

# Respon Anatomi Daun Adam Hawa (*Rhoeo discolor*) dan Pucuk Merah (*Syzygium oleana*) terhadap Polutan CO di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang

Monika Heti Nuryana<sup>1</sup>, Sri Darmanti<sup>2\*</sup>, dan Erma Prihastanti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Biologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro; e-mail: [darmantisri@yahoo.co.id](mailto:darmantisri@yahoo.co.id)

## ABSTRAK

Sebagai organisme yang bersifat *sessile*, tumbuhan dapat merespon perubahan lingkungan, salah satunya adalah pencemaran udara. Pencemaran udara dihasilkan dari kendaraan bermotor berupa gas karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan volatile organic compounds (VOCs). Kontak polutan dengan daun menyebabkan akumulasi polutan pada jaringan mesofil daun. Selanjutnya akan terjadi respon anatomi daun, antara lain adalah peningkatan jumlah sel stomata, penurunan panjang dan lebar celah stomata, penurunan lapisan kutikula serta penurunan tebal mesofil daun. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji respon anatomi daun adam hawa (*Rhoeo discolor*) dan pucuk merah (*Syzygium oleana*) terhadap polutan CO di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. Tanaman diletakkan pada lokasi dengan kadar polutan CO yang termasuk dalam kategori baik, sedang, dan tidak sehat. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dua faktor yaitu kategori kadar CO dan jenis tanaman. Data kuantitatif dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjutan DMRT pada taraf kepercayaan 95%. Parameter yang diamati untuk menunjukkan respon tanaman terhadap kategori kadar CO yang berbeda adalah kerapatan stomata, lebar celah dan panjang stomata, tebal kutikula, dan tebal mesofil daun. Respon anatomi daun tanaman *R. discolor* maupun *S. oleana* terhadap polutan CO dapat ditunjukkan melalui penurunan lebar celah stomata dan penipisan lapisan kutikula daun.

**Kata kunci:** pencemaran udara, daun, stomata, kutikula, mesofil

## ABSTRACT

As sessile organisms, plants can respond to environmental changes, one of them is air pollution. Air pollution generated from motor vehicles consist of carbon monoxide gas (CO), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), and volatile organic compounds (VOCs). Contact of pollutants with leaves causes accumulation of pollutants in leaf mesophyll tissue. Furthermore, leaf anatomical responses will occur, including an increase in the number of stomatal cells, a decrease in the length and width of the stomatal pore, a decrease in the cuticle layer and a decrease in leaf mesophyll thickness. This study aims to assess the response of adam hawa (*Rhoeo discolor*) and red shoots (*Syzygium oleana*) leaves to CO pollutants in Tembalang and Banyumanik Subdistricts, Semarang City. Plants were placed in locations with CO pollutant levels categorized as good, medium, and unhealthy. The research design used two-factorial Completely Randomized Design (CRD), namely CO category levels and plant types. Quantitative data analysis used ANOVA and DMRT post hoc test at 95% confidence level. Parameters observed were leaf anatomical characteristics as well as stomatal density, stomatal pore width, stomatal length, cuticle thickness, and mesophyll thickness of leaf. The results showed that *R. discolor* and *S. oleana* that placed in locations with different CO levels have the same anatomical characteristics. The anatomical structure of both plants supports the absorption of CO pollutants. Both *R. discolor* and *S. oleana* can respond to CO pollutants as indicated by a decrease in stomatal pore width and thinning of the leaf cuticle layer.

**Keywords:** air pollution, leaf, stomatal, cuticle, mesophyll

**Citation:** Nuryana, M. N., Darmanti, S., dan Prihastanti, E. (2024). Respon Anatomi Daun Adam Hawa (*Rhoeo discolor*) dan Pucuk Merah (*Syzygium oleana*) terhadap Polutan CO di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. Jurnal Ilmu Lingkungan, 22(5), 1184-1193, doi:10.14710/jil.22.5.1184-1193

## 1. PENDAHULUAN

Tumbuhan dapat memberikan respon terhadap berbagai perubahan lingkungan. Menurut A'yuningsih

(2017), tumbuhan memiliki tingkat kepekaan yang berbeda terhadap faktor lingkungan, seperti suhu, cahaya, kelembaban, nutrisi, serta kondisi udara

sekitar. Salah satu faktor lingkungan yang dapat merespon tanaman adalah pencemaran udara. Pencemaran udara dapat terjadi di kota-kota besar, kawasan industri, serta kawasan padat penduduk. Salah satu penyebab utama tingginya pencemaran udara adalah peningkatan jumlah kendaraan bermotor (Warsiti dkk, 2020).

Sekitar 70% polutan di udara dihasilkan dari kendaraan bermotor (Sofia *et al.*, 2020). Polutan tersebut terdiri atas karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), dan volatile organic compounds (VOCs) (Uka *et al.*, 2019). Gas CO merupakan polutan kendaraan bermotor yang menyumbang emisi terbesar yaitu sekitar 92,43%, diikuti NO<sub>x</sub> sebesar 6,32%, PM10 sebesar 1,0% dan SO<sub>2</sub> sebesar 0,25% (Siregar dkk, 2014).

Kecamatan Tembalang dan Banyumanik, Kota Semarang mengalami peningkatan jumlah kendaraan bermotor karena pergerakan manusia menuju ke pusat pendidikan dan perkantoran (Adimagistra dkk, 2020). Penelitian sebelumnya mengungkapkan bahwa terdapat perbedaan tingkat pencemaran udara di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik yang disebabkan oleh perbedaan intensitas kendaraan bermotor. Intensitas kendaraan bermotor yang melintas berbanding lurus dengan kadar polutan yang dihasilkan (Istirokhatun dkk, 2016 dan Warsiti dkk, 2020). Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah kendaraan di Jalan Jendral Pol Anton Sujarwo lebih tinggi 99,75% dibandingkan di Bundaran Kampus Undip (Warsiti dkk, 2020; Maliha dkk, 2023). Sedangkan tingkat polutan CO di Jalan Jendral Pol Anton Sujarwo tercatat 150% lebih tinggi dibandingkan Bundaran Kampus Undip. Sementara di Waduk Pendidikan Undip yang tidak dilalui kendaraan bermotor tidak tercatat adanya polutan CO.

Tanaman bersifat *sessile* atau tidak dapat berpindah tempat, sehingga dapat terpapar polutan setiap saat. Paparan polutan tersebut menyebabkan tanaman mengalami perubahan pertumbuhan, karakteristik fisik, anatomi, atau sifat-sifat yang dapat diamati pada organ daun. Beberapa penelitian mengenai respon anatomi tumbuhan terhadap polutan kendaraan bermotor adalah penelitian Kohan *et al.* (2021), mengenai paparan gas polutan NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, dan CO<sub>2</sub> selama 30 hari pada tanaman selada (*Lactuca sativa* var. *longifolia*). Polutan kendaraan bermotor menyebabkan peningkatan jumlah sel stomata per mm<sup>2</sup> luas daun, penurunan panjang stomata, serta penurunan lebar celah stomata. Ekpemerechi *et al.* (2017), juga melakukan penelitian pada sepuluh jenis tanaman famili Euphorbiaceae dengan paparan polutan kendaraan bermotor. Polutan kendaraan bermotor pada spesies *Alchornea cordifolia* menyebabkan penurunan lapisan kutikula atas, pada spesies *Croton lobatus* menyebabkan penurunan tebal epidermis atas, dan pada spesies *Flueggea virosa* menyebabkan penurunan tebal mesofil.

Polutan di udara akan bersentuhan dengan daun pada lapisan kutikula. Polutan bereaksi dengan air akan membentuk asam, senyawa asam dapat menghidrolisis rantai panjang asam lemak kutikula dan menyebabkan erosi lapisan epikutikuler (Gheorghe dan Ion, 2011; Rodríguez-Sánchez *et al.*, 2020). Polutan masuk ke dalam jaringan tumbuhan melalui celah stomata saat stomata membuka (Cahyanti dan Posmaningsih, 2020). Dalam sel penutup stomata, polutan dapat menginisiasi penutupan stomata melalui penghambatan aktivitas pompa ion K<sup>+</sup> serta memodulasi pensinyalan ABA. Ion K<sup>+</sup> dan ABA dapat mempengaruhi turgor sel penutup untuk menginisiasi penutupan stomata (Sun *et al.*, 2019). Selanjutnya, polutan yang larut dalam fase cair pada apoplast akan berdifusi ke dalam sel mesofil. Kloroplas dapat mengaktifkan mekanisme detoksifikasi yang menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS). Akumulasi ROS berlebih dapat merusak komponen sel dan mengganggu proses fotosintesis (Muelenga *et al.*, 2020). Akibatnya, terjadi penurunan hasil fotosintesis untuk pembentangan sel (Dhir, 2016).

Tanaman adam hawa (*Rhoeo discolor*) dan pucuk merah (*Syzygium oleana*) banyak dijumpai di kawasan Tembalang dan Banyumanik sebagai tanaman hias di tepi jalan raya. Tanaman hias yang tumbuh di lingkungan tercemar akan merespon kondisi lingkungan sebagai mekanisme adaptasi. Setiap tanaman akan merespon pencemaran udara dengan cara yang berbeda-beda. Menurut Taufik dan Sundari (2012), perbedaan respon tersebut disebabkan oleh adanya interaksi antara faktor lingkungan dengan genotipe masing-masing spesies tumbuhan. Sejauh ini belum ada penelitian mengenai respon anatomi tanaman adam hawa (*Rhoeo discolor*) dan pucuk merah (*Syzygium oleana*) terhadap polusi udara di kawasan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji respon anatomi daun adam hawa (*Rhoeo discolor*) dan pucuk merah (*Syzygium oleana*) terhadap polutan udara yang diamati pada perubahan anatomi stomata, kutikula, dan mesofil daun.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga Mei 2023 di Waduk Pendidikan Universitas Diponegoro, Bundaran Kampus Universitas Diponegoro, Taman Jl. Jendral Pol Anton Sujarwo KM 14 sebagai tempat perlakuan. Pengamatan dilaksanakan di Laboratorium Biologi Struktur dan Fungsi Tumbuhan Universitas Diponegoro.

Bahan yang dibutuhkan adalah tanaman *R. discolor* dan *S. oleana*, kuteks bening, alkohol 70%, safranin 1%, gliserin jelly, DMSO, kloralhidrat 70%, dan akuades. Sedangkan alat yang digunakan yaitu kaca benda, kuas kecil, kaca penutup, mikroskop cahaya Olympus CX23, mikrometer, *optilab viewer 3* dan *4*, komputer, silet, botol flakon, cawan petri, *hot plate*,

aplikasi *Accu Weather*, dan *carbon monoxide meter* Extech CO10.

Uji pendahuluan dilakukan untuk menentukan lokasi perlakuan tanaman dengan pengukuran kadar karbon monoksida (CO) dan faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan intensitas cahaya pada tiga tempat yaitu Waduk Pendidikan Undip, Bundaran Undip, dan Jl. Jendral Pol Anton Sujarwo KM 14. Hasil pengukuran kadar CO yang didapatkan kemudian diubah menjadi nilai Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan digolongkan dalam kategori tingkat pencemaran udara.

Setelah ditentukan lokasi penelitian, tanaman dalam pot diletakkan pada lokasi penelitian. Jarak peletakan tanaman dengan jalan yaitu  $\pm 2$  meter. Setiap tempat diletakkan empat ulangan untuk spesies *Rhoeo discolor* dan *Syzygium oleana*. Perlakuan diakhiri setelah 45 hari tanaman diletakkan pada lokasi uji. Setelah masa perlakuan selesai, diambil sampel daun untuk pembuatan preparat replika dengan mengacu pada metode yang digunakan Raharjo (2015) dan preparat irisan melintang daun dengan mengacu pada metode yang digunakan Hanifa dan Haryanti (2016) serta Guna dan Purnomo (2021).

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dua faktor ( $3 \times 2$ ). Faktor pertama adalah kategori kadar CO, dengan kategori kadar CO baik (ditempatkan di Waduk Pendidikan Undip), sedang (ditempatkan di Bundaran Undip), dan tidak sehat (ditempatkan di Jl. Jendral Pol Anton Sujarwo KM 14). Faktor kedua adalah spesies tanaman, yaitu tanaman adam hawa (*Rhoeo discolor*) dan pucuk merah (*Syzygium oleana*). Masing-masing unit

perlakuan dengan empat ulangan. Parameter yang diamati yaitu kerapatan stomata, lebar celah stomata, panjang stomata, tebal kutikula, dan tebal mesofil daun.

Analisis data menggunakan uji *Analisis of Varian* (ANOVA) menggunakan program SPSS 26. Jika hasil berbeda nyata, maka dilanjutkan dengan uji *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95%. Analisis data untuk mengetahui perbedaan lebar celah dan panjang stomata pada waktu pengamatan pagi dan sore dilakukan menggunakan uji T pada taraf kepercayaan 95%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran terhadap faktor lingkungan dan kualitas udara di lokasi penelitian disajikan pada Tabel 1. Faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan intensitas cahaya di tiga lokasi lingkungan cenderung tidak memiliki perbedaan signifikan. Hal tersebut dikarenakan ketiga lokasi penelitian tidak terlalu berjauhan, sehingga memiliki kondisi iklim yang sama. Sementara kadar CO pada tiga lokasi penelitian menunjukkan perbedaan yang signifikan, dikarenakan adanya perbedaan intensitas kendaraan bermotor yang melintas.

Hasil pengamatan kerapatan stomata, lebar celah stomata, serta panjang stomata permukaan bawah (abaksial) daun *R. discolor* dan *S. oleana* di tiga lokasi dengan kategori kadar CO berbeda dapat dilihat pada Tabel 2. Sementara hasil penelitian terhadap parameter tebal kutikula dan tebal mesofil daun *R. discolor* dan *S. oleana* di tiga lokasi dengan kategori kadar CO berbeda dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 1.** Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ), Kelembaban ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), Kecepatan Angin ( $\text{km}/\text{h}$ ), Intensitas Cahaya ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), Kadar CO ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ ), Nilai ISPU, serta Kategori ISPU Lokasi Penelitian

Faktor Lingkungan	Lokasi		
	Waduk Undip	Bundaran Undip	Jl Jendral Pol Anton Sujarwo KM 14
Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	27,00	26,43	27,14
Kelembaban ( $\text{g}/\text{m}^3$ )	81,86	83,00	79,57
Kecepatan Angin ( $\text{km}/\text{h}$ )	2,86	5,57	4,00
Intensitas Cahaya (lux)	14064,17	27906,00	35638,83
Kadar CO ( $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ )	0 <sup>a</sup>	4008,18 <sup>b</sup>	10020,45 <sup>c</sup>
Nilai ISPU	0	50,10	125,26
Kategori ISPU	Baik	Sedang	Tidak Sehat

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabel 2.** Kerapatan Stomata ( $\text{stomata}/\text{mm}^2$ ), Lebar Celah Stomata ( $\mu\text{m}$ ), dan Panjang Stomata ( $\mu\text{m}$ ) pada Kombinasi Perlakuan Kadar CO dan Jenis Tanaman yang Berbeda

Jenis Tanaman	Kategori Kadar CO	Parameter				
		Kerapatan (Stomata/ $\text{mm}^2$ )	Lebar Celah ( $\mu\text{m}$ )		Panjang Stomata ( $\mu\text{m}$ )	
			Pagi	Sore	Pagi	Sore
<i>R. discolor</i>	Baik	16,32 $\pm$ 0,24	21,99 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	22,91 $\pm$ 0,00 <sup>a</sup>	76,82 $\pm$ 0,01	77,62 $\pm$ 0,01
	Sedang	16,18 $\pm$ 0,38	16,89 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	17,47 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>	77,43 $\pm$ 0,01	77,67 $\pm$ 0,01
	Tidak Sehat	16,53 $\pm$ 0,56	13,35 $\pm$ 0,02 <sup>c</sup>	13,69 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	77,85 $\pm$ 0,00	78,48 $\pm$ 0,00
<i>S. oleana</i>	Baik	698,89 $\pm$ 0,55	5,69 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	5,68 $\pm$ 0,01 <sup>d</sup>	12,44 $\pm$ 0,00	12,38 $\pm$ 0,00
	Sedang	705,21 $\pm$ 0,16	4,76 $\pm$ 0,01 <sup>e</sup>	4,75 $\pm$ 0,00 <sup>e</sup>	12,35 $\pm$ 0,00	12,43 $\pm$ 0,01
	Tidak Sehat	701,39 $\pm$ 0,15	4,23 $\pm$ 0,01 <sup>f</sup>	4,27 $\pm$ 0,00 <sup>f</sup>	12,44 $\pm$ 0,01	12,35 $\pm$ 0,00

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabel 3.** Kerapatan Stomata (stomata/mm<sup>2</sup>) *R. discolor* dan *S. oleana*

Jenis Tanaman	Kerapatan (Stomata/mm <sup>2</sup> )
<i>R. discolor</i>	16,34±0,38 <sup>b</sup>
<i>S. oleana</i>	701,83±0,31 <sup>a</sup>

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabel 4.** Lebar Celah Stomata ( $\mu\text{m}$ ) Tanaman *R. discolor* dan *S. oleana* pada Waktu Pengamatan Pagi dan Sore Hari

Jenis Tanaman	Lebar Celah ( $\mu\text{m}$ )	
	Pagi	Sore
<i>R. discolor</i>	17,40±3,72*	18,02±4,04*
<i>S. oleana</i>	4,89±0,64	4,90±0,62

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabel 5.** Panjang Stomata ( $\mu\text{m}$ ) *R. discolor* dan *S. oleana* pada Waktu Pengamatan Pagi dan Sore Hari

Jenis Tanaman	Panjang Stomata ( $\mu\text{m}$ )	
	Pagi	Sore
<i>R. discolor</i>	77,37±0,09 <sup>a</sup>	77,92±0,01 <sup>a</sup>
<i>S. oleana</i>	12,41±0,04 <sup>b</sup>	12,39±0,00 <sup>b</sup>

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

**Tabel 6.** Tebal Kutikula ( $\mu\text{m}$ ) dan Tebal Mesofil ( $\mu\text{m}$ ) pada Kombinasi Perlakuan Kategori Kadar CO dan Jenis Tanaman yang Berbeda

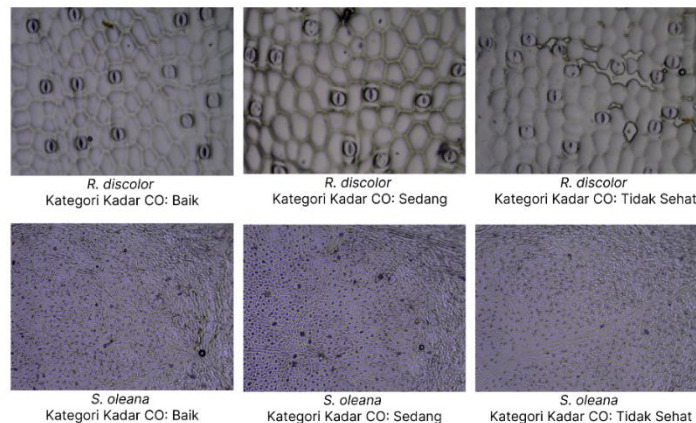
Spesies Tanaman	Kategori Kadar CO	Parameter	
		Tebal Kutikula ( $\mu\text{m}$ )	Tebal Mesofil ( $\mu\text{m}$ )
<i>R. discolor</i>	Baik	4,47±0,05 <sup>a</sup>	332,68±0,00
	Sedang	3,70±0,02 <sup>b</sup>	311,17±0,00
	Tidak Sehat	2,79±0,02 <sup>c</sup>	309,48±0,00
<i>S. oleana</i>	Baik	2,78±0,01 <sup>c</sup>	172,58±0,00
	Sedang	2,42±0,02 <sup>d</sup>	172,89±0,00
	Tidak Sehat	2,06±0,06 <sup>e</sup>	172,15±0,00

Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).

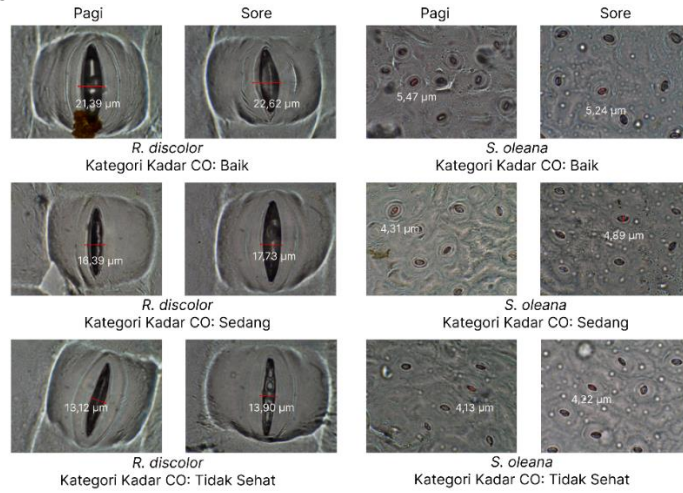
**Tabel 7.** Tebal Mesofil ( $\mu\text{m}$ ) *R. discolor* dan *S. oleana*

Jenis Tanaman	Tebal Mesofil ( $\mu\text{m}$ )
<i>R. discolor</i>	317,79±0,00 <sup>a</sup>
<i>S. oleana</i>	172,55±0,00 <sup>b</sup>

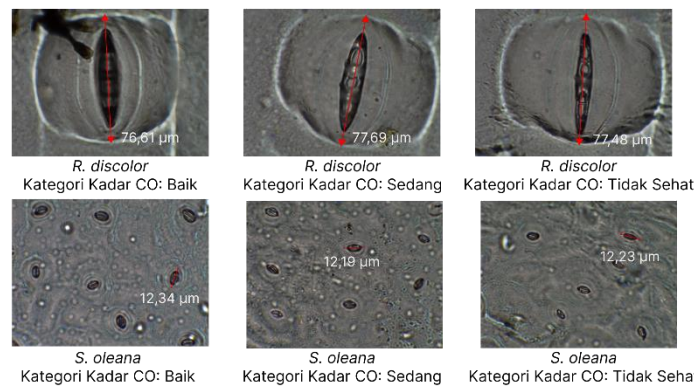
Keterangan: Angka yang diikuti huruf *superscript* yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan hasil berbeda nyata pada uji DMRT dengan taraf kepercayaan 95% ( $\alpha=0,05$ ).



**Gambar 1.** Stomata Permukaan Abaksial Daun *R. discolor* dan *S. oleana* Perbesaran 10x10 dengan Kategori Kadar CO Berbeda



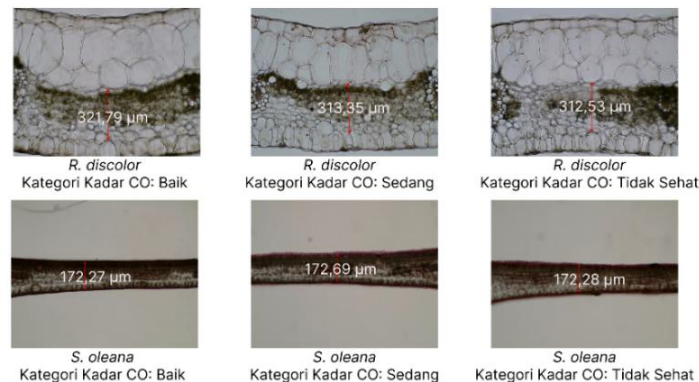
**Gambar 2.** Stomata *R. discolor* dan *S. oleana* Perbesaran 100x10 pada Kategori Kadar CO Berbeda dengan Waktu Pengamatan Pagi dan Sore Hari



**Gambar 3.** Stomata *R. discolor* dan *S. oleana* Perbesaran 100x10 pada Kategori Kadar CO Berbeda



**Gambar 4.** Kutikula *R. discolor* dan *S. oleana* Perbesaran 100x10 pada Kategori Kadar CO Berbeda



**Gambar 5.** Mesofil *R. discolor* dan *S. oleana* Perbesaran 10x10 pada Kategori Kadar CO Berbeda



### 3.1. Kerapatan Stomata

Uji ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat efek interaksi antara kategori kadar CO udara dengan jenis tanaman terhadap kerapatan stomata. Perlakuan kategori kadar CO tidak berpengaruh terhadap kerapatan stomata, namun jenis tanaman berpengaruh terhadap kerapatan stomata. Uji lanjut terhadap jenis tanaman menunjukkan bahwa stomata *S. oleana* memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan *R. discolor* (Tabel 3).

Kerapatan stomata diukur berdasarkan jumlah stomata per 1 mm<sup>2</sup> luas daun. Gambar 1 menunjukkan bahwa stomata pada semua lokasi pengamatan cenderung memiliki kerapatan yang sama pada masing-masing spesies tanaman. Kerapatan stomata yang sama dapat diasumsikan terjadi karena paparan polutan CO pada tingkat yang belum perlu direspon melalui adaptasi jumlah stomata. Hasil penelitian Alushi dan Veiz (2020), menyatakan bahwa kepadatan stomata tertinggi terdapat pada spesies tanaman *Hedera helix* pada kawasan perkotaan dengan polusi kendaraan bermotor dibandingkan lokasi yang bebas dari polusi. Hal yang sama terjadi pada penelitian El Khatib et al. (2012), bahwa tumbuhan Zaitun (*Olea europaea* L.) meningkatkan kerapatan stomata pada lingkungan berpolusi dengan tujuan untuk mengurangi dampak dari stomata yang tersumbat agar pertukaran gas dan laju transpirasi tetap stabil sehingga mengurangi kerusakan daun yang disebabkan oleh polutan.

Pada penelitian ini, faktor lingkungan seperti suhu dan kelembaban relatif sama (Tabel 1). Hal tersebut menyebabkan iklim mikro yang sama, sehingga tidak mempengaruhi perkembangan stomata. Keadaan tersebut sesuai dengan pernyataan Susilowati (2022), bahwa kerapatan stomata dapat mengalami perubahan apabila terdapat faktor lingkungan seperti perbedaan suhu, kualitas udara, intensitas cahaya, kadar CO<sub>2</sub>, serta ketersediaan air. Selain itu, faktor lain yang mempengaruhi kerapatan stomata adalah faktor genetik. Driesen et al. (2020), berpendapat bahwa jumlah dan penempatan stomata pada permukaan epidermis daun ditentukan beberapa gen, yaitu SPCH, MUTE, dan FAMA.

Stomata dapat merespon perubahan lingkungan, namun dalam penelitian ini perkembangan stomata tidak dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Menurut Driesen et al. (2020), stomata dapat mengalami perubahan dalam perkembangannya sebagai bentuk adaptasi, seperti perubahan dalam kerapatan, bentuk, dan ukuran stomata. Selama masa perkembangannya, sel stomata yang sedang berkembang dapat menyimpang ataupun dapat terhenti perkembangannya. Peristiwa tersebut merupakan salah satu respon daun yang sedang berkembang untuk melakukan adaptasi terhadap kondisi lingkungan. Menurut Marcos et al. (2016), salah satu peristiwa yang dapat mempengaruhi distribusi dan kerapatan stomata adalah mutasi gen TMM (*Too Much Mouth*) yang menyebabkan perubahan jarak

pembelahan dalam perkembangan stomata. Mutasi gen menyebabkan pembentukan stomata yang berlebih pada daun. Chowdhury et al. (2021), menyatakan bahwa mutasi dalam perkembangan stomata dimungkinkan sebagai bentuk pertahanan tumbuhan saat berada pada kondisi tercekam.

Perbedaan kerapatan stomata daun *R. discolor* yang merupakan tumbuhan monokotil dengan *S. oleana* yang merupakan tumbuhan dikotil juga dipengaruhi oleh faktor genetik. Menurut Susilowati (2022), faktor genetik sangat mempengaruhi kerapatan serta distribusi stomata pada daun. Tumbuhan monokotil dengan pertulangan daun paralel memiliki persebaran stomata yang cenderung berjajar, sedangkan tumbuhan dikotil memiliki pertulangan daun menyirip dengan distribusi stomata menyebar. Menurut Marantika dkk (2021), ukuran stomata juga akan mempengaruhi kerapatan stomata, dimana ukuran stomata akan berbanding terbalik dengan kerapatan stomata. Stomata yang memiliki ukuran lebih besar memiliki kerapatan yang lebih rendah. Hal tersebut menyebabkan jumlah serta persebaran stomata yang berbeda pada setiap spesies tumbuhan.

Stomata daun *S. oleana* lebih rapat dibandingkan *R. discolor*. Hal tersebut menyebabkan *S. oleana* dapat menyerap polutan lebih banyak dibandingkan *R. discolor*. Menurut Susilowati (2022), tanaman pucuk merah termasuk dalam golongan tanaman yang memiliki kerapatan stomata tinggi (>500 stomata/mm<sup>2</sup>). Tanaman dengan kerapatan stomata yang tinggi cocok dimanfaatkan sebagai tanaman ruang terbuka hijau. Hal ini dikarenakan tanaman dengan kerapatan stomata yang tinggi memiliki kemampuan lebih baik dalam penyerapan polutan termasuk karbon monoksida.

### 3.2. Lebar Celah Stomata

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa terdapat efek interaksi antara perbedaan kategori kadar CO dan jenis tanaman terhadap lebar celah stomata pada waktu pengamatan pagi maupun sore hari. Uji lanjut DMRT menunjukkan ukuran porus stomata terbesar pada *R. discolor* maupun *S. oleana* didapati pada perlakuan polutan dengan kategori kadar CO baik, pada waktu pengamatan pagi maupun sore hari. Sedangkan ukuran porus stomata terkecil didapati pada tanaman dengan perlakuan kategori kadar CO tidak sehat, pada pagi maupun sore hari (Tabel 2).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada waktu pengamatan yang sama, semakin tinggi kadar CO di lokasi penelitian, ukuran porus pembukaan stomata tanaman *R. discolor* maupun *S. oleana* semakin kecil (Gambar 2). Penurunan ukuran pembukaan stomata pada lingkungan dengan tingkat pencemaran udara tinggi merupakan proses adaptasi tumbuhan untuk meminimalisir masuknya polutan berbahaya seperti karbon monoksida (CO) ke jaringan tanaman. Hal ini sesuai dengan penelitian Kohan et al. (2021), bahwa pencemaran udara dari kendaraan bermotor dapat

menyebabkan penurunan lebar celah stomata pada tanaman selada (*Lactuca sativa* var. *longifolia*) sebagai bentuk adaptasi untuk mengurangi kontaminan. Hal tersebut menunjukkan bahwa beberapa spesies tumbuhan cenderung mengalami penurunan ukuran celah stomata untuk merespon pencemaran udara.

Penurunan lebar celah stomata diinisiasi oleh adanya gas polutan udara seperti CO, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>x</sub> yang dihasilkan kendaraan bermotor. Menurut Gahir *et al.* (2020), interaksi sel penutup stomata dengan polutan seperti CO dan NO dapat mengaktifkan NADPH oksidase untuk membentuk *reactive oxygen species* (ROS). Pembentukan ROS memicu peningkatan konsentrasi kalsium sistolik (Ca<sup>2+</sup>cyt). Garacia-Mata dan Lamattira (2013), mengungkapkan bahwa peningkatan Ca<sup>2+</sup>cyt juga dapat diinisiasi oleh rangsangan asam absisat (ABA). Peningkatan Ca<sup>2+</sup>cyt memicu depolarisasi membran plasma yang menghasilkan tegangan untuk ekstrusi ion K<sup>+</sup> dari sel penjaga dan penghambatan saluran K<sup>+</sup> in untuk menghambat ion K<sup>+</sup> dari luar sel masuk ke dalam sel penutup stomata.

Keluarnya ion K<sup>+</sup> dari sel dan penghambatan ion K<sup>+</sup> yang masuk akan menghasilkan pengurangan ion kalium dari sel penutup. Menurut Kastoh dan Baek (2021), pengurangan ion kalium akan mendorong ion keluar dari sel penutup stomata dan menurunkan tekanan turgor sehingga menyebabkan penutupan stomata. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Sun *et al.* (2019), bahwa penutupan stomata pada daun yang terpapar polusi terjadi karena zat polutan seperti CO, NO, dan H<sub>2</sub>S dapat menghambat aktivitas pompa K<sup>+</sup>. Konsentrasi ion K<sup>+</sup> dalam sel penutup stomata yang rendah, akan menurunkan tekanan turgor dan menyebabkan stomata menutup. Selain itu, zat polutan juga memodulasi pensinyalan ABA yang merupakan hormon untuk menginisiasi penutupan stomata.

Pengamatan yang dilakukan pada pagi (pukul 07.00) dan sore hari (pukul 16.00) pada uji T (P<0,05) menunjukkan perbedaan ukuran lebar celah stomata *R. discolor*, namun tidak berbeda signifikan pada *S. oleana* (Tabel 4). Lebar pembukaan celah stomata dapat dipengaruhi oleh waktu pengamatan. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi lingkungan maupun jam biologis yang mempengaruhi pembukaan stomata. Menurut Salisbury dan Ross (1995), membuka dan menutupnya stomata dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor eksternal dan faktor internal. Faktor eksternal yang mempengaruhi diantaranya adalah intensitas cahaya, konsentrasi CO<sub>2</sub> di udara, dan cahaya matahari. Sementara faktor internal yaitu jam biologis yang berbeda pada setiap spesies tanaman.

Perbedaan pembukaan stomata pada tanaman *R. discolor* menunjukkan bahwa tumbuhan tersebut memiliki jam biologis tertentu. Bertambahnya ukuran pembukaan stomata *R. discolor* pada waktu pengamatan sore hari dapat disebabkan karena

tanaman tersebut termasuk dalam kategori tumbuhan dengan pengikatan CO<sub>2</sub> pada malam hari. Menurut Martin *et al.* (1994), tanaman *R. discolor* termasuk dalam jenis tanaman *Crassulacean Acid Metabolism* (CAM) yang membuka stomata pada malam hari. Menurut Males dan Griffiths (2017), stomata tumbuhan CAM akan membuka maksimal pada malam hari. Saat pagi hari, terjadi penurunan lebar celah stomata, dan akan tertutup sepenuhnya saat siang hari. Ketika sore hari, mulai terjadi fiksasi CO<sub>2</sub> sehingga stomata akan membuka kembali. Sehingga pada penelitian ini didapatkan ukuran celah stomata *R. discolor* yang mengalami peningkatan pada waktu pengamatan sore hari.

### 3.3. Panjang Stomata

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa tidak terdapat efek interaksi antara perlakuan kategori kadar CO dan jenis tanaman terhadap panjang stomata. Perlakuan kategori kadar CO tidak berpengaruh terhadap panjang stomata, namun jenis tanaman berpengaruh terhadap panjang stomata pada waktu pengamatan pagi maupun sore hari. Uji lanjut menunjukkan bahwa stomata *R. discolor* dan *S. oleana* memiliki panjang yang berbeda, dimana stomata *R. discolor* lebih panjang dari stomata *S. oleana* pada waktu pengamatan pagi dan sore hari (Tabel 5).

Gambar 3 menunjukkan bahwa stomata masing-masing spesies tanaman *R. discolor* dan *S. oleana* memiliki panjang stomata yang sama pada ketiga perlakuan kategori kadar CO berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pencemaran udara tidak mempengaruhi ukuran stomata yang terbentuk. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Alushi dan Veiz (2020), bahwa polutan di udara seperti CO, SO, dan CO<sub>2</sub> tidak mempengaruhi panjang stomata pada *Hadea helix*.

Ukuran stomata diatur oleh transkripsi gen saat pembentukan stomata. Perbedaan kadar CO tidak teramati memberikan pengaruh pada ukuran sel penutup stomata. Menurut Driesen *et al.* (2021), pembelahan sel penutup stomata diatur pada tahap terakhir pembentukan stomata oleh gen FAMA. FAMA menginisiasi pembagian simetris *Guard Mother Cell* (GMC) menjadi 2 sel penutup stomata.

Ukuran stomata antar spesies tanaman sangat bervariasi. Adanya variasi tersebut karena pengaruh dari faktor eksternal dan internal, yaitu faktor lingkungan serta genetik tanaman itu sendiri (Susilowati *et al.*, 2022). Stomata *R. discolor* memiliki panjang Rerata 77,64 µm dan *S. oleana* memiliki panjang rata-rata 12,40 µm. Menurut Vivin dan Daningsih (2021), stomata daun *R. discolor* termasuk dalam kategori sangat panjang (>25 µm), dengan rata-rata panjang sel penutup 74,44 µm sedangkan stomata *S. oleana* termasuk dalam kategori kurang panjang (<20 µm), dengan rata-rata panjang sel penutup 16,73 µm. Menurut Susilowati *et al.* (2022), ukuran stomata yang besar memiliki tujuan untuk menunjang kebutuhan transpirasi dan mengatur

keseimbangan turgor. Boughallebet *et al.* (2019) juga mengungkapkan hasil penelitiannya bahwa tumbuhan dengan ukuran stomata yang kecil dapat beradaptasi terhadap polutan. Hal ini dikarenakan dengan panjang sel penutup yang kecil akan memudahkan proses penutupan stomata lebih cepat untuk meminimalkan gas yang masuk ke dalam jaringan tumbuhan.

### 3.4. Tebal Kutikula

Hasil ANOVA menunjukkan terdapat efek interaksi antara kategori kadar CO dan jenis tanaman terhadap tebal kutikula. Uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa perlakuan kategori kadar CO tidak sehat pada *R. discolor* dan *S. oleana* menghasilkan kutikula yang paling tipis, sedangkan perlakuan dengan kategori kadar CO baik menghasilkan kutikula paling tebal pada *R. discolor* maupun *S. oleana* (Tabel 6).

Semakin tinggi tingkat pencemaran udara, kutikula daun pada kedua spesies tanaman tersebut semakin menipis (Gambar 4). Hal ini sejalan dengan penelitian Ekpemerechi *et al.* (2017), bahwa pada spesies *Flueggea virosa* mengalami penurunan ketebalan kutikula yang sangat signifikan. Penurunan ketebalan kutikula merupakan respon tumbuhan terhadap paparan polusi udara.

Kutikula merupakan lapisan lilin yang melindungi permukaan daun dan membatasi jaringan tumbuhan dengan lingkungan luar. Menurut Rodríguez-Sánchez *et al.* (2020), ketika polutan di udara bercampur dengan uap air, maka akan membentuk asam pada permukaan daun. Kutikula yang terpapar oleh asam nitrat dan asam sulfat dari polutan dapat mengalami hidrolisis pada lapisan ester lilin. Pelepasan ikatan asam lemak rantai panjang dan matriks lilin kutikula akan menyebabkan erosi lilin pada epikutikuler daun.

Kendaraan bermotor juga dapat menghasilkan partikulat yang akan terbawa udara serta terdistribusi pada permukaan daun. Menurut Prilila dkk (2016), selain dalam bentuk gas, kendaraan bermotor juga menghasilkan partikulat seperti *Total Suspended Particulate* (TSP) dan timbal (Pb). Kameswaran *et al.* (2019), dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa selain dari gas polutan kendaraan bermotor, penipisan lapisan kutikula juga diinisiasi secara fisik oleh partikulat yang memiliki sifat lipofilisitas kuat serta hidrofobik lemah. Partikulat tersebut dapat terserap pada permukaan lilin kutikula sehingga menyebabkan kerusakan permanen pada lapisan kutikula.

Komposisi serta tebal lapisan kutikula bervariasi pada setiap spesies tanaman. Selain perbedaan kadar CO, tebal kutikula daun juga dipengaruhi oleh komposisi penyusun kutikula. Menurut Yeats dan Rose (2013), kutikula tersusun atas komponen kutin dan berbagai lipid, yang secara keseluruhan disebut lilin kutikula. Proses biosintesis lilin kutikula pada tumbuhan dapat bervariasi, tergantung pada spesies, ontogeni, dan kondisi lingkungan. Daun *R. discolor* memiliki kutikula yang lebih tebal dibandingkan *S.*

*oleana*. *R. discolor* merupakan jenis tumbuhan yang mampu beradaptasi pada lingkungan kering sehingga memiliki kutikula yang tebal. Sementara *S. oleana* memiliki adaptasi pada lingkungan yang tidak terlalu kering dan tidak terlalu basah, sehingga memiliki kutikula yang tipis. Menurut Aerts *et al.* (2014), tumbuhan xerofit memiliki lapisan kutikula yang tebal untuk melindungi daun lebih baik, sementara tumbuhan mesofit memiliki kutikula yang lebih tipis. Daun yang memiliki kutikula tebal memiliki pertahanan yang lebih baik terhadap faktor eksternal.

### 3.5. Tebal Mesofil

Hasil ANOVA menunjukkan tidak terdapat efek interaksi antara kategori kadar CO dengan jenis tanaman terhadap tebal mesofil. Perbedaan kategori kadar CO tidak memberikan pengaruh yang signifikan, namun jenis tanaman memiliki pengaruh signifikan terhadap tebal mesofil. Uji lanjut menunjukkan bahwa mesofil *R. discolor* lebih tinggi dibandingkan *S. oleana* (Tabel 7).

Jaringan mesofil pada masing-masing spesies daun *R. discolor* dan *S. oleana* di ketiga lokasi penelitian dengan kategori kadar CO yang berbeda memiliki ketebalan yang relatif sama (Gambar 5). Berbeda dengan hasil penelitian Ekpemerechi *et al.* (2017), bahwa terdapat pengurangan ketebalan palisade dan spons pada daun *Flueggea virosa* dan *Manihot esculenta* yang signifikan pada daerah dengan intensitas kendaraan bermotor rendah hingga tinggi.

Polutan gas maupun logam berat dari kendaraan bermotor dapat masuk ke daun melalui stomata dan selanjutnya berdifusi pada sel-sel mesofil daun. Proses detoksifikasi polutan dalam mesofil menghasilkan ROS, seperti hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ) dan superoksida radikal ( $O_2^{\cdot-}$ ) (Mulenga *et al.*, 2020). ROS akan merusak molekul penting dalam tumbuhan, seperti DNA, protein, dan lipid (Das dan Roychoudhury, 2014). Hal tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pada kloroplas diantaranya kerusakan pada fotosistem I dan II, oksidasi membrane lipid, kerusakan protein stroma, dan kerusakan DNA kloroplas (Khorobrykh *et al.*, 2020).

Kerusakan biomolekul, ditambah dengan penghambatan aktivitas transpirasi dan pertukaran gas akan mempengaruhi proses fotosintesis (Mulenga *et al.*, 2020). Penghambatan fotosintesis akan menurunkan total karbohidrat hasil fotosintesis serta laju respirasi, sehingga pemindahan pati ke jaringan mesofil dan ATP yang dihasilkan juga menurun (Muneer *et al.*, 2014). Penurunan pasokan hasil fotosintesis dan ATP akan mempengaruhi pembelahan, pemanjangan, dan diferensiasi sel (Mulenga *et al.*, 2020). Jumlah, ukuran, serta bentuk sel yang terbentuk akan berpengaruh pada ketebalan atau volume mesofil (Zanetti *et al.*, 2016).

Mesofil daun yang tidak mengalami pengurangan ketebalan oleh adanya polutan udara terjadi karena proses respirasi dan fotosintesis masih berjalan



Nuryana, M. N., Darmanti, S., dan Prihastanti, E. (2024). Respon Anatomi Daun Adam Hawa (*Rhoeo discolor*) dan Pucuk Merah (*Syzygium oleana*) terhadap Polutan CO di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1184-1193, doi:10.14710/jil.22.5.1184-1193

dengan baik. Hal ini sesuai dengan pendapat Dhir (2016), apabila mesofil daun mengalami degradasi atau pengurangan ketebalan maka polutan yang masuk ke dalam jaringan telah menyebabkan penurunan produksi karbohidrat karena penghambatan fotosintesis.

Daun *R. discolor* dan *S. oleana* merupakan tumbuhan yang toleran karena tidak mengalami penurunan ketebalan mesofil yang signifikan. Menurut Dineva (2017), mesofil yang tetap berkembang dan tidak mengalami perubahan yang signifikan menandakan bahwa tanaman tersebut toleran terhadap pencemaran udara. Kedua spesies tumbuhan tersebut memiliki susunan jaringan mesofil yang berbeda. Menurut Lundgren dan Fleming (2020), jumlah sel, ukuran dan bentuk sel, serta derajat persebaran sel pada jaringan mesofil akan menentukan ketebalan jaringan mesofil. Daun *R. discolor* memiliki susunan jaringan mesofil yang terdiri atas sel-sel berukuran besar dan bentuk yang seragam. Sementara *S. oleana* memiliki jaringan mesofil yang terdiferensiasi menjadi palisade dan spons, palisade tersusun atas dua lapis sel serta spons yang tersusun atas berlapis-lapis sel. Menurut Kirkham (2014), pada tumbuhan dikotil mesofil terbagi menjadi palisade dan spons. Palisade tersusun atas satu atau dua lapis sel kolumnar dan kompak. Sementara spons merupakan lapisan yang terdiri atas sel-sel berukuran lebih besar, tidak beraturan, dan tersusun longgar. Sedangkan daun monokotil tidak terdiferensiasi dengan jelas menjadi mesofil palisade dan spons. Oleh sebab itu, mesofil *R. discolor* dan *S. oleana* memiliki ketebalan yang berbeda.

#### 4. KESIMPULAN

Tanaman *R. discolor* maupun *S. oleana* dapat merespon polutan CO yang dihasilkan kendaraan bermotor. Respon anatomi yang ditunjukkan kedua jenis tanaman tersebut adalah terjadinya penurunan lebar celah stomata dan penipisan lapisan kutikula daun. Penelitian ini perlu dikembangkan lebih lanjut dengan kajian respon fisiologis tanaman *R. discolor* dan *S. oleana* sehingga akan dapat menjelaskan mekanisme respon anatomis tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas dukungan dana dari Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro melalui Sumber Dana Selain APBN Tahun Anggaran 2023 Nomor: 40.A1/UN7.F8/PP/II/2023.

#### DAFTAR PUSTAKA

A'yuningsih, D., (2017). Pengaruh Faktor Lingkungan Terhadap Perubahan Struktur Anatomi Daun. In *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Biologi dan Biologi Universitas Negeri Yogyakarta. Indonesia (B)* (pp. 103-110).

Adimagistra, T., Prakasa, R.R. and Wahjoerini, W., (2020). Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) Dalam Identifikasi Daya Serap Emisi Karbon di

Kecamatan Tembalang, Kota Semarang. *Jurnal Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 16(2), pp.177-182.

- Aerts, V.E., (2014). Physiological responses of Australian native and agricultural plant species to smoke from bushfires and prescribed burns. *Thesis*. The University of Sydney: New South Wales.
- Alushi, I. and Veiz, X., (2020). Effects of Air Pollution on Stomatal Responses, Including Paleoatmospheric CO<sub>2</sub> Concentration, in Leaves of *Hedera helix*. *Albanian J. agric. sci*, 19(1), pp.21-28.
- Boughalleb, F., Tarhouni, M., Lahouithek, F., and Abdellaoui, R., (2019). Anatomical Structure of Some Spontaneous Plant Species Under the Influence of Air Polluting Agents in Southern Tunisia. *International Journal of Pharma Sciences and Research (IJPSR)*, Vol. 10 No. 7, pp.182-194.
- Cahyanti, K.P. dan Posmaningsih, D.A.A., (2020). Tingkat Kemampuan Penyerapan Tanaman Sansevieria Dalam Menurunkan Polutan Karbon Monoksida. *Jurnal Kesehatan Lingkungan (JKL)*, 10(1).
- Chowdhury, M.R., Ahamed, M.S., Mas-Ud, M.A., Islam, H., Fatamatuazzohora, M., Hossain, M.F., Billah, M., Hossain, M.S. and Matin, M.N., (2021). Stomatal Development and Genetic Expression in *Arabidopsis thaliana* L. *Heliyon*, 7(8).
- 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, p.53.
- Dhir, B., (2016). Air Pollutants and Photosynthetic Efficiency of Plants. *Plant Responses to Air Pollution*, pp.71-84.
- Dineva, S.B., (2017). Morphological and Structural Modification Induced by Air Pollutants in *Acer campestre* L. Leaves. *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi*, 63(1/2), pp.13-23.
- Driesen, E., Van den Ende, W., De Proft, M. and Saeys, W., (2020). Influence of Environmental Factors Light, CO<sub>2</sub>, Temperature, and Relative Humidity on Stomatal Opening and Development: A review. *Agronomy*, 10(12), p.1975.
- Ekpemerechi, S.E., Ajao, A.A., Jimoh, M.A. and Saheed, S.A., (2017). Variation in Leaf Anatomical Characters in Response to Air Pollution in Some Euphorbiaceae Species. *West African Journal of Applied Ecology*, 25(1), pp.21-31.
- El-Khatib, A.A., (2012). Morpho-Anatomical Characteristics of Olive (*Olea europaea* L.) Trees Leaf as Bio-Indicator of Cement Dust Air Pollution in Libya. *Journal of Environmental Studies*, 9(1), pp.65-72.
- Gahir, S., Bharath, P. and Raghavendra, A.S., (2020). The Role of Gasotransmitters in Movement of Stomata: Mechanisms of Action and Importance for Plant Immunity. *Biologia Plantarum*, 64(1), pp.623-632.
- García-Mata, C. and Lamattina, L., (2013). Gasotransmitters are Emerging as New Guard Cell Signaling Molecules and Regulators of Leaf Gas Exchange. *Plant Science*, 201, pp.66-73.
- Gheorghe, I.F. and Ion, B., (2011). The Effects of Air Pollutants on Vegetation and the Role of Vegetation in Reducing Atmospheric Pollution. *The Impact of Air Pollution On Health, Economy, Environment and Agricultural Sources*, 29, pp.241-80.
- Hanifa, H.M. and Haryanti, S., (2016). Morfoanatomi Daun Jambu Air (*Syzygium samarangense*) var. Demak Normal dan Terserang Hama Ulat. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 1(1), pp.24-29.

- Istirokhatun, T., Agustini, I.T. and Sudarno, S., (2016). Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar SO<sub>2</sub> di Kota Semarang. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(1), pp.21-27.
- Kameswaran, S., Gunavathi, Y. and Krishna, P.G., (2019). Dust Pollution and Its Influence on Vegetation-a Critical Analysis. *Research Journal of Life Sciences, Bioinformatics, Pharmaceutical and Chemical Sciences*, 5(1), pp.341-363.
- Kashtoh, H. and Baek, K.H., (2021). Structural and Functional Insights Into the Role of Guard Cell Ion Channels in Abiotic Stress-Induced Stomatal Closure. *Plants*, 10(12), p.2774.
- Khorobrykh, S., Havurinne, V., Mattila, H. and Tyystjärvi, E., (2020). Oxygen and ROS in photosynthesis. *Plants*, 9(1), p.91.
- Kirkham, M.B., (2014). Leaf Anatomy and Leaf Elasticity. *Principles of Soil and Plant Water Relations, 2nd ed.; Academic Press: Boston, MA, USA*, pp.409-430.
- Kohan, A., Haghighi, M., Mirghaffari, N. and Ehtemam, M.H., (2021). Effect of Air Pollution Resulting from Exhaust Emission on the Morphological, Physiologic and Biochemical Responses of Lettuce (*Lactuca sativa* var. longifolia). *Journal of Plant Process and Function*, 9(40), pp.43-53.
- Lundgren, M.R. and Fleming, A.J., (2020). Cellular Perspectives for Improving Mesophyll Conductance. *The Plant Journal*, 101(4), pp.845-857.
- Males, J. and Griffiths, H., (2017). Stomatal Biology of CAM Plants. *Plant Physiology*, 174(2), pp.550-560.
- Maliha, A.T.N., Prasetyo, Y. and Firdaus, H.S., (2023). Pemetaan Kemacetan Lalu Lintas di Universitas Diponegoro (Studi Kasus: Kecamatan Tembalang dan Kecamatan Banyumanik, Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 12(4), pp.351-360.
- Marantika, M., Hiariej, A. and Sahertian, D.E., (2021). Kerapatan dan Distribusi Stomata Daun Spesies Mangrove di Desa Negeri Lama Kota Ambon. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 12(1).
- Marcos, A., Triviño, M., Fenoll, C. and Mena, M., (2016). Too Many Faces for Too Many Mouths?. *New Phytologist*, 210(3), pp.779-785.
- Martin, C.E., Gravatt, D.A. and Loeschen, V.S., (1994). Crassulacean Acid Metabolism in Three Species of Commelinaceae. *Annals of Botany*, 74(5), pp.457-463.
- Mulenga, C., Clarke, C. and Meincken, M., (2020). Physiological and Growth Responses to Pollutant-Induced Biochemical Changes in Plants: A Review. *Pollution*, 6(4), pp.827-848.
- Muneer, S., Kim, T.H., Choi, B.C., Lee, B.S. and Lee, J.H., (2014). Effect of CO, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> on ROS Production, Photosynthesis and Ascorbate-Glutathione Pathway to Induce *Fragaria annasa* as a Hyperaccumulator. *Redox Biology*, 2, pp.91-98.
- Prilila, G.F., Wardhana, I.W. and Sutrisno, E., (2016). Estimasi Sebaran dan Analisis Risiko TSP Dan Pb di Terminal Bis Terhadap Kesehatan Pengguna Terminal (Studi Kasus: Terminal Mangkang dan Penggaron, Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 5, No. 4.
- Raharjo, H.P., Haryanti, S. and Hastuti, R.B., (2015). Pengaruh Tingkat Kepadatan Lalu Lintas dan Waktu Pengamatan yang Berbeda Terhadap Ukuran dan Jumlah Stomata Daun Glodokan (*Polyalthia longifolia*. Sonn). *Jurnal Akademika Biologi*, 4(1), pp.73-84.
- Rodríguez-Sánchez, V.M., Rosas, U., Calva-Vásquez, G. and Sandoval-Zapotitla, E., (2020). Does Acid Rain Alter the Leaf Anatomy and Photosynthetic Pigments in Urban Trees?. *Plants*, 9(7), p.862.
- Salisbury, F.B dan C.W Ross. (1995). *Plant Physiology*. 3 ed. Wadsworth Publishing Co. Belmont California.
- Siregar, Y.I., (2014). Analisis Beban Pencemar Udara Ambien dari Kegiatan Transportasi di Ruas Jalan Soebrantas Kota Pekanbaru. *Jurnal Kajian Lingkungan*, 2(2), pp.198-209.
- Sofia, D., Gioiella, F., Lotrecchiano, N. and Giuliano, A., (2020). Mitigation Strategies for Reducing Air Pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), pp.19226-19235.
- Sun, L.R., Yue, C.M. and Hao, F.S., (2019). Update on Roles of Nitric Oxide in Regulating Stomatal Closure. *Plant Signaling & Behavior*, 14(10), p.e1649569.
- Susilowati, A., Novriyanti, E., Rachmat, H.H., Rangkuti, A.B., Harahap, M.M., Ginting, I.M., Kaban, N.S. And Iswanto, A.H., (2022). Foliar Stomata Characteristics of Tree Species in a University Green Open Space. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(3).
- Taufiq, A. and Sundari, T., (2012). Respons Tanaman Kedelai Terhadap Lingkungan Tumbuh. *None*, (23), p.225870.
- Uka, U.N., Belford, E.J. and Hogarh, J.N., (2019). Roadside Air Pollution in a Tropical City: Physiological and Biochemical Response From Trees. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), pp.1-12.
- Vivin, D.K., Daningsih, E., Fransiska, N. and Mardiyyaningsih, A.N., (2023). Thickness of Leaf Anatomical Tissue Dicot Ornamental Plants at Different Light Intensities. *International Journal of Scientific Research and Management (IJSRM)*, 11(02), pp.203-213.
- Warsiti, W., Risman, R. and Ristiawan, A., (2020). Kajian Kualitas Ambien Udara di Kota Semarang (Studi Kasus: Jalan Setiabudi Dan Jalan Anton Sujarwo). *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 25(2), pp.148-157.
- Yeats, T.H. and Rose, J.K., (2013). The Formation and Function of Plant Cuticles. *Plant physiology*, 163(1), pp.5-20.