbuh di kawasan tercemar secara statistik tidak signifikan. Parameter ini tidak dapat digunakan sebagai indikator pencemaran udara. Sistem sensor pemantau kualitas udara dirancang untuk dapat diintegrasikan dengan perubahan kadar pigmen daun: klorofil a, klorofil b, dan klorofil total.

Dalam hal ini, peningkatan keanekaragaman hayati dalam proyek *streetscape* atau taman jalan dapat berkontribusi pada kelestarian ekosistem. Spesies semak yang beragam akan memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap kerusakan akibat kekeringan, penyakit atau polusi daripada monokultur dari satu spesies. Hal ini mengindikasikan jaminan bahwa *streetscape* akan terus memiliki kehadiran yang kuat dalam hal penanaman, dengan mempertimbangkan prinsip desain penanaman.

Penetapan APTI ini dinilai penting karena dengan meningkatnya urbanisasi, kepemilikan kendaraan bermotor akan meningkat dan menyebabkan meningkatnya polusi udara. Oleh karena itu, hasil peninjauan ini sangat membantu untuk perencanaan di masa depan. Peninjauan ini juga memberikan informasi yang berguna untuk memilih spesies yang toleran untuk lanskap di lokasi yang terus-menerus terpapar polusi udara. Spesies dengan tingkat toleran dan toleransi sedang harus dipertimbangkan terlebih dahulu. Hanya varietas dengan kapasitas adsorpsi yang kuat untuk polutan

udara yang harus dipilih untuk ditanam dengan toleransi sedang. Pada saat yang sama, spesies yang tergolong sensitif membantu menjadi bioindikator kualitas udara perkotaan.

Dari pelaksanaan peninjauan ini, diharapkan akan dilakukan peninjauan lebih lanjut di masa yang akan datang yang telah disempurnakan dengan menambahkan perangkat pengukur kadar klorofil (*chlorophyll-meter*).

DAFTAR PUSTAKA

1. Agbaire, P. O. 2009. Air pollution tolerance indices (APTI) of some plants around Erhoike-Kokori oil exploration site in Delta State, Nigeria. *Int. J. Physiol. Sci.*, 4(6):366-368.
2. Agbaire, P.O., dan E. Esiefarienrhe. 2009. Air Pollution Tolerance Indices (APTI) of Some Plants Around Otorogun Gas Plant in Delta State, Nigeria. *J. Appl. Sci. Environ. Manage Vol. 13(1)*. 11 – 14.
3. Aksoy A, Ozturk MA. 1997. *Nerium oleander* L as a bio monitor of lead and other heavy metal pollution in Mediterranean environments. *Sci. Total Environ.* 205: 145-150.
4. Anjali, M. Kumar, N. Singh dan K. Pal. 2012. Effect of Sulphur Dioxide on Plant Biochemicals. *International Journal of Pharma Professional's Research Vol 3*. 538-544
5. Arivazhagan S, Shebiah RN, Nidyanandhan SS, Ganesan L. 2010. Fruit Recognition using color Texture Features. *Journal of Emerging Trends in Information Sciences*. 1(2): 90-94.
6. Bakiyaraj, R. and Ayyappan, D. 2014. Air Pollution Tolerance Index of Some Terrestrial Plants Around an Industrial Area. *Int. J. Mod. Res. Rev*, 2(1), 1-7.
7. Carpenter, P. L., Walker, D. & Lanphear, F. O. 1975. *Plant in the Landscape*. Sann Fransisco: W.H. Freemanand Co.
8. Chauhan A. 2010a. Photosynthetic pigment changes in some selected trees induced by a mobile exhaust in Dehradun, Uttarakhand. *New York science journal* (2):45-51 <http://www.sciencepub.net/newyork>.
9. Chauhan A. 2010b. Tree as bio-indicator of automobile pollution in Dehradu c' : a ca study. *New york science journal* 3(6): 88-95.
10. Culotta L, Gianguzza A, Orecchio S. 2005. Leaves of *Nerium oleander* bioaccumulators of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the air of Palermo (Italy): extraction and GC-MS analyst, distribution, and sources. *Polycyclic Aromatic Compounds* 25:327-344
11. Dewi, I.S. 2001. *Pengaruh Hujan Asam Terhadap Beberapa Jenis Anakan Tanaman Hutan Kota* (Studi Pemilihan Jenis-Jenis Pohon Berdasarkan Ketahanan Terhadap Hujan Asam). IPB. Bogor

12. Dwiputri, D.A. 2018. Developing Plant Tolerance Indicator to Air Pollution, Case Study In Krakatau Industrial Estate Cilegon City, Indonesia. *Jurnal Lanskap Indonesia* 10 (1), 19-27
13. Farkas I. 2003. Artificial intelligence in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 40: 1-3.
14. Favas, J.; Pratas, J.; Varun, M.; D'Souza, R.; Paul, M.S. 2014. Phytoremediation of soils contaminated with metals and metalloids at mining areas: Potential of native flora. *Environ. Risk Assess. Soil Contam.* 3, 485–516.
15. Gitelson AA, Gritz Y, Merzlyak, MN. 2003. Relationships between leaf chlorophyll content a spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll content in higher plant leaves. *J. Plant Physiol.* 160. 271-282.
16. Govindaraju.M, Ganeshkumar.R.S, Suganthi.P, Muthukumar.V.R, Visvanathan.P. 2010. Impact Assessment of Air Pollution Stress on Plant Species through Biochemical Estimation. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 72: 935-93
17. Govindaraju, M.; Ganeshkumar, R.S.; Muthukumar, V.R.; Visvanathan, P. 2012. Identification and evaluation of air-pollution-tolerant plants around lignite-based thermal power station for greenbelt development. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 19, 1210–1223.
18. Hanna, A.F.; Yeatts, K.B.; Xiu, A.; Zhu, Z.; Smith, R.L.; Davis, N.N.; Talgo, K.D.; Arora, G.; Robinson, J.; Meng, Q. 2011. Associations between ozone and morbidity using the Spatial Synoptic Classification system. *Environ. Health*, 10, 49.
19. Hendry GAF, Grime JP. 1993. Methods on *Comparative Plant Ecology, A Laboratory Manual*. London: Chapman and Hall. 272 pp
20. Irianto, K. 2015. *Buku Bahan Ajar Pencemaran Lingkungan*. Universitas Warmadewa: Bali. 88 Halaman
21. Jeon MW, Ali MB, Hahn EJ, Paek KY. 2006. *Photosynthetic pigment, morphology, and leaf gas exchange during ex vitro acclimatization of micro propagated CAM Doritaenopsis plantlet under relative humidity and air temperature*. London Chapman and Hall. 272 pp.
22. Jiang, S.L. Niu, C.D. Jiang and M.Z. Liu. 2006. Physiological response of plants to combined pollution from e -duty vehicles and industrial emissions in higher humidity. *J. Integr. Plant Biol.*, 48:1391-1400.
23. Jones, H.G and Schofield, P. 2008. Thermal and Other Remote Sensing of Plant Stress. *Gen. Appl. Plant Physiology, Special Issue*, 34(1-2), 19-32.

24. Joshi PC, Swami A. 2009. Air pollution induced changes in the photosynthetic pigments of selected plant species. *Journal of Environmental Biology* 30: 295-298.
25. Kamarehie, B.; Ghaderpoori, M.; Jafari, A.; Karami, M.; Mohammadi, A.; Azarshab, K.; Ghaderpoury, A.; Alinejad, A.; Noorizadeh, N. 2017. Quantification of health effects related to SO₂ and NO₂ pollutants by using air quality model. *J. Adv. Environ. Health Res.* 5, 44–50.
26. Kapourchal, S.A.; Kapourchal, S.A.; Pazira, E.; Homae, M. 2009. Assessing radish (*Raphanus sativus* L.) potential for phytoremediation of lead-polluted soils resulting from air pollution. *Plant Soil Environ.* 55, 202–206.
27. Konkani, J.K.; Chaudhari, A.R.; Patel, K.B.; Patel, N.; Nisarta, P.; Motaka, M. 2020. Study on Level of Carbon Monoxide in Residential Area of GIDC, Mundra. *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.* 7, 243–247.
28. Kumar MA, Singh N, Pal K. 2012. Effect of sulphur dioxide on plant biochemical. *Intl. Pharma Professional's Res.*, 3:620-629.
29. Kumar, S.R.; Arumugam, T.; Anandakumar, C.; Balakrishnan, S.; Rajavel, D. 2013. Use of plant species in controlling environmental pollution. *Bull. Environ. Pharmacol. Life Sci.* 2, 52–63.
30. Kurniati, C. dan R.R. Irwanto. 2015. Evaluasi Nilai APTI dan API pada *Swietenia macrophylla* dan *Agathis dammara* yang Terdapat di Kampus ITB Ganesha, Bandung. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia Vol 1(7)*. 1610-1614
31. Kurniawan M, Izzati M, Nurchayati Y., 2010. Kandungan Klorofil, Karoten Vitamin C pada Beberapa Spesies Tumbuhan Akuatik. *Buletin Anatomi dan Fisiologi XVIII* (1):
32. Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology* 3rd. Berlin: Springerpp.506.
33. Lakshmi, PS, Shrivanti, K. Land Srinivas, N. (2008). Air Pollution Tolerance Index of various plant species growing in industrial area. *The eco scan* 2(2):23-26.
34. Lelieveld, J.; Evans, J.S.; Fnais, M.; Giannadaki, D.; Pozzer, A. 2015. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature* 525, 367.
35. Li MH. 2003. Peroxidase and superoxide dismutase activities in fig leaves in response to ambient air pollution in a subtropical city. *Arch. Environ.m. Toxicol.* 45: 168-176.
36. Mahmooduzzafar VRB, Siddici TO, Iqbal M. 2006. Foliar r sponses *Ipomea pestigridis* L. to coal-smoke pollution. *Turkish Journal of Botany* 30: 413- 417.

37. Mandre, M., 2002. Stress concepts and plants. *For. Stud.*, 36: 9-16
38. Manno M, Viau C, Cocker J, Colosio C, Lowry L, Mutti A, Norberg M, Wang S. 2010. *Biomonitoring for Occupational the Risk Assessment (BOHRA)*. *Toxicol. Lett.* 192: 3-16
39. Medina LC, Rios RO, Pacheco IT, Troncoso RGR, Almaraz JRM. 2012. Smart Sensor for Real-Time Quantification of Common Symptoms Present in Unhealthy Plants. *Sensor* 12: 784-805.
40. Meletiyou-Christou MS, Banilas GP, Bardis C, Rhizopoulou S. 2011. Plant Biomonitoring: Impact of Urban Environment on Seasonal Dynamics of Storage Substances and Chlorophylls of Oleander. *Global NEST Journal*, Vol 13(4): 395-404.
41. Mittal, M.L.; Sharma, C.; Singh, R. 2012. *Estimates of emissions from coal fired thermal power plants in India*. In Proceedings of the 2012 International Emission Inventory Conference, Tampa, FL, USA, 13 August 2012; pp. 13–16.
42. Mondal, D., Gupta, S. and Datta, J.K. 2011. Anticipated performance index of some tree species con ered for green belt development in an urban area. *Int. Res. J. Plant.* (4):99-106
43. Nugrahani P. 2008. Studi potensi biomonitoring beberapa spesies tanaman semak hias terhadap pencemaran udara perkotaan. *Jurnal Kimia Lingkungan*, 9(2): 115-1
44. Nugrahani P., Sugijanto, Purnobasuki H. 2011. *Tolerance levels of ornamental shrubs to an air pollution in Surabaya city based on Air Pollution Tolerance Index (APTI)*. Paper presented at The Natural Resources, limat Change and Food Security in Developing Countries. AR2FS, International Seminar. UPN “Veteran” East-Java, June 27th & 28th, 2011.
45. Nugrahani P., Sugijanto, 2009. Ornamental shrubs on streetscape greening. Paper presented in The Green City International Symposium 2009. Bogor IPB University.
46. Nugrahani, P. 2008. Studi Potensi Biomonitoring Beberapa Spesies Tanaman Semak Hias terhadap Pencemaran Udara Perkotaan. *Jurnal Kimia Lingkungan* 9 (2):115-122.
47. Nugrahani P, Sukartiningrum. 2008. Indeks Toleransi Pencemaran Udara (APTI) median jalan kota di Kota Surabaya. “MAPETA” Agric. Sci. J. 10(2):86-92.
48. Nugrahani, P., Prasetyawati, E.T., Sugijanto, Purnobasuki, H. 2012. Ornamental Shrubs as Plants Pallets Elements and Bioindicators Based on Air Pollution Tolerance Index (APTI) in Surabaya City, Indonesia. *Asian J. Exp. Biol. Sci.* 3(2):298-302.
49. Nurfaida, Dariati, T. dan Yanti, C.W.B. 2011. Bahan Ajar Ilmu Tanaman Lanskap. Universitas Hasanuddin. Makassar. 27 Halaman

50. Pope, C.A., III; Burnett, R.T.; Thun, M.J.; Calle, E.E.; Krewski, D.; Ito, K.; Thurston, G.D. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 287, 1132–1141.
51. Qonita, F.I., Nugrahani, P., Sukartiningrum. 2016. Toleransi Beberapa Spesies Tanaman Lanskap Terhadap Pencemaran Udara di Taman Pelangi Surabaya. *Plumula* 5(2):188-202.
52. Rahmat B, Sasongko PE, Arifin Z., 2012. Pembuatan alat pengendali kualitas anah jarak jauh dengan teknologi IDACS (Internet Based Data Acquisition and Control System) dan SMS Gateway. Laporan Hasil Kegiatan. LPPM UPN “Veteran” Jatim bekerjasama dengan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
53. Rai, K. 2013. Environmental magnetic studies of particulates with special reference to biomagnetic monitoring using roadside plant leaves. *Atmos. Environ.*, 72, 113–129.
54. Rai, K.; Panda, L.L. 2014. Dust capturing potential and air pollution tolerance index (APTII) of some roadside tree vegetation in Aizawl, Mizoram, India: An Indo-Burma hot spot region. *Air Qual. Atmos. Health* 7, 93–101
55. Rai, P.K., L.S. Panda, B.M. Chutia dan Singh. 2013. Comparative Assessment of Air Pollution Tolerance Index (APTII) in the industrial (Rourkela) and Non-Industrial Area (Aizawl) of India: An Ecomanagement Approach. *African Journal of Environmental Science and Technology*. Vol 7(10) 944-948
56. Rajalakshmi K, Haribabu TE, Sudha PN. 2011. Toxicokinetic studies of antioxidants of *Amaranthus tricolour* and Marigoldo (*Calendula officinalis* L.) plants exposed to heavy metal lead. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences PAES*. Vol. 1(2): 105-109.
57. Raub, J.A.; Mathieu-Nolf, M.; Hampson, N.B.; Thom, S.R. 2000. Carbon monoxide poisoning—A public health perspective. *Toxicology* 145, 1–14.
58. Razzaq, R. 2017. Phytoremediation: An environmentally friendly technique—A review. *J. Environ. Anal. Chem.* 4, 2380–2391.
59. Rohacek K, Soukupova J, Bartak M. 2008. Chlorophyll fluorescence: A wonderful tool to study plant physiology and plant stress. In Schoefs B (Ed.) *Plant Cell Compartments - Selected Topic*, 41-104. Biology Centre, p.r.i., Academy of Sciences of the Czech Re.
60. Roy, A.; Bhattacharya, T.; Kumari, M. 2020. Air pollution tolerance, metal accumulation and dust capturing capacity of common tropical trees in commercial and industrial sites. *Sci. Total Environ.* 722, 137622.

61. Sadasivam, S. and A. Manikam. 1992. *Biochemical Methods for Agriculture Sciences*. Wiley Eastern Ltd., New Delhi, Pages:187.
62. Salsabila, S.H., Nugrahani, P., Santoso, J. 2020. Toleransi Tanaman Lanskap Terhadap Pencemaran Udara di Kota Sidoarjo. *Jurnal Lanskap Indonesia* 12(2): 73-78.
63. Saxena, N.; Bhargava, R. 2017. A Review on Air Pollution, Polluting Agents and its Possible Effects in 21st Century. *Adv. Bioreserach* 8, 42–50.
64. Schubert R (ed.). 1985. *Bioindikation in terrestrischen Ökosystemen*. Jena, Gustav Fischer Verlag. 327 pp.
65. Senthilkumar, P. and Paulsamy, S. 2011. Evaluation of air pollution tolerant tree species for Kothagiri municipal Town, the Nilgiris, Tamil Nadu. *J. Res. Biol.*, 2:148-152.
66. Serrano L., 2008. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content, *International. Journal of Remote Sensing*, 29: 5265-5274
67. Seyyednejad SM, Koocha 2010. Survey on biochemical effects of industrial air pollution *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(3&4):1272-1275.
68. Sharma, N.; Agarwal, A.K.; Eastwood, G.T.; Singh, A.P. Introduction to air pollution and its control. 2018. In *Air Pollution and Control*; Springer: Singapore, pp. 3–7.
69. Singh SK, Rao DN, Agrawal M, Pandey J, Narayan D. 1991. Air pollution tolerance index of plants. *J. Environ. Management* 32:45- 55.
70. SMCMA. 2008. *Biodiversity in Streetscapes*. Sydney Metropolitan Catchment Management Authority. (SMCMA).
71. Sumangala H.P., C. Aswath, R.H. Laxman and M.R. Namratha. 2018. Estimation of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Selected Ornamental Tree Species of Lalbagh, Bengaluru, India. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* ,7(2): 3894-3898
72. Sumazian Y, Syahida A, Hakimian M, Maziah M. 2010. Antioxidant activities, flavonoids, ascorbic acid and phenolic contents of Malaysian vegetables. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(10): 881-890
73. Taylor GE. 1978. Plant and leaf resistance to gaseous air pollution stress. *New Phytol.* 80: 523-534.
74. Tripathi AK, Gautam M. 2007. Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology* 28(1):127-132

75. Ton Y, Nilov N, Kopyt M. 2001. Phytomonitoring: the new information technology for improving crop production. *Acta hort.* 562:257-262.
76. Veni, K., Marimuthu dan K. Lavanya. 2014. Air Pollution Tolerance Index of Plants a Comparative Study. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences Vol 6*.320-324
77. Verma, R. B., T. O. Siddiqi and M. Iqbal, 2006. pes-tigridis L. tocoal-smoke pollution. Turl
78. Weyens, N.; Thijs, S.; Popek, R.; Witters, N.; Przybysz, A.; Espenshade, J.; Gawronska, H.; Vangronsveld, J.; Gawronski, S.W. 2015. The role of plant–microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 25576–25604.
79. Wijianto, Eko. 2013. Validasi Metode Analisis Pb dengan Menggunakan Flame Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) untuk Studi Biogeokimia dan Toksisitas Logam Timbal (Pb) pada Tanaman Tomat (*Lycopersicum esculentum*). Universitas Lampung. Lampung. 69 Halaman
80. Yan-Ju, L. and Hui, D. 2008. Variation in air pc plants near a steel factory. Implications f selection for industrial areas. *Environ. Dev.*
81. Zakaria, N. 2013. Analisis Pencemaran Udara (SO₂), Keluhan Iritasi Tenggorokan dan Keluhan Kesehatan Iritasi Mata pada Pedagang Makanan di Sekitar Terminal Joyoboyo Surabaya. UNAIR. Surabaya. 7 Halaman
82. Zhang, P. Q., Liu, Y. J., Chen, X., Yang, Z., Zhu, M. H. and Li, Y. P. (2016). Pollution Resistance Assessment of Existing Landscape Plants on Beijing Streets Based on Air Pollution Tolerance Index Method. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 132, 212-223.
83. Zoer'aini DI., 2005. Tantangan Lingkungan dan Lanskap Kota. Bumi Aksara, Jakarta
84. Zouari, M., Elloumi, N., Mezghani, Labrousse, B. Rouina, B. Abdallah, dan B. Ahmed. 2018. A Comparative Study of Air Pollution Tolerance Index (APTI) of Some Fruit Plant Species Growing in the Industrial Area of Sfax, Tunisia.