

Toleransi Berbagai Tanaman Hias terhadap Polutan Karbon Monoksida (CO) di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang

Latifata Nuril Badi'ah¹, Sri Darmanti^{1*}, dan Erma Prihastanti¹

¹Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro; e-mail: darmanti2023@gmail.com

ABSTRAK

Emisi kendaraan bermotor yang didominasi gas karbon monoksida (CO) berbahaya bagi makhluk hidup, karena dapat merubah karakter fisiologi dan komponen biokimia pada tanaman. Paparan gas CO dapat merubah karakter fisiologi dan komponen biokimia tanaman. Tiap tanaman merespon masuknya polutan dengan cara berbeda, toleran atau sensitif. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan toleransi tanaman hias terhadap gas CO pada kadar berbeda. Tanaman hias diberi perlakuan selama dua bulan. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan dua faktor yaitu kadar gas CO dan spesies tanaman. Parameter yang diamati adalah parameter biologi, sosio-ekonomi, dan biokimia. Tingkat toleransi tanaman dihitung menggunakan metode *Air Pollution Tolerance Index* (APTI) dan *Anticipated Performance Index* (API). Data dianalisis menggunakan ANOVA dan dilanjutkan dengan uji DMRT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap kemampuan toleransi tanaman. *R. discolor* termasuk *tolerant* menurut APTI dan *good* menurut API. *C. comosum* dan *T. corymbosa* termasuk *moderate* menurut APTI dan API. *C. variegatum* termasuk *moderate* menurut APTI dan *poor* menurut API. *I. paludosa* termasuk *intermediate* menurut APTI dan *poor* menurut API. *S. oleana* termasuk *sensitive* menurut APTI dan *moderate* menurut API.

Kata kunci: API, APTI, pencemaran, tanaman, toleransi

ABSTRACT

Motor vehicle emissions which are dominated by carbon monoxide (CO) gas are dangerous for living things, because they can change the physiological characteristics and biochemical components of plants. Exposure to CO gas can change the physiological characteristics and biochemical components of plants. Plant species respond to the entry of pollutants in different ways, some are tolerant and also sensitive. This study aims to determine the tolerance ability of ornamental plants to different CO gas levels. Ornamental plants were treated for two months. This study used a completely randomized design (CRD) with two factors, namely CO gas levels and plant species. The parameters observed were biological, socio-economic, and biochemical parameters. Plant tolerance level was calculated using the *Air Pollution Tolerance Index* (APTI) and *Anticipated Performance Index* (API) methods. Data were analyzed using ANOVA and followed by DMRT test. The results showed that there was no interaction between CO gas levels and plant species on plant tolerance ability. *R. discolor* is tolerant according to APTI and good according to API. *C. comosum* and *T. corymbosa* are moderate according to APTI and API. *C. variegatum* is moderate according to APTI and poor according to API. *I. paludosa* is intermediate according to APTI and poor according to API. *S. oleana* is sensitive according to APTI and moderate according to API.

Keywords: API, APTI, pollution, plants, tolerance

Citation: Badi'ah, L. N., Darmanti, S., dan Prihastanti, E. (2024). Toleransi Berbagai Tanaman Hias terhadap Polutan Gas Karbon Monoksida (CO) di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1088-1099, doi:10.14710/jil.22.4.1088-1099

1. PENDAHULUAN

Kota Semarang termasuk dalam wilayah dengan pencemaran udara yang cukup tinggi. Pertumbuhan transportasi dan mobilitas terus meningkat dengan perkiraan mencapai 450 ribu orang yang masuk dan keluar di kota Semarang setiap harinya menggunakan kendaraan bermotor (Cahyaningrum dan Arif, 2022).

Emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor meliputi polutan dalam bentuk gas CO, CO₂, HC, SO_x, NO_x, dan partikulat (Pujiono dkk., 2020).

Kecamatan Tembalang dan Banyumanik adalah wilayah padat penduduk dengan aktivitas kendaraan bermotor yang tinggi dan turut berkontribusi menyumbang pencemaran udara di kota Semarang.

Kendaraan bermotor melintas padat pada hari kerja di wilayah Kec. Tembalang dan Banyumanik, khususnya di area pendidikan dan perkantoran merupakan faktor penyumbang gas CO yang cukup besar di udara. Selain itu, wilayah Banyumanik juga terdapat beberapa akses jalan tol sehingga banyak aktivitas kendaraan besar seperti *truck*, *container*, dan lainnya. Aktivitas kendaraan bermotor seperti mobil dan motor dapat mempengaruhi kualitas udara di ruang terbuka hijau (RTH) (Handayani dkk, 2020).

Karbon monoksida (CO) adalah gas emisi dominan dari kendaraan bermotor. Keberadaan gas CO di atmosfer tidak mudah terurai karena membutuhkan waktu yang lama dalam proses perubahannya yaitu 0,1% gas CO per jamnya (Nisa dkk., 2022). Jika konsentrasi gas CO di atmosfer mencapai ≥ 2000 ppm dalam kontak waktu lebih dari 24 maka dapat berpengaruh terhadap kemampuan fiksasi nitrogen oleh bakteri pada lingkungan terutama pada akar tanaman. Selain itu, keberadaan gas CO yang terserap oleh tanaman melalui stomata juga dapat mengakibatkan kerusakan bagian daun (Dewatisari dan Lyndiani, 2015).

Tanaman mempunyai kemampuan toleransi untuk bertahan hidup pada kondisi cekaman lingkungan, termasuk pencemaran udara. Paparan pencemaran udara tinggi dapat mengakibatkan perubahan karakter morfologi, anatomi, fisiologi, dan komponen biokimia tanaman (Leghari and Zaidi, 2013). Pada tanaman, gas CO dapat meningkatkan sintesis *reactive oxygen species* (ROS) berlebih yang dapat mengganggu mekanisme fisiologis (Molnár *et al.*, 2020). Karmakar and Padhy (2019) melaporkan pada tanaman *Shorea robusta*, *Eucalyptus globulus*, dan *Azadirachta indica* yang tumbuh di lokasi udara tercemar mengalami penurunan pH daun. Hasil penelitian Hatamimanesh *et al.* (2021) menunjukkan bahwa nilai kadar air relatif daun *Morus nigra*, *Plantarum orientalis*, dan *Ailanthus altissima* yang hidup pada lokasi tercemar lebih rendah dibandingkan dengan di lokasi tidak tercemar. Roy *et al.* (2020) mengemukakan bahwa kandungan klorofil pada *Saraca asoca* yang hidup pada lokasi tercemar udara lebih tinggi dibandingkan pada lokasi tidak tercemar.

Setiap tanaman mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap pencemaran udara, yaitu bersifat toleran atau sensitif (Febrianti, 2019). Tanaman dapat meningkatkan produksi antioksidan antara lain berupa asam askorbat dan karotenoid sebagai mekanisme pertahanan terhadap cekaman oksidatif yang disebabkan oleh tingginya ROS (Malav *et al.*, 2022). Chaudhary and Rathore (2019) melaporkan bahwa asam askorbat pada tanaman *Ficus virens* dan *Ficus religiosa* meningkat pada lingkungan yang terpapar polutan udara.

Kemampuan toleransi tanaman terhadap pencemaran udara dapat dihitung menggunakan *Air Pollution Tolerance Index* (APTI) dan *Anticipated Performance Index* (API). Kurniati dan Irwanto (2015) menggunakan APTI dan API dalam mengevaluasi

kemampuan toleransi tanaman *Agathis dammara* dan *Swietenia macrophylla* di kampus ITB.

Penelitian tentang toleransi tanaman pohon terhadap pencemaran udara telah banyak dilakukan. Namun, penelitian mengenai pengaruh pencemaran udara khususnya gas CO terhadap tanaman hias jarang ditemui sebelumnya. Tanaman hias adalah jenis tanaman komoditas hortikultura yang sebagian atau secara keseluruhan mempunyai nilai estetika serta menciptakan rasa nyaman dan asri pada ruang tertutup maupun terbuka (Agastya dkk, 2022). Selain keindahan, tanaman hias juga dapat digunakan untuk meredam kebisingan, penyejuk iklim mikro, dan penyerap polutan (Bovi dan Naniek, 2013).

Tanaman hias yang digunakan pada penelitian ini adalah soka (*Ixora paludosa*), pucuk merah (*Syzygium oleana*), puring teri (*Codiaeum variegatum*), rombusa putih (*Tabernaemontana corymbosa*), adam hawa (*Rhoeo discolor*), dan lili paris (*Chlorophytum comosum*). Pemilihan tanaman didasarkan pada petunjuk teknis persyaratan tanaman sebagai standar bibit untuk lanskap perkotaan (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2020). Hasil pengamatan di beberapa ruas jalan dengan aktivitas kendaraan harian ramai di Kec. Tembalang dan Banyumanik menunjukkan bahwa tanaman tersebut merupakan tanaman dominan yang tumbuh pada kawasan tersebut dan termasuk dalam daftar tanaman yang direkomendasikan pada sistem jaringan jalan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05 Tahun 2012. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap enam spesies tanaman hias pada perlakuan kadar gas CO udara berbeda untuk mengkaji dan membandingkan kemampuan toleransi guna mendapatkan informasi tanaman hias yang tepat sebagai agen penyerap polutan di udara.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bulan Maret-Mei 2023. Pengujian secara biokimia terhadap sampel daun tanaman dilakukan di Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan, Departemen Biologi, Universitas Diponegoro.

2.1. Penentuan Titik Lokasi Penelitian

Penentuan titik lokasi di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik ditentukan berdasarkan jumlah kendaraan bermotor yang melintas setiap harinya, kemudian dilakukan pengukuran kadar gas CO pada lokasi tersebut dengan menggunakan alat CO meter. Selanjutnya dihitung nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan pengkategorian dari kadar gas CO udara berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia (2020).

Hasil pengukuran dan perhitungan tersebut ditentukan lokasi penelitian yang dipilih yaitu lokasi pertama dengan kadar $0 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan kategori nilai ISPU baik di Waduk Pendidikan Diponegoro, lokasi kedua $4008,18 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan kategori nilai ISPU sedang di Bundaran Undip Kec. Tembalang (Jl.

Prof Soedarto), dan lokasi ketiga 10020,45 µg/Nm³ dengan kategori nilai ISPU tidak sehat di Taman Monumen Ahmad Dahlan dan Hajid Kec. Banyumanik (Jl. Setia Budi No. 152).

2.2. Perhitungan Parameter Biokimia

Pengukuran pH daun dilakukan berdasarkan metode Malav *et al.* (2022) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 1 gram daun dihaluskan menggunakan mortar dan dilarutkan dalam 10 ml akuades. Ekstrak disentrifus dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit. pH *supernatant* diukur dengan menggunakan pH meter digital ATC PH-009.

Penentuan kadar air relatif dilakukan dengan metode gravimetri berdasarkan Salsabila dkk (2020) dengan sedikit modifikasi. 0,1 gram daun dikeringkan menggunakan oven Memmert® U110 selama 1 jam. Hasil data kemudian dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kadar Air Relatif (\%)} = \frac{\text{BB} - \text{BK}}{\text{BK}} \times 100$$

Keterangan :

BB : Bobot basah (gr)

BK : Bobot kering (gr)

Pengukuran kadar total klorofil dilakukan menggunakan metode spektrofotometri menurut Marimuthu and Magesh (2014) dengan sedikit modifikasi. Sebanyak 0,006 gram daun dihaluskan menggunakan mortar dan dilarutkan dengan 6 ml aseton 80%. Ekstrak disentrifus dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit. Absorbansi *supernatant* diukur pada panjang gelombang 646 nm dan 663 nm. Hasil data total klorofil dengan menjumlahkan klorofil a dan klorofil b dihitung berdasarkan rumus Lichtenthaler and Wellburn (1983), sedangkan total karotenoid dihitung berdasarkan Wellburn (1994):

$$C_{\text{Chla}'} (\text{mg/g}) = [12.21(D_{663}) - 2.81(D_{646})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$C_{\text{Chlb}'} (\text{mg/g}) = [20.13(D_{646}) - 5.03(D_{663})] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

$$C_{\text{Car}'} \left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \left[\frac{1000(D_{470}) - 3.27(C_{\text{Chla}'}) - 104(C_{\text{Chlb}'})}{198} \right] \times \frac{V}{1000 \times W}$$

Keterangan:

C_{Chla'} : kadar klorofil a (mg/L)

C_{Chlb'} : kadar klorofil b (mg/L)

C_{Car'} : kadar karotenoid (mg/L)

W : bobot sampel daun segar (g)

V : volume larutan ekstrak (ml)

D₄₇₀ : absorbansi pada λ 470

D₆₄₆ : absorbansi pada λ 646

D₆₆₃ : absorbansi pada λ 663

Penentuan kadar asam askorbat berdasarkan Karinda dkk (2013) dengan sedikit modifikasi. Larutan asam askorbat murni 99% dibuat dengan konsentrasi 10 ppm menggunakan pelarut akuades bebas CO₂.

Absorbansi larutan asam askorbat diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis Shimadzu 1240 pada panjang gelombang 200-400 nm. Hasil 1090

data penelitian ini diperoleh panjang gelombang maksimum 263 nm. Pembuatan kurva standar dengan pengenceran berseri menggunakan konsentrasi 0 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, dan 10 ppm. Lalu, larutan diukur pada panjang gelombang maksimum dan hasil data yang diperoleh dibuat grafik persamaan menggunakan Ms. Excel 2010, sehingga diperoleh rumus $y=0,1689x-0,0339$ (y = nilai absorbansi dan x = konsentrasi asam askorbat (mg/L)). Selanjutnya pengukuran asam askorbat dengan menggunakan 0,5 gram daun yang dihaluskan menggunakan mortar dan dilarutkan menggunakan akuades bebas CO₂. Ekstrak disentrifus dengan kecepatan 2500 rpm selama 20 menit. Absorbansi *supernatant* diukur pada panjang gelombang 263 nm. Hasil data yang diperoleh dihitung menggunakan rumus persamaan.

2.3. Perhitungan Air Pollution Tolerance Index (APTI)

Nilai *Air Pollution Tolerance Index* (APTI) dihitung berdasarkan rumus Singh and Rao (1983):

$$\text{APTI} = \frac{[A(T + P) + R]}{10}$$

Keterangan :

A : asam askorbat (mg/g)

T : total klorofil (mg/g)

P : pH daun

R : kadar air daun (%)

Penentuan kriteria APTI berdasarkan Liu and Ding, (2008) yang dimodifikasi Watson and Bai (2021):

Tabel 1. Kriteria *Air Pollution Tolerance Index* (APTI) pada Tanaman.

Nilai APTI	Kriteria
Nilai APTI > Mean APTI + SD	Tolerant
Mean APTI < Nilai APTI > Mean APTI + SD	Moderate
Mean APTI - SD < Nilai APTI > Mean APTI	Intermediate
Nilai APTI < Mean APTI - SD	Sensitive

2.4. Perhitungan Anticipated Performance Index (API)

Nilai *Anticipated Performance Index* (API) dihitung berdasarkan Malav *et al.* (2022):

$$\text{Skor (\%)} = \frac{\text{Nilai yang diperoleh tanaman (+)}}{\text{Nilai maksimum (16)}} \times 100$$

Kategori penilaian dan penentuan kriteria API dihitung menurut Yadav and Pandey (2020) (Tabel 2 dan 3).

2.5. Analisis Data

Data kuantitatif seperti kadar relatif air, asam askorbat, pH, total klorofil, karotenoid, dan APTI menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA) untuk mendapatkan seberapa berpengaruh atau signifikansi pada perlakuan kadar gas CO berbeda pada masing-masing lokasi penelitian terhadap hasil parameter biokimia dan perhitungan APTI dari spesies tanaman hias. Uji lanjutan DMRT digunakan untuk membandingkan nilai rata-rata parameter biokimia

dan APTI dari spesies tanaman hias pada kadar gas CO di lokasi berbeda.

Tabel 2. Kategori Penilaian *Anticipated Performance Index* (APTI)

Penilaian	Karakter	Pola Penilaian	Nilai	
Toleransi	APTI	5.0 – 6.0	+	
		6.1 – 7.0	++	
		7.1 – 8.0	+++	
		8.1 – 9.0	++++	
		9.1 – 10.0	+++++	
Biologi dan Sosio-ekonomi	Habitus Tanaman	Kecil	-	
		Sedang	+	
		Besar	++	
	Struktur Kanopi	<i>Sparse/irregular/globular</i>	-	
		<i>Spreading crown/open/semi-dense</i>	+	
		<i>Spreading dense</i>	++	
	Tipe tanaman	<i>Deciduous</i>	-	
		<i>Evergreen</i>	+	
	Struktur Daun	Size	Kecil	-
			Sedang	+
		Besar	++	
		Texture	<i>Smooth</i>	-
			<i>Coriaceous</i>	+
		Hardiness	<i>Delineate</i>	-
	<i>Hardy</i>		+	
Nilai Ekonomi	<3 Kegunaan	-		
	3 – 4 Kegunaan	+		
	>4 Kegunaan	++		

Tabel 3. Kriteria *Anticipated Performance Index* (API).

Nilai	Skor (%)	Kriteria
0	<30	<i>Not Suggested for Plantation</i>
1	31-40	<i>Very Poor</i>
2	41-50	<i>Poor</i>
3	51-60	<i>Moderate</i>
4	61-70	<i>Good</i>
5	71-80	<i>Very Good</i>
6	81-90	<i>Excellent</i>
7	91-100	<i>Best</i>

Tabel 4. Rerata Kadar Asam Askorbat pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)	
<i>R. discolor</i>	0,002±0,000	0,001±0,002	0,002±0,000	0,002 ^a
<i>C. comosum</i>	0,006±0,002	0,005±0,006	0,005±0,036	0,005 ^b
<i>I. paludosa</i>	0,009±0,015	0,006±0,005	0,007±0,011	0,007 ^c
<i>T. corymbosa</i>	0,008±0,015	0,007±0,011	0,007±0,012	0,007 ^c
<i>C. variegatum</i>	0,011±0,015	0,010±0,010	0,007±0,014	0,009 ^d
<i>S. oleana</i>	0,019±0,018	0,018±0,015	0,018±0,015	0,018 ^e
Rerata	0,009 ^x	0,008 ^y	0,008 ^y	

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% ($\alpha=0.05$).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian terhadap enam spesies tanaman hias yaitu tanaman *I. paludosa*, *S. oleana*, *C. variegatum*, *T. corymbosa*, *R. discolor*, dan *C. comosum* dengan perlakuan kadar gas CO dengan kategori nilai ISPU baik (0 µg/Nm³), sedang (4008,18 µg/Nm³), dan tidak sehat (10020,45 µg/Nm³) diperoleh hasil sebagai berikut:

3.1. Kadar Asam Askorbat

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap kadar asam askorbat pada tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO dan spesies tanaman berpengaruh terhadap kadar asam askorbat. Kadar asam askorbat tanaman

hias yang hidup pada kadar gas CO kategori sedang dan tidak sehat lebih rendah dibandingkan dengan kadar gas CO kategori baik, sedangkan untuk kadar asam askorbat pada lokasi kadar gas CO dengan kategori sedang dan tidak sehat tidak menunjukkan perbedaan kadar asam askorbat. Kadar asam askorbat tanaman hias dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *R. discolor*, *C. comosum*, *I. paludosa*, *T. corymbosa*, *C. variegatum*, dan *S. oleana* (Tabel 4).

Asam askorbat merupakan antioksidan yang berperan dalam mekanisme pertahanan tanaman dari cekaman lingkungan. Kadar asam askorbat daun pada lokasi dengan kategori kadar gas CO sedang dan tidak sehat terjadi penurunan karena adanya aktivitas pertahanan tanaman terhadap cekaman gas CO,

sehingga kadar asam askorbat menurun seiring dengan meningkatnya kadar gas CO.

Paparan gas CO masuk ke sel daun dengan cara berdifusi. Menurut Muneer *et al.* (2014) gas CO di dalam sel mempunyai afinitas yang lebih tinggi dibandingkan oksigen (O_2), sehingga mudah berinteraksi dengan sitokrom pada rantai transport elektron (RTE) di mitokondria dengan cara menggeser O_2 dari situs pengikatan. Hal tersebut mengakibatkan O_2 terperangkap dalam situs-situs lain RTE, sehingga mengakibatkan akumulasi elektron yang tidak stabil dan meningkatkan pembentukan radikal superoksida ($O_2^{\cdot-}$). Selain itu, penumpukan elektron yang tidak stabil pada kompleks protein mengakibatkan terjadinya reaksi redoks yang membentuk hidrogen peroksida (H_2O_2).

Akumulasi ROS berlebih mengganggu aktivitas biokimia dan fisiologis pada tanaman. Oleh karena itu, tanaman membutuhkan mekanisme pertahanan dengan antioksidan. Menurut Bharti *et al.* (2018), asam askorbat merupakan antioksidan non-enzimatis yang mampu menghambat pembentukan senyawa ROS seperti HSO_3^- , H_2O_2 , 1O_2 , OH^- , dan $O_2^{\cdot-}$. Sesuai dengan pernyataan Saed-Mouchesia *et al.* (2014) bahwa asam askorbat dalam kondisi normal sebagian besar terakumulasi di kloroplas dalam bentuk yang tereduksi yaitu asam L-askorbat. Antioksidan ini mampu mendonorkan elektron untuk reaksi enzimatik dan non-enzimatik dalam upaya detoksifikasi terhadap ROS. Aktivitas asam askorbat dalam mereduksi ROS dibantu oleh adanya reaksi enzim askorbat peroksidase (APX) (Das and Roychoudhury, 2014). Asam askorbat digunakan sebagai substrat utama dengan stabilitas dan fungsi yang tepat dalam jalur siklik reaksi enzimatik APX, yaitu dengan cara mengubah H_2O_2 menjadi air (H_2O) dan oksigen (O_2) (Novita dkk, 2021).

Menurut Rai and Panda (2013), kadar asam askorbat yang rendah pada tanaman terjadi karena jumlah asam askorbat yang telah diproduksi selanjutnya digunakan untuk proses penurunan dan penghilangan radikal bebas sitotoksik di dalam jaringan daun. Hasil penelitian Olkhovych *et al.* (2016) menunjukkan bahwa emisi kendaraan bermotor mampu menimbulkan cekaman oksidatif dan menurunkan asam askorbat daun sebesar 70%. Selain itu, cekaman oksidatif diduga dapat mengganggu proses regenerasi asam askorbat dalam siklus *ascorbate-glutathione* yang telah digunakan dalam proses menurunkan aktivitas ROS.

Regenerasi asam askorbat dilakukan melalui bantuan enzim monodehidroaskorbat reduktase (MDHAR) dan dehidroaskorbat reduktase (DHAR) (Das and Roychoudhury, 2014). Proses regenerasi dengan bantuan kinerja enzimatik sangat dipengaruhi oleh kondisi pH seluler, beberapa enzim dalam siklus *ascorbate-glutathione* seperti APX, MDHAR, dan DHAR bekerja pada pH berkisar 7-8 (Falusi *et al.*, 2016). Hasil penelitian Taneer and Albert (2013) menunjukkan bahwa paparan polutan udara dan cekaman oksidatif dapat menurunkan pH sel menjadi

asam, sehingga efisiensi konversi gula heksosa menjadi asam askorbat terganggu.

Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian Bandara and Dissanayake (2021) yang menunjukkan bahwa kadar asam askorbat daun *Madhuca longifolia* dan *Cassia fistula* turun pada lokasi yang terdapat polusi. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Balasubramanian *et al.* (2018) bahwa kadar asam askorbat daun *Albizia lebbek*, *Albizia saman*, dan *Alstonia scholaris* yang hidup pada lokasi tidak tercemar adalah 6,15 mg/g, 6,69 mg/g, dan 7,42 mg/g, sedangkan kadar asam askorbat pada kawasan industri yang tercemar turun secara berturut-turut diperoleh yaitu 5,84 mg/g, 5,62 mg/g, dan 6,18 mg/g.

Enam spesies tanaman hias menunjukkan hasil nilai rata-rata kadar asam askorbat berbeda. Hal ini dikarenakan setiap spesies tanaman yang digunakan dalam penelitian mempunyai faktor genetik yang berbeda dalam kemampuannya untuk mensintesis asam askorbat. Tanaman *S. oleana* mempunyai rata-rata kadar asam askorbat yang tinggi jika dibandingkan dengan spesies lainnya dalam penelitian. Hal ini diduga berkaitan dengan karakter habitus tanaman. Rata-rata kadar asam askorbat diperoleh tertinggi pada *S. oleana* dengan habitus perdu dan batang berkayu, sedangkan *I. paludosa*, *C. variegatum*, dan *T. corymbosa* dengan habitus semak diperoleh kadar asam askorbat yang lebih rendah. Tanaman *R. discolor* dan *C. comosum* dengan habitus herba mempunyai kadar asam askorbat lebih rendah dibandingkan tanaman berhabitus perdu dan semak dalam penelitian ini.

Tanaman berkayu diduga mempunyai kemampuan sintesis asam askorbat yang lebih tinggi dibandingkan tanaman non-kayu. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Biliska *et al.* (2019) bahwa tanaman pohon dan perdu mampu tumbuh lebih tinggi dibandingkan tanaman semak dan herba, sehingga tanaman pohon dapat menyerap cahaya matahari lebih optimal tanpa terhalang oleh tanaman lain. Penyerapan cahaya yang optimal pada tanaman pohon dapat meningkatkan ekspresi L-galaktono-1,4-lakton (GalLDH) yaitu enzim yang berperan dalam jalur biosintesis asam askorbat. Oleh karena itu, kandungan asam Askorbat pada tanaman berkayu umumnya diperoleh tinggi pada daun bagian kanopi atas dan tengah.

3.2. Kadar Karotenoid

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap kadar karotenoid pada tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO tidak berpengaruh terhadap kadar karotenoid. Perlakuan spesies tanaman berpengaruh terhadap kadar karotenoid. Kadar karotenoid pada lokasi kadar gas CO dengan kategori baik, sedang, dan tidak sehat tidak terdapat perbedaan. Kadar karotenoid tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *R. discolor*, *C. comosum*, *C. variegatum*, *I. paludosa*, *T. corymbosa*, dan *S. oleana* (Tabel 5).

Kadar karotenoid tidak didapati perubahan pada lokasi dengan kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat. Berkebalikan dengan kadar asam askorbat, kadar karotenoid yang tidak berbeda pada lokasi dengan kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat disebabkan karena mekanisme perlindungan dari asam askorbat. Menurut Taibi *et al.* (2016), karotenoid berfungsi sebagai pengumpul energi cahaya untuk fotosintesis. Hasil penelitian Meriem (2013) menunjukkan bahwa paparan polutan udara yang tinggi pada tanaman dapat menginduksi sintesis ROS berlebih seperti H₂O₂, O₂⁻, dan ¹O₂ di bagian kloroplas yang mengakibatkan aktivitas fotosintesis terganggu. Hal tersebut dikarenakan akumulasi senyawa ROS dapat mengoksidasi komponen yang terlibat dalam fotosistem seperti pigmen dan kompleks protein.

Tabel 5. Rerata Kadar Karotenoid pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)	
<i>R. discolor</i>	0,03±0,001	0,04±0,001	0,04±0,002	0,04 ^a
<i>C. comosum</i>	0,10±0,001	0,09±0,004	0,10±0,001	0,10 ^b
<i>C. variegatum</i>	0,09±0,006	0,12±0,003	0,10±0,006	0,10 ^b
<i>I. paludosa</i>	0,09±0,012	0,22±0,004	0,17±0,004	0,16 ^c
<i>T. corymbosa</i>	0,23±0,004	0,19±0,003	0,20±0,003	0,21 ^c
<i>S. oleana</i>	0,23±0,011	0,24±0,006	0,23±0,005	0,23 ^c
Rata-rata	0,13	0,15	0,14	

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% (α=0.05).

Pigmen karotenoid diketahui berperan sebagai antioksidan non-enzimatik, namun mempunyai tingkat stabilitas lebih rendah jika dibandingkan asam askorbat sehingga dapat rusak ketika terjadi cekaman lingkungan yang tinggi (Ali *et al.*, 2015). Pigmen karotenoid dapat teroksidasi oleh akumulasi senyawa ROS berlebih di kloroplas. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Pimple (2017) bahwa cekaman oksidatif akibat polutan udara dapat merusak pigmen fotosintesis di kloroplas melalui proses oksidasi, reduksi, dan berbagai reaksi kimia lainnya.

Menurut Das and Roychoudhury (2014), karotenoid yang tereduksi karena telah digunakan dalam proses menurunkan akumulasi ROS dapat diaktifkan kembali aktivitasnya dengan bantuan asam askorbat substansial di kloroplas. Asam askorbat dapat membantu regenerasi karotenoid yang telah tereduksi maupun teroksidasi agar stabil kembali. Sesuai pernyataan Jomova and Valko (2013) bahwa asam askorbat sebagai agen pereduksi dapat membantu regenerasi karotenoid dengan mendonorkan elektron agar tidak terjadi proses oksidasi lanjutan. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Ghazal and Shahhat (2013) bahwa pemberian asam askorbat eksogen berpengaruh terhadap kandungan karotenoid pada biji *Lupinus termis* L, semakin tinggi konsentrasi asam askorbat

yang diberikan maka kandungan karotenoid semakin meningkat.

Perbedaan kadar karotenoid enam spesies tanaman hias dalam penelitian diakibatkan oleh faktor genetik dan morfologi daun yang berbeda. Tanaman *S. oleana* mempunyai kadar karotenoid lebih tinggi jika dibandingkan dengan spesies lainnya. Hal ini dapat dilihat karakteristik daun yang berwarna jingga hingga merah saat masih muda dan hijau saat sudah dewasa. Hal tersebut sesuai dengan Saber *et al.* (2023) bahwa daun tanaman famili Myrtaceae umumnya mempunyai kandungan karoten yang beragam seperti β-karoten, zeaxanthin, lutein, violaxanthin, dan antheraxanthin. Sebaliknya, kadar karotenoid terendah diperoleh pada *R. discolor* karena kandungan antosianin lebih tinggi dibandingkan karotenoid. Hal ini dapat dilihat dari karakteristik daun yang berwarna ungu kemerahan pada bagian permukaan bawah dan sebagian permukaan atas daun. Sesuai pernyataan Latih dan Rahayu (2017) bahwa daun adam hawa mempunyai kandungan antosianin yang dominan dibandingkan pigmen lainnya.

3.3. Kadar Total Klorofil

Analisis data menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap kadar total klorofil tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO tidak berpengaruh terhadap kadar total klorofil, sedangkan spesies tanaman berpengaruh terhadap kadar total klorofil. Kadar total klorofil pada lokasi kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat tidak terdapat perbedaan. Kadar karotenoid tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *R. discolor*, *C. variegatum*, *C. comosum*, *I. paludosa*, *S. oleana*, dan *T. corymbosa* (Tabel 6).

Tabel 6. Rerata Kadar Total Klorofil (mg/g) pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)	
<i>R. discolor</i>	0,27±0,03	0,38±0,02	0,44±0,05	0,36 ^a
<i>C. variegatum</i>	0,54±0,09	0,53±0,10	0,68±0,04	0,58 ^a
<i>C. comosum</i>	1,04±0,03	1,08±0,06	1,05±0,04	1,06 ^b
<i>I. paludosa</i>	1,80±0,03	1,99±0,09	1,50±0,03	1,76 ^c
<i>S. oleana</i>	2,32±0,17	1,84±0,10	1,90±0,11	2,02 ^{cd}
<i>T. corymbosa</i>	2,26±0,07	2,05±0,06	2,17±0,07	2,16 ^d
Rerata	1,37	1,31	1,29	

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% (α=0.05).

Kadar total klorofil enam spesies tanaman hias yang tidak berbeda pada lokasi dengan kategori gas CO baik, sedang, dan tidak sehat dimungkinkan karena tanaman mempunyai mekanisme pertahanan terhadap cekaman gas CO. Hasil penelitian Meriem (2013) menunjukkan bahwa paparan polutan udara yang tinggi pada tanaman dapat menginduksi sintesis produk ROS berlebih seperti H₂O₂, O₂⁻, dan ¹O₂ di

bagian kloroplas yang mengakibatkan aktivitas fotosintesis terganggu. Menurut Taibi *et al.* (2016), konsentrasi ROS yang tinggi di kloroplas juga dapat menghambat sintesis pigmen klorofil dan mengaktifkan enzim klorofilase untuk degradasi klorofil.

Asam askorbat berperan sebagai antioksidan yang melindungi pigmen klorofil dari akumulasi ROS berlebih akibat paparan gas CO. Hasil penelitian Novita dkk (2021) menunjukkan bahwa pemberian asam askorbat eksogen berpengaruh terhadap jumlah klorofil tanaman, semakin tinggi konsentrasi asam askorbat yang diberikan maka total klorofil yang diperoleh semakin meningkat. Menurut Saed-Mouchesia *et al.* (2014), asam askorbat menurunkan akumulasi ROS dengan mendonorkan elektronnya, sehingga produk ROS akan lebih stabil dan tidak mengoksidasi senyawa, molekul, maupun komponen lain yang ada di sel tanaman. Selain itu, menurut Falusi *et al.* (2016) reaksi asam askorbat dengan enzim askorbat peroksidase (APX) dan monodehidroaskorbat peroksidase (MDHAR) dapat menurunkan akumulasi H₂O₂ berlebih di kloroplas, sehingga pigmen klorofil dapat digunakan dalam fotosintesis secara maksimal.

Perbedaan total klorofil pada enam tanaman hias yang digunakan dalam penelitian dikarenakan setiap spesies mempunyai karakteristik genetik dan warna daun yang berbeda. *R. discolor* mempunyai daun berwarna hijau dengan corak garis berwarna merah keunguan pada permukaan atas daun dan warna merah keunguan pada permukaan bagian bawah, *C. variegatum* mempunyai warna daun hijau muda dan sedikit kekuningan, *C. comosum* mempunyai warna daun hijau dengan corak garis putih pada permukaan daun bagian atas dan warna hijau cenderung keputihan pada permukaan daun bagian bawah, *I. paludosa* mempunyai warna daun hijau mengkilap, *S. oleana* mempunyai warna daun hijau sedikit jingga, dan *T. corymbosa* mempunyai warna daun hijau kegelapan yang mengkilap.

T. corymbosa mempunyai kadar total klorofil tertinggi dibandingkan lima spesies lainnya. Menurut Handayani dkk (2019) hal tersebut dikarenakan *T. corymbosa* mempunyai karakteristik warna daun hijau gelap, semakin hijau warna daun menuju hijau kegelapan menunjukkan bahwa kandungan pigmen klorofil di dalamnya semakin tinggi juga. Sebaliknya, *R. discolor* mempunyai kandungan total klorofil rendah karena karakteristik daun berwarna ungu kemerahan yang menunjukkan bahwa jumlah pigmen antosianin lebih tinggi dibandingkan pigmen klorofil. Sesuai pernyataan Latih dan Rahayu (2017) bahwa daun adam hawa mempunyai kandungan antosianin yang dominan dibandingkan klorofil.

3.4. Kadar pH Daun

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap pH daun pada tanaman hias yang digunakan penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO tidak

berpengaruh terhadap pH daun, sedangkan spesies tanaman berpengaruh terhadap pH daun. PH daun pada lokasi kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat tidak terdapat perbedaan. PH daun tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *S. oleana*, *I. paludosa*, *C. variegatum*, *T. corymbosa*, *R. discolor*, dan *C. comosum* (Tabel 7).

Tabel 7. Rerata Kadar pH Daun pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)	
<i>S. oleana</i>	5,15±0,06	5,03±0,05	5,15±0,06	5,11 ^a
<i>I. paludosa</i>	5,65±0,24	5,48±0,07	5,70±0,05	5,61 ^b
<i>C. variegatum</i>	5,70±0,00	5,90±0,05	6,00±0,06	5,87 ^c
<i>T. corymbosa</i>	5,85±0,04	5,88±0,08	6,13±0,11	5,95 ^c
<i>R. discolor</i>	6,28±0,28	6,18±0,04	6,28±0,05	6,25 ^d
<i>C. comosum</i>	6,35±0,28	6,43±0,23 ^e	6,33±0,07	6,37 ^e
Rerata	5,83	5,82	5,93	

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% (α=0.05).

PH daun yang tidak berbeda pada lokasi dengan kategori gas CO baik, sedang, dan tidak sehat dikarenakan spesies tanaman hias dalam penelitian mempunyai mekanisme pertahanan terhadap cekaman gas CO. Keseimbangan pH di sel daun dapat terbentuk diduga karena adanya perlindungan dari asam askorbat. Paparan gas CO juga diketahui mampu mengakibatkan tersintesisnya produk radikal bebas dari ROS seperti O₂⁻ dan H₂O₂ di mitokondria. Akumulasi radikal bebas berlebih dapat menyebar ke seluruh bagian sel tanaman (Andarina dan Djauhari, 2017). Akumulasi ROS pada sitoplasma dapat mengganggu aktivitas enzimatik dari H⁺-ATPase yang berperan dalam pemompaan ion untuk keseimbangan pH sel (Zhang *et al.*, 2015).

Asam askorbat yang telah disintesis, selanjutnya digunakan untuk menurunkan ROS. Sesuai pernyataan Saed-Mouchesia *et al.* (2014) bahwa asam askorbat dapat mendonorkan elektronnya untuk ROS, sehingga senyawa tersebut tidak bersifat reaktif dan lebih stabil. Penurunan aktivitas ROS tersebut dapat membantu meminimalkan gangguan terhadap kinerja enzim H⁺-ATPase untuk pompa proton keluar dari sel. Hasil penelitian Rai (2016) menunjukkan bahwa gas CO dapat memasuki sel daun dengan berdifusi. Gas CO yang masuk dapat bereaksi dengan komponen biokimiawi seluler termasuk di antaranya adalah air, sehingga terbentuk asam bikarbonat yang akan mengalami reaksi redoks hingga menghasilkan ion H⁺ dan ion bikarbonat. Semakin banyak gas CO yang masuk ke sel maka akumulasi ion H⁺ meningkat dan mengakibatkan pH turun menjadi asam.

Oleh karena itu, tanaman yang terpapar gas CO diduga beradaptasi dengan meningkatkan aktivitas enzimatik dalam menjaga keseimbangan pH di sel. Tanaman dapat meningkatkan ekspresi gen H⁺-ATPase untuk proses regulasi pH. Menurut Haruta *et*

al. (2015), gen H⁺-ATPase disintesis untuk mengaktifkan enzim H⁺-ATPase pada membran plasma sebagai transporter dalam translokasi ion H⁺ keluar dari sel. Proses translokasi tersebut mengakibatkan pH yang awalnya turun akan naik kembali ke keadaan pH optimal sel. Hasil penelitian Zhang *et al.* (2015) menunjukkan bahwa induksi pH rendah terhadap akar tanaman *Oryza sativa* L. kultivar Yongyou 12 dan Zhongzheyu 1 dapat meningkatkan aktivitas enzim H⁺-ATPase dalam translokasi ion H⁺ keluar sel dan menyeimbangkan pH sitoplasma.

Perbedaan pH daun pada masing-masing spesies tanaman hias dalam penelitian ini disebabkan karena faktor genetik. PH daun yang tidak berbeda pada *C. variegatum* dan *T. corymbosa* dimungkinkan karena kedua tanaman tersebut mempunyai keseimbangan pH optimal yang hampir sama untuk dapat melangsungkan aktivitas metabolismenya di sel daun. Setiap spesies tanaman mempunyai pH optimal yang berbeda-beda untuk dapat melakukan aktivitas metabolismenya. Tanaman secara umum membutuhkan pH berkisar 5-7 untuk bertahan hidup. Menurut Feng *et al.* (2020), sel tanaman mempunyai rata-rata pH sitosol berkisar 7,2-7,4, serta pH vakuola dan apoplas berkisar 5,0-5,5 untuk mengoptimalkan mekanisme biokimiawi. Sesuai pernyataan Lohe *et al.* (2015) bahwa tanaman yang dapat mempertahankan kisaran pH netral (antara 6 – 8) dapat dikategorikan sebagai tanaman toleran. Sebaliknya, tanaman dengan kisaran pH <6 cenderung mempunyai kemampuan toleransi yang rendah terhadap pencemaran udara.

3.5. Kadar Air Relatif

Analisis data menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara faktor perlakuan kadar gas CO dan spesies tanaman berbeda terhadap kadar air relatif pada tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO tidak berpengaruh terhadap kadar air relatif, sedangkan spesies tanaman berpengaruh terhadap kadar air relatif. Kadar air relatif pada lokasi kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat tidak terdapat perbedaan. Kadar air relatif tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *S. oleana*, *I. paludosa*, *T. corymbosa*, *C. variegatum*, *C. comosum*, dan *R. discolor* (Tabel 8).

Tabel 8. Rerata Kadar Air Relatif (%) pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)	
<i>S. oleana</i>	47,28±0,29	53,73±0,18	48,03±0,18	49,68 ^a
<i>I. paludosa</i>	57,95±0,33	63,63±0,34	60,63±0,20	60,74 ^b
<i>T. corymbosa</i>	71,95±0,29	75,80±0,17	74,00±0,20	73,92 ^c
<i>C. variegatum</i>	82,40±0,14	82,15±0,20	80,83±0,24	81,79 ^d
<i>C. comosum</i>	81,92±2,42	85,06±0,35	83,48±0,39	83,49 ^d
<i>R. discolor</i>	95,30±0,29	95,00±0,50 ^e	94,50±0,09	94,93 ^e
Rerata	72,80	75,90	73,58	

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% (α=0.05).

Kadar air relatif yang tidak berbeda pada lokasi dengan kategori gas CO baik, sedang, dan tidak sehat disebabkan tanaman hias dalam penelitian mempunyai mekanisme pertahanan terhadap cekaman gas CO. Keseimbangan air di sel daun dapat terbentuk diduga karena adanya perlindungan dari asam askorbat. Paparan gas CO diketahui mampu mengakibatkan tersintesisnya produk radikal bebas seperti O₂⁻ dan H₂O₂ di mitokondria. Akumulasi radikal bebas berlebih dapat menyebar ke seluruh bagian sel tanaman. Menurut Andarina dan Djauhari (2017) radikal bebas dapat merusak lipid membran melalui proses peroksidasi lipid, sehingga terjadi perubahan permeabilitas membran yang mengganggu aktivitas transpor ion, molekul, dan senyawa yang dibutuhkan oleh sel.

Peroksidasi lipid dapat menghambat aktivitas kerja aquaporin, yaitu protein yang berfungsi dalam memfasilitasi pergerakan keluar dan masuknya air di membran sel sehingga keseimbangan air terganggu (Mansour, 2013). Asam askorbat yang telah disintesis digunakan sebagai antioksidan untuk memutus reaksi oksidasi berantai pada peroksidasi lipid. Sesuai pernyataan Saed-Mouchesia *et al.* (2014), asam askorbat dapat mendonorkan elektronnya untuk menurunkan ROS, sehingga proses oksidasi dapat terhenti. Selain hal tersebut, tanaman juga diduga beradaptasi terhadap cekaman gas CO dengan meningkatkan aktivitas enzimatik untuk menjaga keseimbangan air di sel. Menurut Shivaraj *et al.* (2021), tanaman dapat meningkatkan ekspresi gen protein intrinsik membran plasma (PIP) aquaporin untuk memfasilitasi pergerakan saluran aquaporin dalam mempertahankan aktivitas biologis dan status air dalam tanaman. Hasil penelitian Li *et al.* (2016) menunjukkan bahwa tanaman tomat transgenik dapat bertahan pada kondisi cekaman oksidatif akibat kekeringan dengan melibatkan ekspresi gen SIPIP2;7 aquaporin untuk membantu meningkatkan aktivitas kerja aquaporin dalam memelihara keseimbangan osmotik dan kandungan air di sel.

Perbedaan kandungan air pada setiap spesies dapat dipengaruhi oleh struktur daun. Karakteristik daun sangat menentukan kemampuan daun dalam mempertahankan kandungan air. Semakin tebal daun menunjukkan bahwa kandungan air yang terdapat di dalamnya juga tinggi. Pada penelitian ini daun *R. discolor*, *C. comosum*, dan *C. variegatum* mempunyai karakter daging daun yang berdaging cukup tebal, sedangkan daun *S. oleana*, *I. paludosa*, dan *T. corymbosa* mempunyai karakter daun yang tipis seperti kertas. *R. discolor* mempunyai kandungan air tertinggi jika dibandingkan dengan lima spesies lainnya dalam penelitian. Hal tersebut sesuai dengan Jepriani dan Maulana (2022) bahwa daun adam hawa (*R. discolor*) mempunyai daun tunggal yang tebal dan berdaging. Sebaliknya, *S. oleana* mempunyai kandungan air yang paling rendah dalam penelitian. Hal tersebut sesuai pernyataan Saputra dkk (2023), daun *S. oleana* mempunyai karakteristik daun yang

tipis seperti kertas dan cenderung keras, sehingga kapasitas sel daun dalam menyimpan air cenderung sedikit. Hasil penelitian Anake *et al* (2022) menunjukkan bahwa tujuh dari delapan spesies tanaman toleran di lokasi terpolusi industri mempunyai kadar air relatif >40%. Enam spesies tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai nilai kadar air relatif >40%, sehingga tanaman tetap dapat bertahan hidup pada kondisi pencemaran udara.

3.6. Nilai Air Pollution Tolerance Index (APTI)

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat interaksi antara kadar gas CO dan spesies tanaman terhadap nilai APTI tanaman hias yang digunakan dalam penelitian ini. Perlakuan kadar gas CO tidak berpengaruh terhadap nilai APTI, sedangkan spesies tanaman berpengaruh terhadap nilai APTI. Nilai APTI pada lokasi kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat tidak terdapat perbedaan. Nilai APTI tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *S. oleana*, *I. paludosa*, *T. corymbosa*, *C. variegatum*, *C. comosum*, dan *R. discolor* (Tabel 9).

Nilai APTI yang tidak berbeda pada lokasi kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat dikarenakan data yang diperoleh dari parameter biokimia seperti pH daun, kadar air relatif, total klorofil, dan asam askorbat mempunyai selisih nilai yang tidak jauh berbeda. Menurut Bui *et al.* (2023), perbedaan hasil nilai APTI pada spesies tanaman dipengaruhi oleh kemampuan tanaman tersebut dalam menjaga keseimbangan empat parameter fisiologis meliputi pH, kadar air relatif, total klorofil, dan asam askorbat.

Tanaman *R. discolor* termasuk kriteria *tolerant*. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman *R. discolor* mempunyai tingkat kemampuan toleransi sangat baik terhadap pencemaran udara jika dibandingkan dengan tanaman *C. comosum*, *C. variegatum*, *T. corymbosa*, *I. paludosa*, dan *S. oleana*. Tanaman *C. comosum*, *C. variegatum*, dan *T. corymbosa* mempunyai nilai APTI kriteria *moderate*. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga tanaman tersebut mempunyai tingkat kemampuan toleransi baik terhadap pencemaran udara jika dibandingkan dengan tanaman *I. paludosa* dan *S. oleana*. Tanaman *I. paludosa* didapati nilai APTI kriteria *intermediate*. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman *I. paludosa*

mempunyai tingkat kemampuan toleransi cukup baik terhadap pencemaran udara. Tanaman *S. oleana* didapati nilai APTI kategori *sensitive*. Meskipun termasuk ke dalam kategori sensitif, tanaman *S. oleana* masih dapat bisa bertahan hidup di wilayah yang terpolusi. Sesuai dengan penelitian Febrianti (2019) bahwa tanaman dengan kategori sensitif masih dapat bertahan hidup pada lokasi terpapar pencemaran udara, namun memungkinkan bahwa rasio dan laju pertumbuhannya akan relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan tanaman yang toleran.

Menurut Qonita dkk (2016) tanaman yang tidak toleran terhadap polutan dapat mengalami cekaman oksidatif, sehingga terjadi perubahan secara fisiologis yang berakibat pada penurunan nilai APTI. Sebaliknya Oyungerel *et al.* (2022), tanaman yang dapat bertahan terhadap cekaman dapat memaksimalkan proses metabolisme melalui peningkatan aktivitas fisiologis terutama pada sintesis antioksidan sehingga tanaman dapat bertahan hidup dan perhitungan nilai APTI yang diperoleh akan meningkat.

Tanaman *R. Discolor*, *C. comosum*, *C. variegatum*, *T. Corymbosa*, dan *I. Paludosa* dapat direkomendasikan sebagai agen penyerap pencemaran udara. Sesuai dengan pernyataan Uka *et al.* (2019) bahwa tanaman dengan kemampuan toleransi *intermediate* hingga *tolerant* dapat digunakan sebagai spesies *green belt* untuk membantu penyerapan pencemaran udara di atmosfer kawasan perkotaan dan pinggiran kota. Sebaliknya, menurut Kurniati dan Irwanto (2015), tanaman kategori sensitif dapat dijadikan sebagai agen bioindikator terhadap perubahan pencemaran udara di lingkungan.

3.7. Nilai Anticipated Performance Index (API)

Hasil perhitungan dengan metode *Anticipated performance Index* (API) menunjukkan bahwa secara umum nilai API pada lokasi dengan kategori kadar gas CO baik, sedang, dan tidak sehat cenderung tidak berbeda satu lain, kecuali pada *I. paludosa* pada lokasi dengan kategori kadar gas CO baik dan *S. oleana* pada lokasi dengan kategori kadar gas CO sedang. Nilai API tanaman hias secara berturut-turut dari yang terendah hingga tertinggi yaitu *I. paludosa*, *C. variegatum*, *S. oleana*, *T. corymbosa*, *C. comosum*, dan *R. discolor* (Tabel 10).

Tabel 9. Rerata Nilai APTI pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata	Kriteria
	Baik (0 µg/Nm ³)	Sedang (4008,18 µg/Nm ³)	Tidak Sehat (10020,45 µg/Nm ³)		
<i>S. oleana</i>	4,74±0,09	5,38±0,11	4,81±0,06	4,98 ^a	<i>Sensitive</i>
<i>I. paludosa</i>	5,80±0,10	6,37±0,11	6,07±0,06	6,08 ^b	<i>Intermediet</i>
<i>T. corymbosa</i>	7,20±0,13	7,58±0,05	7,40±0,06	7,39 ^c	<i>Moderate</i>
<i>C. variegatum</i>	8,25±0,05	8,22±0,06	8,09±0,08	8,19 ^d	<i>Moderate</i>
<i>C. comosum</i>	8,20±0,76	8,51±0,11	8,35±0,12	8,35 ^d	<i>Moderate</i>
<i>R. discolor</i>	9,53±0,09	9,50±0,16	9,45±0,03	9,49 ^e	<i>Tolerant</i>
Rerata	7,29	7,59	7,36		

Ket: Bilangan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji DMRT taraf signifikansi 95% (α=0.05).

Tabel 10. Nilai API pada Tanaman Hias dengan Perlakuan Kadar Gas CO dan Spesies Tanaman yang Berbeda.

Spesies Tanaman	Kategori Nilai ISPU Kadar Gas CO			Rerata	Kriteria
	Baik	Sedang	Tidak Sehat		
<i>I. paludosa</i>	43,75	50,00	50,00	47,92	Poor
<i>C. variegatum</i>	50,00	50,00	50,00	50,00	Poor
<i>S. oleana</i>	50,00	56,25	50,00	52,08	Moderate
<i>T. corymbosa</i>	56,25	56,25	56,25	56,25	Moderate
<i>C. comosum</i>	56,25	56,25	56,25	56,25	Moderate
<i>R. discolor</i>	62,50	62,50	62,50	62,50	Good

Enam tanaman hias pada lokasi dengan kategori kadar gas CO udara baik, sedang, dan tidak sehat secara umum dijumpai dalam jumlah persentase nilai API yang sama. Persentase nilai API menentukan kemampuan tanaman untuk direkomendasikan sebagai agen penyerap polusi udara. Hal tersebut dikarenakan hasil skor parameter biologi dan sosio-ekonomi untuk satu spesies tanaman hias pada setiap perlakuan kadar gas CO adalah sama, sehingga skor yang dapat menentukan perbedaan nilai API terdapat pada nilai APTI.

Tanaman *R. discolor* termasuk kriteria *good*, sehingga mempunyai kinerja yang cukup bagus dalam toleransi terhadap pencemaran udara. Tanaman *C. comosum*, *T. corymbosa*, dan *S. oleana* termasuk kategori *moderate*. Hal tersebut menunjukkan bahwa tanaman tersebut mempunyai kinerja yang cukup bagus dalam toleransi terhadap pencemaran udara meskipun tidak sebaik *R. Discolor*. Tanaman *C. variegatum* dan *I. paludosa* termasuk kriteria *poor*. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan toleransi tanaman terhadap pencemaran udara tanaman kurang.

Menurut Sharma *et al* (2020), setiap spesies tanaman mempunyai kemampuan berbeda dalam mengontrol adanya pencemaran udara sesuai dengan karakteristik densitas kanopi dan karakter morfologi yang dimiliki. Sesuai dengan pernyataan Anake *et al.* (2019) bahwa tanaman dengan kategori *good* dan *moderate* menunjukkan kriteria kemampuan kerja yang bagus dalam menyerap polusi sehingga dapat direkomendasikan sebagai tanaman yang dibudidayakan untuk spesies *green belt*. Sebaliknya, menurut Kwak *et al* (2020) persentase nilai API yang rendah menunjukkan bahwa tanaman kurang sesuai direkomendasikan sebagai agen penyerap dan pengontrol pencemaran udara pada ruangan terbuka. Namun, tanaman dengan kategori *poor* masih dapat ditanam pada ruang terbuka sebagai tanaman pendamping dari elemen lanskap utama dengan tanaman yang mempunyai kriteria nilai API baik. Selain itu, tanaman dengan kriteria *poor* dapat digunakan menjadi tanaman hias ekologis pada *indoor* dan *outdoor* ruang terbuka hijau privat pada rumah.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap enam spesies tanaman hias dapat disimpulkan bahwa

tanaman hias yang mempunyai kemampuan toleransi terhadap gas CO menurut perhitungan APTI dan nilai rekomendasi API sebagai agen penyerap polutan terbaik adalah *R. discolor*.

Penelitian ini mempunyai keterbatasan pada spesies tanaman yang diujikan yaitu hanya meliputi enam spesies tanaman hias saja. Diharapkan kedepannya penelitian dapat dikembangkan dalam beberapa aspek yaitu durasi penelitian diperpanjang, pengambilan sampel yang dilakukan di musim yang berbeda, dan pengambilan sampel pada kurun waktu berbeda (pagi, siang, atau sore) sehingga faktor lingkungan lain yang turut berpengaruh dapat diketahui lebih jelas.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan dana penelitian yang diberikan melalui Hibah Penelitian Mahasiswa Dana Selain APBN Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro dengan kontrak penelitian nomor 40.A1/UN7.F8/PP/II/2023.

DAFTAR PUSTAKA

Agastya, P., Wijayanti, P. U., dan Artini, N. W. P. 2022. Potensi Pengembangan Usaha Tanaman Hias di Desa Petiga, Kecamatan Marga, Kabupaten Tabanan. *Jurnal Agribisnis dan Agrowisata* 11(1): 1-12.

Ali, S., Chaudhary, A., Rizwan, M., Anwar, H. T., Adrees, M., Farid, M., Irshad, M. K., Hayat, T., and Anjum, S. A., (2015), Alleviation of Chromium Toxicity By Glycinebetaine Is Related To Elevated Antioxidant Enzymes and Suppressed Chromium Uptake and Oxidative Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 10669-10678.

Anake, W. U., Bayode, F. O., Jonathan, H. O., Omonhinmin, C. A., Odetunmibi, O. A., and Anake, T. A., (2022), Screening of Plant Species Response and Performance For Green Belt Development: Implications for Semi-Urban Ecosystem Restoration, *Sustainability*, 14(7): 1-14.

Andarina, R., dan Djauhari, T., (2017), Antioksidan Dalam Dermatologi, *Jurnal Kedokteran dan Kesehatan: Publikasi Ilmiah Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya*, 4(1), 39-48.

Balasubramanian, A., Prasath, C. N., Gobalakrishnan, K., and Radhakrishnan, S., (2018), Air Pollution Tolerance Index (APTI) Assessment In Tree Species Of Coimbatore Urban City, Tamil Nadu, India. *International Journal of Environment and Climate Change*, 8(1), 27-38.

Bandara, W. A. R. T. W., and Dissanayake, C. T. M., (2021), Most Tolerant Roadside Tree Species For Urban Settings In Humid Tropics Based on Air Pollution Tolerance Index, *Urban Climate*, 37, 1-10.

Bharti, S. K., Trivedi, A., and Kumar, N., (2018), Air Pollution Tolerance Index of Plants Growing Near an Industrial Site, *Urban climate*, 24, 820-829.

Bilska, K., Wojciechowska, N., Alipour, S., and Kalemba, E. M., (2019), Ascorbic Acid-The Little-Known Antioxidant in Woody Plants, *Antioxidants*, 8(12), 1-23.

Bovi, R. A. C., dan Naniek, R. J. A. R. 2013. Tingkat Kemampuan Penyerapan Tanaman Hias Dalam

- Menurunkan Polutan Karbon Monoksida. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 4(1): 54-60.
- Bui, H. T., Jeong, N. R., and Park, B. J., (2023), Seasonal Variations of Particulate Matter Capture and the Air Pollution Tolerance Index of Five Roadside Plant Species, *Atmosphere*, 14(1), 138.
- Cahyaningrum, A. M. dan Arif, M. S. 2022. Gambaran Indeks Eritrosit Pada Pekerja Parkir Basement Mall di Kota Semarang. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Karya Putra Bangsa* 4(1): 1-8.
- Chaudhary, I. J., and Rathore, D. 2019. Dust Pollution: Its Removal And Effect On Foliage Physiology Of Urban Trees. *Sustainable Cities and Society* 51: 101696.
- Das, K., and Roychoudhury, A., (2014), Reactive oxygen species (ROS) and Response of Antioxidants As ROS-Scavengers During Environmental Stress in Plants, *Frontiers in environmental science*, 2(53), 1-13.
- Dewatisari, W. F. dan Lyndiani, M. 2015. Kemampuan Kultivar Sansevieria Trifasciata Dalam Menyerap Gas Karbonmonoksida (CO) Asap Rokok. *Ekosains* 7(03): 99-107.
- Falusi, B. A., Odedokun, O. A., Abubakar, A., and Agoh, A., (2016), Effects of Dumpsites Air Pollution on The Ascorbic Acid and Chlorophyll Contents of Medicinal Plants, *Cogent Environmental Science*, 2(1), 1-13.
- Febrianti, A. M., (2019), Evaluasi Fungsi Fisik dan Toleransi Pohon Tepi Jalan Terhadap Polusi Udara di Lingkar Luar Kebun Raya Bogor, *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor.
- Feng, H., Fan, X., Miller, A. J., and Xu, G., (2020), Plant Nitrogen Uptake and Assimilation: Regulation of Cellular pH Homeostasis, *Journal of Experimental Botany*, 71(15), 4380-4392.
- Ghazal, G. M., and Shahhat, I. M. A., (2013), Polyphenols, Flavonoids, Carotenoids and Antioxidant Activity of Lupine (*Lupinus termis* L.) Seeds Affected by Vitamin C, Vitamin [B. sub. 3] and Turmeric Rhizomes Extract, *Advances in Environmental Biology*, 4914-4925.
- Handayani, C. N., Sukmono, A., dan Firdaus, H. S., (2020), Analisis Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Emisi CO₂ Oleh Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kelurahan Tembalang dan Sumurboto, *Jurnal Geodesi UNDIP*, 9(2), 198-207.
- Handayani, F., Apriliana, A., dan Natalia, H., (2019), Karakterisasi dan Skrining Fitokimia Siplisia Daun Selutui Puka (*Tabernaemontana macracarpa* Jack), *Jurnal Ilmiah Ibnu Sina*, 4(1), 49-58.
- Haruta, M., Gray, W. M., and Sussman, M. R., (2015), Regulation of The Plasma Membrane Proton Pump (H⁺-ATPase) by Phosphorylation, *Current Opinion In Plant Biology*, 28, 68-75.
- Hatamimanesh, M., Mortazavi, S., Solgi, E., and Mohtadi, A., (2021), Assessment of Tolerance of Some Tree Species to Air Contamination Using Air Pollution Tolerance and Anticipated Performance Indices in Isfahan City, Iran, *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 9(1), 31-44.
- Jepriani, N., dan Maulana, F., (2022), Pemanfaatan Tanaman Obat Tradisional Oleh Suku Dayak Ma'ayan Desa Kalamus Kecamatan Paku Kabupaten Barito Timur. *Jurnal Pendidikan Hayati*, 8(2).
- Karinda, M., Fatimawali, F., dan Citraningtyas, G., (2013), Perbandingan Hasil Penetapan Kadar Vitamin C Mangga Dodol dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis dan Iodometri, *PHARMACON*, 2(1), 86-89.
- Kurniati, C., dan Irwanto, R. R., (2015), Evaluasi Nilai APTI dan API pada *Swietenia macrophylla* dan *Agathis dammara* yang Terdapat di Kampus ITB Ganesha, Bandung, *In Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(7), 1610-1614.
- Kurniati, C., dan Irwanto, R. R., (2015), Evaluasi Nilai APTI dan API pada *Swietenia macrophylla* dan *Agathis dammara* yang Terdapat di Kampus ITB Ganesha, Bandung. *In Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*, 1(7), 1610-1614.
- Kwak, M. J., Lee, J. K., Park, S., Lim, Y. J., Kim, H., Kim, K. N., Je, S. M., Park, C. R., and Woo, S. Y., (2020), Evaluation of The Importance of Some East Asian Tree Species for Refinement of Air Quality by Estimating Air Pollution Tolerance Index, Anticipated Performance Index, and Air Pollutant Uptake, *Sustainability*, 12(7), 3067.
- Latih, G. P., & Rahayu, T., (2017), Pengaruh Jenis Pelarut dalam Ekstraksi Daun *Rhoeo discolor* sebagai Kertas Indikator Asam Basa, *Prosiding SNPBS (Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Saintek) Ke-2*, 347-353.
- Leghari, S. K., and Zaidi, M. A., (2013), Effect of Air Pollution on The Leaf Morphology of Common Plant Species of Quetta City, *Pakistan Journal of Botany*, 45(S1), 447-454.
- Li, R., Wang, J., Li, S., Zhang, L., Qi, C., Weeda, S., Zhao, B., Ren, S., and Guo, Y. D., (2016), Plasma Membrane Intrinsic Proteins SIPIP2; 1, SIPIP2; 7 and SIPIP2; 5 Confering Enhanced Drought Stress Tolerance in Tomato, *Scientific Reports*, 6(1), 31814.
- Lichtenthaler, H.K. and Wellburn, A.R., (1983), Determinations of Total Carotenoids and Chlorophylls a and b of Leaf Extracts in Different Solvents, *Biochemical Soc Trans*, 11, 591-592.
- Lohe, R. N., Tyagi, B., Singh, V., Kumar, T. P., Khanna, D. R., and Bhutiani, R., (2015), A Comparative Study for Air Pollution Tolerance Index of Some Terrestrial Plant Species, *Global Journal Environmental Scien Manage*, 1(4), 315-324.
- Malav, L. C., Kumar, S., Islam, S., Chaudhary, P., and Khan, S. A. 2022. Assessing The Environmental Impact of Air Pollution on Crops by Monitoring Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Anticipated Performance Index (API). *Environmental Science and Pollution Research* 29(33): 50427-50442.
- Mansour, M. M. F., (2013), Plasma Membrane Permeability as an Indicator of Salt Tolerance in plants, *Biologia plantarum*, 57(1), 1-10.
- Marimuthu, K., and Magesh, P., (2014), Air Pollution Tolerance Index Induced By Biochemical Components in Plants, *Int J Pharm Pharm Sci*, 6(5), 362-364.
- Meriem, S., (2023), Mitigasi Cekaman Kadmium (Cd) Pada Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.): Pendekatan Fisiologi dan Molekuler, *Berita Biologi*, 22(1), 61-75.
- Molnár, V. É., Simon, E., Tóthmérész, B., Ninsawat, S., and Szabó, S., (2020), Air pollution Induced Vegetation Stress-The Air Pollution Tolerance Index as a Quick Tool for City Health Evaluation, *Ecological Indicators*, 113, 106234.
- Muneer, S., Kim, T. H., Choi, B. C., Lee, B. S., and Lee, J. H., (2014), Effect of CO, NO_x and SO₂ on ROS Production, Photosynthesis and Ascorbate-Glutathione Pathway to Induce *Fragaria annasa* as a Hyperaccumulator, *Redox Biology*, 2, 91-98.
- Nisa, R. K., Jati, D. R., dan Jumiati. 2022. Analisis Kecukupan Dan Mapping Vegetasi Terhadap Konsentrasi Gas

- Badi'ah, L. N., Darmanti, S., dan Prihastanti, E. (2024). Toleransi Berbagai Tanaman Hias terhadap Polutan Gas Karbon Monoksida (CO) di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1088-1099, doi:10.14710/jil.22.4.1088-1099
- Karbon Monoksida (CO) Di Jalan Ahmad Yani Kota Pontianak. *JURLIS: Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura* 3(1): 30-36.
- Novita, A., Saragih, S., Lubis, E., Cemda, A. R., dan Julia, H., (2021), Respon Pertumbuhan Rumput Vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.) Terhadap Pemberian Asam Askorbat Pada Kondisi Tercekam Salinitas, *Agrica Ekstensi*, 15(1), 21-26.
- Olkhovych, O., Volkogon, M., Taran, N., Batsmanova, L., and Kravchenko, I., (2016), The Effect of Copper and Zinc Nanoparticles on The Growth Parameters, Contents of Ascorbic Acid, And Qualitative Composition Of Amino Acids And Acylcarnitines in *Pistia stratiotes* L. (Araceae), *Nanoscale Research Letters*, 11, 1-9.
- Oyungerel, S., Bayarmaa, J., and Otgonbayar, K., (2022), Air Pollution Tolerance Indices Of Selected Plants Around Ulaanbaatar City, Mongolia, *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 20(1), 41-48.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05 Tahun 2012 Tentang Pedoman Penanaman Pohon Pada Sistem Jaringan Jalan.
- Pimple, N. S., (2017), Adverse Effect of Air Pollutants on The Chlorophyll Content in Leaves from Pune, Maharashtra (India), *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 44(2), 131-135.
- Pujiono, A., Feriansah, A., dan Matantu, N. E., (2020), Pengaruh Penggunaan Catalytic Converter Dari Bahan Tembaga Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Pada Motor Yamaha 2 Tak F1zr, *Surya Teknika*, 4(1), 8-13.
- Qonita, F. I., Nugrahani, P., dan Sukartinungrum, (2017), Toleransi Beberapa Spesies Tanaman Lanskap Terhadap Pencemaran Udara di Taman Pelangi Surabaya, *Berkala Ilmiah Agroteknologi-PLUMULA*, 5(2), 188-202.
- Rai, P. K., (2016), Impacts of Particulate Matter Pollution on Plants: Implications for Environmental Biomonitoring, *Ecotoxicology and environmental safety*, 129, 120-136.
- Rai, P. K., and Panda, L. L., (2013), Dust Capturing Potential and Air Pollution Tolerance Index (APT) of Some Road Side Tree Vegetation In Aizawl, Mizoram, India: An Indo-Burma Hot Spot Region, *Air Quality, Atmosphere & Health*, 7, 93-101.
- Roy, A., Bhattacharya, T., and Kumari, M., (2020), Air Pollution Tolerance, Metal Accumulation and Dust Capturing Capacity of Common Tropical Trees in Commercial and Industrial Sites, *Science of The Total Environment*, 722, 137622.
- Saber, F. R., Munekata, P. E., Rizwan, K., El-Nashar, H. A., Fahmy, N. M., Aly, S. H., El-Shazly, M., Bouyahya, A., and Lorenzo, J. M., (2023), Family Myrtaceae: The Treasure Hidden in The Complex/Diverse Composition, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-19.
- Saed-Moucheshi, A., Shekoofa, A., and Pessaraki, M., (2014), Reactive Oxygen Species (ROS) Generation and Detoxifying in Plants, *Journal of Plant Nutrition*, 37(10), 1573-1585.
- Salsabila, S. H., Nugrahani, P., dan Santoso, J., (2020), Toleransi Tanaman Lanskap Terhadap Pencemaran Udara di Kota Sidoarjo, *Jurnal Lanskap Indonesia*, 12(2), 73-78.
- Saputra, A., Rahmadhanisa, S., dan Yusufarani, D., (2023), Pemanfaatan Jenis Tanaman Obat Keluarga (TOGA) Di Pekarangan Rumah Warga Talang Jambe, *In Prosiding Seminar Nasional Biologi*, 3(1), 1-19.
- Sharma, A., Bhardwaj, S. K., Panda, L. R., and Sharma, A., (2020), Evaluation of Anticipated Performance Index of Plant Species for Green Belt Development to Mitigate Air Pollution, *International Journal of Bio-resource and Stress Management*, 11(6), 536-541.
- Shivaraj, S. M., Sharma, Y., Chaudhary, J., Rajora, N., Sharma, S., Thakral, V., Ram, H., Sonah, H., Singla-Pareek, S. L., Sharma, T. R., and Deshmukh, R., (2021), Dynamic Role of Aquaporin Transport System Under Drought Stress in Plants, *Environmental and Experimental Botany*, 184, 1-15.
- Singh, S. K. and Rao, D. N., (1983), Evaluation of plants for their tolerance to air pollution, *In Proceedings of the Symposium on Air Pollution Control*, 218-224.
- Taïbi, K., Taïbi, F., Abderrahim, L. A., Ennajah, A., Belkhdja, M., and Mulet, J. M., (2016), Effect of Salt Stress on Growth, Chlorophyll Content, Lipid Peroxidation and Antioxidant Defence Systems in *Phaseolus vulgaris* L., *South African Journal of Botany*, 105, 306-312.
- Tanee, F. B. G., and Albert, E., (2013), Air Pollution Tolerance Indices of Plants Growing Around Umuebulu Gas Flare Station in Rivers State, Nigeria, *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(1), 1-8.
- Uka, U. N., and Ajagun, G. A., (2019), Evaluation of Pigment Concentrations of Roadside Tree Species as Bioindicators of Air Pollution In Abakaliki Metropolis, *Nigeria Journal Botany*, 32(2), 1-12.
- Watson, A. S., and Bai R. S., (2021), Phytoremediation For Urban Landscaping And Air Pollution Control A Case Study in Trivandrum City, Kerala, India, *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 9979-9990.
- Wellburn A. R., (1994), The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, As Well As Total Carotenoids, Using Various Solvents With Spectrophotometers of Different Resolution, *Journal of Plant Physiology*, 144, 307-313.
- Zhang, Y. K., Zhu, D. F., Zhang, Y. P., Chen, H. Z., Xiang, J., and Lin, X. Q., (2015), Low pH-Induced Changes of Antioxidant Enzyme And Atpase Activities in The Roots Of Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings, *PLoS one*, 10(2), 1-12.