

TANGGAPAN STOMATA DAN LAJU TRANSPIRASI DAUN *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. MENURUT TINGKAT PERKEMBANGAN DAUN DAN JARAK TERHADAP SUMBER EMISI GAS BELERANG KAWAH SIKIDANG DATARAN TINGGI DIENG¹

STOMATE RESPONSE AND TRANSPIRATION RATE OF *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. LEAF ACCORDING TO LEAF DEVELOPMENT LEVELS AND DISTANCE RANGES FROM SULPHUR GASES SOURCE SIKIDANG CAULDRON DIENG PLATEAU

Oleh : Suyitno Al*, Dyah Suryani , Ratnawati*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks tanggapan stomata stomata dan laju transpirasi *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. menurut tingkat perkembangan daun dan jaraknya terhadap sumber emisi gas belerang kawah Sikidang Dataran Tinggi Dieng. Penelitian ini juga ingin melihat faktor faktor klimatik dan edafik yang memiliki pengaruh kuat terhadap kedua respons fisiologis tersebut.

Penelitian eksploratif ini dilakukan melalui observasi di sekitar kawah Sikidang, Dieng. Variabel bebasnya adalah jarak (range) terhadap sumber emisi gas dan tingkat perkembangan organ daun, sedangkan konduktivitas dan indeks stomata serta laju transpirasi sebagai variabel tergayut. Tumbuhan sampel adalah *Vaccinium* yang tumbuh pada kisaran jarak 0 – 25m (R1), 25 – 50m (R2) dan 50 – 75m (R3) dari sumber emisi gas, masing-masing dengan 5 ulangan yang diambil secara acak. Pengamatan faktor mikroklimat meliputi suhu dan kelembaban udara serta kecepatan angin. Faktor edafik diamati meliputi kadar air dan pH tanah, struktur dan tekstur tanah, S tersedia dan KTK. Data dianalisis dengan analisis varian faktorial (3 x 3) untuk melihat ada tidaknya efek interaktif faktor jarak dan tingkat perkembangan daun terhadap konduktivitas dan indeks stomata serta laju transpirasinya. Untuk melihat faktor lingkungan yang memiliki kontribusi kuat terhadap respons fisiologis juga dilakukan analisis regresi model stepwise.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada efek interaktif antara faktor tingkat perkembangan daun dengan jarak terhadap laju transpirasi, namun tidak terhadap indeks stomata dan konduktivitas stomatanya. Indeks stomata berbeda baik menurut tingkat perkembangan maupun jaraknya, sedangkan konduktivitas stomata hanya berbeda signifikan menurut faktor jarak. Berdasar analisis regresi stepwise, faktor edafik yang memberi kontribusi kuat terhadap Indeks stomata, konduktivitas stomata dan laju transpirasi adalah kelembaban tanah.

Kata kunci : Tanggapan stomata, Laju transpirasi, *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq.

¹ Disampaikan dalam Seminar Hasil Penelitian MIPA, FMIPA UNY : Juni 2003

* : Staf Pengajar di Jurdik. Biologi FMIPA

PENDAHULUAN

Kawah Sikidang merupakan salah satu kawah di Dataran Tinggi Dieng yang secara aktif mengeluarkan gas belerang. Hal ini dapat diketahui terutama dari intensitas aroma yang spesifik dari kepulan asap putih yang diemisikan, serta warna belerang yang terdeposit pada batuan dan tanah di sekitar kawah. Prawiro (1988:56), menyatakan bahwa komponen penyusun gas belerang yang terdapat di sekitar kawah Sikidang adalah SO_2 dan H_2S .

Menurut Shroder 1979 (Firdaus, 1995:8) Sulfur dioksida (SO_2) merupakan oksida belerang yang tidak mudah terbakar, beraroma tajam dan waktu tinggal di udara selama 4 hari. Hidrogen sulfida (H_2S) merupakan gas yang mudah terbakar, aromanya khas seperti telur busuk dan waktu tinggal di udara selama 2 hari. Pada waktu gas belerang berdifusi di atmosfer, akan terjadi proses pengenceran karena sebagian dari gas tersebut akan terdeposit basah atau kering pada permukaan benda atau organisme yang ada pada arah difusi, akibatnya akan terbentuk gradien konsentrasi gas belerang dan atau keasaman habitat di sepanjang arah difusi gas. Dengan terbentuknya gradien konsentrasi gas atau keasaman habitat ini memungkinkan terjadinya gradien toleransi dari jenis-jenis tumbuhan dominan penyusun vegetasi di sekitar kawah di Dataran Tinggi Dieng (Nasir, 1994:1).

Menurut Unsworth (Nasir dkk, 1994:3), laju deposisi kering tergantung pada konsentrasi SO_2 dan H_2S , turbulensi atmosfer dan afinitas permukaan. Deposisi basah dipengaruhi oleh curah hujan, kelembaban tanah maupun udara. Gas belerang akan terdeposit menjadi asam sulfat dan jatuh ke tanah sebagai hujan asam. Di dalam tanah, asam sulfat selanjutnya akan terionisasi menjadi ion H^+ dan SO_4^{2-} , sehingga menyebabkan tanah menjadi lebih asam. Deposisi basah SO_2 dan H_2S pada tanah yang kekurangan sulfat akan menguntungkan bagi tumbuhan karena sulfur merupakan unsur hara yang esensial, tetapi akan berdampak negatif bila dalam keadaan berlebihan (excess). Selain tanah akan bersifat lebih asam yang dapat menurunkan ketersediaan beberapa hara penting, penyerapan belerang yang berlebihan dapat meracuni tumbuhan. Bradley dan Dunn (1989: 1707) membuktikan SO_2 menghambat pertumbuhan *Spartina alterniflora* mulai pada dosis rendah (1,0 mM), dan daya hambatnya meningkat pada dosis yang lebih tinggi.

Transpirasi merupakan proses hilangnya air dalam bentuk uap air dari tubuh tumbuhan yang sebagian besar terjadi melalui stomata, selain melalui kutikula dan lentisel (Dardjat dan Arbayah, 1996:61). Karena sifat kutikula yang impermeabel terhadap air, transpirasi yang berlangsung melalui kutikula relatif sangat kecil (Prawiranata dkk, 1991:138). Transpirasi dapat merugikan tumbuhan bila lajunya terlalu cepat yang menyebabkan jaringan kehilangan air terlalu banyak selama musim panas dan kering (Lovelles, 1991:167). Transpirasi merupakan aktivitas fisiologis penting yang sangat dinamis, berperan sebagai mekanisme regulasi dan adaptasi terhadap kondisi internal dan eksternal tubuhnya, terutama terkait dengan kontrol cairan tubuh (turgiditas sel/ jaringan), penyerapan dan transportasi air, garam-garam mineral serta mengendalikan suhu jaringan.

Proses transpirasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik faktor internal maupun eksternal. Faktor-faktor internal antara lain adalah ukuran daun, tebal tipisnya daun, ada tidaknya lapisan lilin pada permukaan daun, banyak sedikitnya bulu pada permukaan daun, banyak sedikitnya stoma, bentuk dan lokasi stomata (Dwidjoseputro, 1994:92), termasuk pula umur jaringan, keadaan fisiologis jaringan dan laju metabolisme. Faktor-faktor eksternal antara lain meliputi radiasi cahaya, suhu, kelembaban udara, angin dan kandungan air tanah (Dardjat dan Arbayah, 1996:64), gradient potensial air tanah - jaringan – atmosfer, serta adanya zat-zat toksik di lingkungannya. Menurut Goldworthy dan Fisher (1992:61-63), pembukaan stomata dipengaruhi oleh karbondioksida, cahaya, kelembaban, suhu, angin, potensial air daun dan laju fotosintesis. Mekanisme kontrol laju kehilangan air atau transpirasi dapat dilakukan dengan cara mengontrol laju metabolisme, adaptasi struktural daun yang dapat mengurangi proses kehilangan air dan mengatur konduktivitas stomata.

Stomata biasanya ditemukan pada bagian tumbuhan yang berhubungan dengan udara. Jumlah stomata beragam pada daun tumbuhan yang sama dan juga pada daerah daun yang sama (Estiti, 1995:68). Pada umumnya stomata tumbuhan darat lebih banyak terdapat pada epidermis daun bagian bawah. Pada banyak jenis tumbuhan bahkan tidak ada stomata sama sekali pada epidermis daun bagian atas (Lovelles, 1991:119). Suatu stoma terdiri atas lubang (porus) yang dikelilingi oleh

2 sel penutup, umumnya berbentuk ginjal dan mengandung kloroplas. Stomata sebagian besar tumbuhan membuka pada waktu siang hari dan menutup pada malam hari. Stomata akan membuka apabila turgor sel penutup tinggi dan apabila turgor sel penutup rendah maka stomata akan menutup (Siti Sutarmi, 1984:106).

Tumbuhan mempunyai respon yang berbeda-beda terhadap pengaruh gas belerang. Ada sebagian tumbuhan yang bersifat sangat toleran atau resisten, agak toleran dan sensitif. Bradley dan Dunn (1989: 1707) menemukan tingkat sensitivitas *Spartina alterniflora* lebih tinggi dibanding *Spartina cynosuroides* terhadap belerang. Pada tumbuhan yang rentan, tingkat kerusakan yang timbul ditentukan oleh kadar, periode dan frekuensi tumbuhan tersebut terkena gas, serta jenis jaringannya atau organ yang terkena. Sensitivitas keseluruhan tanaman ditentukan oleh sensitivitas daun yang berurutan, dimana setiap penambahan daun akan menjadi lebih resisten daripada satu daun terdahulu. Sensitivitas terhadap SO_2 pada daun yang sangat muda yang belum terdedah penuh menjadi relatif resisten, daun yang terdedah secara penuh menjadi sangat sensitif dan daun tua menjadi kurang sensitif (Treshow, 1984:194).

Absorpsi gas SO_2 dan H_2S atmosfer masuk ke dalam daun melalui stomata (Fitter dan Hay, 1994 : 302-303). Konsentrasi SO_2 yang tinggi menyebabkan kerusakan yang akut dimana beberapa bagian daun menjadi kuning dan akhirnya akan mati. Sedangkan konsentrasi SO_2 yang rendah menimbulkan kerusakan kronis yang ditandai dengan menguningnya warna daun akibat terdegradasinya klorofil dan menurunnya aktivitas metabolisme (Srikandi Fardiaz, 1992 : 128). Sulfur dioksida setelah masuk ke dalam mesofil daun dapat membentuk sulfit yang sangat toksis terhadap sel dan dengan cepat membunuh sel jika terdapat pada konsentrasi yang cukup tinggi. Gejala kerusakan lain yang tampak antara lain absisi yang lebih awal pada cabang atau daun, perubahan dalam kebiasaan tumbuh, pertumbuhan terhambat, berkurangnya hasil dan tanaman menjadi berumur pendek.

Winner dan Mooney (Firdaus, 1994:19), mengatakan SO_2 mempengaruhi transpirasi melalui gangguan pada perilaku stomata. Pada beberapa spesies, SO_2 meningkatkan laju transpirasi, sebaliknya SO_2 justru menurunkan pada beberapa spesies yang lain. Menurut Mardiani dan Malhotra (Nasir, 1994:34),

pengulangan dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan tumbuhan melakukan adaptasi yang salah satu bentuknya adalah perubahan dalam mekanisme membuka serta menutupnya stomata.

Vaccinium varingiaefolium (Bl.) Miq. adalah salah satu spesies yang nilai pentingnya paling tinggi di sekitar Kawah Sikidang. Pada jarak tertentu terdapat perbedaan kenampakan morfologis terutama habitus pohonnya yaitu bertambah tinggi dengan bertambahnya jarak dari kawah. Tanggapan tumbuhan yang tumbuh di sekitar Kawah Sikidang tersebut merupakan fenomena menarik untuk diteliti terutama aktivitas fisiologis dan anatominya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di daerah sekitar Kawah Sikidang Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah pada Oktober 2002. Pengamatan dilakukan terhadap tumbuhan *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. yang tumbuh pada kisaran jarak 0 - 25 m (R1) , 25 - 50 m (R2) dan 50 - 75 m (R3) dari sumber emisi gas. Sampel diambil secara acak sebanyak 5 buah dari masing-masing kategori jarak dengan kriteria : ranting mempunyai daun minimal sampai daun ke-9, terkena matahari langsung, utuh dan tidak rusak dan telah berwarna hijau. Daun 1-3 dikategorikan sebagai daun muda, daun 4-6 sebagai daun dewasa dan daun 7-9 sebagai daun tua. Di samping itu, diukur pula faktor klimatik dan edafik di lokasi penelitian yang berupa intensitas cahaya, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, kadar SO₂ dan H₂S, pH tanah, kelembaban tanah, kadar S tersedia dalam tanah, kadar air tanah dan kapasitas tukar kation. Kegiatan dilapangan meliputi pengukuran laju transpirasi dan konduktivitas stomata (membuat cetakan stomata) , pengukuran mikroklimat, pH dan kelembaban tanah, serta pengambilan sampel gas dan tanah untuk pengamatan struktur dan tekstur tanah, analisis S tersedia dan KTK di laboratorium.

Untuk mengetahui ada dan tidaknya perbedaan beberapa parameter edafik dan klimatik pada antar jarak dari sumber emisi gas, diuji dengan analisis varian satu jalur. Sedangkan untuk mengetahui ada tidaknya efek interaksi faktor tingkat perkembangan dengan faktor jarak terhadap tanggapan stomata dan laju transpirasi, dilakukan analisis varian faktorial (3X3), dilanjutkan dengan uji

DMRT untuk melihat efek sederhananya. Untuk mengetahui hubungan faktor klimatik dan edafik dengan laju transpirasi dan tanggapan stomata dilakukan analisis regresi ganda model stepwise.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengamatan morfologis kenampakan luar, tumbuhan *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. yang tumbuh di dekat maupun yang jauh dari sumber emisi gas umumnya habitus pohonnya lebih tinggi bila semakin jauh dengan sumber emisi. Dapat juga terlihat bahwa semakin dekat dengan kawah deposisi kering di permukaan daun yaitu debu semakin tebal. Kadang-kadang dijumpai daun yang mengalami klorosis dan nekrosis. Kenampakan ini merupakan strategi adaptasi dari tumbuhan tersebut terhadap faktor lingkungan, meliputi kondisi klimatik, edafik dan kadar SO₂ dan H₂S yang diterimanya.

Pengukuran faktor klimatik dan edafik di lingkungan penelitian dilakukan pada jam 11.00 – 13.00 wib. Hasil pengukuran faktor klimatik dan edafik tanah di tiga radius jarak pengamatan disajikan dalam tabel 1, sedangkan hasil pengukuran SO₂, H₂S, Kadar air, S tanah tersedia, KTK, tekstur dan struktur tanah disajikan pada tabel 2.

Tabel 1. Rerata Beberapa Faktor Klimatik dan Edafik

No	Parameter	R-1	R-2	R-3
1	Kelembaban Udara(%)	66,07	64,40	67,43
2	Kecepatan Angin (m/s)	3,23	3,17	3,23
3	Suhu Udara (°C)	26,67	26,67	27,67
4	Kelembaban tanah (%)#	59,67	76,67	85,33
5	pH tanah#	3,53	4,43	5,43

Ket.: Intensitas cahaya antara (1094,67 – 1778,33) x 2.10⁴ Lux ; R = jarak (range)

Dari tabel 1 ditunjukkan bahwa intensitas cahaya cukup berfluktuasi antara 1094 – 1778 x 20.10³ Lux, dengan keadaan kelembaban (64,40 – 67,43 %) dan suhu udara (26,67 – 27,67 °C) serta kecepatan angin (3,17 – 3,32 m/s) antar kisaran jarak yang relatif sama. Berbeda dengan keadaan mikroklimat tersebut, faktor edafik seperti kadar air (%) dan nilai pH meningkat seiring dengan semakin

jauhnya dari sumber emisi gas belerang. Keasaman tanah semakin besar dengan semakin mendekat ke sumber emisi gas.

Tabel 2. Kadar Gas Belerang dan Beberapa Faktor Tanah

No	Parameter	R-1	R-2	R-3
1	SO ₂	86,71	67,00	54,07
2	H ₂ S	502,79	265,06	254,16
3	Kadar air (%)	5,25	7,65	11,83
4	S tersedia (ppm)	1426,06	494,06	451,96
5	KTK (me/100g)	24,00	31,00	37,80
6	Struktur tanah	bergeluh	bergeluh	bergeluh
7	Tekstur tanah	Lempung berpasir	Lempung berpasir	Lempung berpasir

Ket. : nilainya adalah rerata yang diambil dari 3 ulangan pengukuran

Sebaliknya, kadar SO₂, H₂S, S tersedia semakin turun bila semakin jauh dari sumber emisi gas, namun diikuti dengan meningkatnya kadar air dan KTK tanahnya (tabel 2). Dari segi struktur dan tekstur tanahnya, pada ketiga lokasi pengamatan adalah sama.

Dari hasil analisis varian terhadap beberapa parameter mikroklimat dan edafik (tabel 3) ditunjukkan bahwa keadaan suhu dan kecepatan angin antar jarak (range) tidak berbeda secara signifikan ($P > 0,05$).

Tabel 3. Hasil Analisis Varian Satu Jalur Faktor Klimatik dan Edafik

Parameter	Sumber variasi	JK	df	KT	f	p
Kelembaban udara	Antar jarak	13,847	2	6,923	22,908**	0,002
	Dalam jarak	1,813	6	0,302		
	Galat	15,660	8			
Kecepatan angin	Antar jarak	$8,889 \cdot 10^{-3}$	2	$4,444 \cdot 10^{-3}$	0,004	0,996
	Dalam jarak	66,480	6	1,080		
	Galat	6,489	8			
Suhu udara	Antar jarak	2,000	2	1,000	0,500	0,630
	Dalam jarak	12,000	6	2,000		
	Galat	14,000	8			
Kelembaban tanah	Antar jarak	1022,889	2	511,444	39,342**	0,000
	Dalam jarak	78,000	6	13,000		
	Galat	1100,889	8			
pH tanah	Antar jarak	5,420	2	2,710	24,636**	0,001
	Dalam jarak	0,660	6	0,110		
	Galat	6,080	8			

Sebaliknya, kelembaban dan pH tanahnya berbeda secara signifikan ($p < 0,05$). Semakin dekat ke sumber emisi, kelembaban tanah menurun, disertai pH yang secara nyata menjadi semakin asam.

Hasil pengukuran terhadap tanggapan *Vaccinium* ditunjukkan bahwa laju transpirasi dan konduktivitas stomata cenderung meningkat pada jarak yang semakin jauh dari sumber emisi gas tetapi indeks stomatanya menurun (tabel 4).

Tabel 4. Rerata Laju Transpirasi, Indeks Stomata dan Konduktivitas Stomata Menurut Tingkat Perkembangan dalam Jarak

Range/Tingkat Perkembangan	Laju Transpirasi (ml H ₂ O /m ² /jam)		Indeks stomata		Konduktivitas stomata	
	rerata	SD	rerata	SD	rerata	SD
R1 Muda	35,96	18,77	40,05	1,97	35,90	4,56
Dewasa	30,83	23,80	39,90	1,57	35,68	6,72
Tua	11,46	2,95	38,88	2,44	32,78	6,50
R2 Muda	51,76	9,81	36,07	1,37	38,97	3,10
Dewasa	31,26	5,35	35,88	0,95	38,32	3,85
Tua	29,30	17,99	35,17	0,68	38,99	4,09
R3 Muda	64,06	10,07	34,46	1,62	40,24	4,68
Dewasa	32,72	13,28	34,36	2,13	39,28	2,26
Tua	57,09	16,42	33,42	1,28	38,91	3,32

Keterangan : R1 = 0-25 m ; R2 = 25-50m ; R3 = 50-75m

Dari hasil analisis varian faktorial ditunjukkan bahwa ada efek interaksi yang signifikan ($p < 0,05$) faktor jarak dan tingkat perkembangan organ daun terhadap laju transpirasi (tabel 5). Sebaliknya, tidak ada efek interaksi yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap indeks dan konduktivitas stomatanya, walaupun faktor jarak secara signifikan ($p < 0,05$) memberi pengaruh yang berbeda pada indeks dan konduktivitas stomata. Indeks stomata juga berbeda menurut tingkat perkembangan organ daunnya.

Tabel 5. Hasil Analisis Faktorial Laju Transpirasi, Indeks Stomata dan Konduktivitas Stomata.

Parameter	Sumber Varian	JK	df	KT	f	sig
Laju transpirasi	Jarak	4784,023	2	2392,011	11,194**	0,000
	Perkembangan	3425,420	2	1712,710	8,015**	0,001
	Jrk-Perkemb	2500,991	4	625,248	2,926*	0,034
Indeks stomata	Jarak	1211,140	2	605,570	224,105**	0,000
	Perkembangan	46,853	2	23,427.	8,670**	0,000
	Jrk-Perkemb	0,784	4	0,196	0,073	0,990
Konduktivitas stomata	Jarak	957,723	2	478,862	22,996**	0,000
	Perkembangan	82,321	2	1,977	1,997	1,141
	Jrk-Perkemb	99,757	4	1,198	1,198	0,313

Dari hasil analisis efek sederhana faktor tingkat perkembangan pada tiap aras jarak (tabel 6) tampak bahwa laju transpirasi tertinggi (ml/ jam) umumnya terjadi pada daun muda (35,96 pada R1; 51,76 pada R2 dan 64,08 pada R3). Berdasar faktor jaraknya, semakin jauh dari sumber emisi gas, laju transpirasi lebih cepat.

Tabel 6. Efek Sederhana Laju Transpirasi Faktor Tingkat Perkembangan daun pada masing-masing aras jarak (R1, R2 , R3)

Perkemb. \ Jarak	Muda	Dewasa	Tua
R1	35.96 a	30,83 b	11.46 c
R2	51,76 ab	31,27 b	29,30 b
R3	64,08 b	32,72 a	57,09 b

Keterangan : huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf kepercayaan 95% ($p \leq 0,05$).

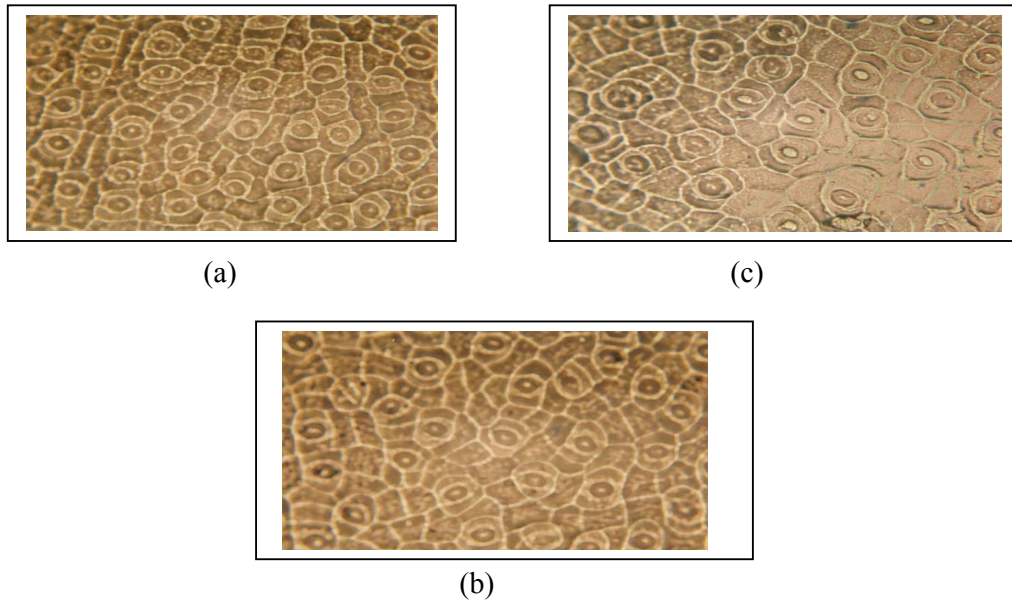
Dari sisi lain, indeks stoma secara nyata lebih besar ($p < 0,05$) pada daun Vaccinium yang lebih dekat sumber emisi gas, sebaliknya untuk keadaan konduktivitas stomatanya lebih kecil (tabel 7; gambar 1). Indeks stomata merupakan respons struktural jaringan epidermis yang permanen disebabkan oleh akumulasi efek emisi gas yang menyertai perkembangan daun. Daun akan berkembang optimal pada kondisi lingkungan yang sesuai. Sebaliknya, perkembangan jaringan daun selama morfogenesis daun akan terganggu bila

kondisi lingkungan kurang sesuai, terlebih dalam keadaan stress. Sims dan Pearcy, 1992: 449) menunjukkan bahwa perkembangan daun *Alocasia microrrhiza* lebih sempurna pada pencahayaan yang cukup. Pada intensitas cahaya tinggi, daun *Alocasia* menjadi lebih tebal, sel-sel mesofil lebih banyak, ukuran selnya lebih besar.

Tabel 7. Hasil Analisis DMRT Terhadap Efek Utama Indeks Stomata dan Konduktivitas Stomata

Parameter	Efek Utama Faktor Jarak			Efek Utama Faktor Tingkat Perkembangan		
	R1	R2	R3	Muda	Dewasa	Tua
Indeks stomata	39,61 a	35,71 b	34,08 c	36,86 a	36,71 a	35,82 b
Konduktivitas Stomata	34,79 a	38,76 b	39,48 b	-	-	-

Keterangan : huruf yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan pada taraf kepercayaan 95% ($p \leq 0,05$).



Gambar 1 : Cetakan Stomata pada Epidermis Bagian Bawah Daun *Vaccinium varingiaefolium* (Bl) Mig. : pada R-1 (a), R-2 (b) dan R-3 (c)

Senada dengan hal tersebut, daun *Vaccinium* yang tumbuh pada daerah terdekat dengan sumber emisi gas belerang, indeks stomatanya lebih tinggi. Artinya, jumlah sel bertambah dan ukuran selnya menjadi lebih kecil. Hal ini dapat

disebabkan oleh kondisi lingkungan yang memberi keadaan stress bagi tumbuhan, yakni karena konsentrasi gas dan ion belerang lingkungannya yang sangat tinggi.

Konduktivitas stoma tidak berbeda menurut faktor tingkat perkembangan organ daun, walaupun indeks stomatanya cenderung lebih tinggi pada daun muda. Konduktivitas stoma menggambarkan dinamika tingkat membukanya stomata. Gejala ini merupakan gejala yang sifatnya sesaat dan dinamik, lebih sebagai respons terhadap dinamika kondisinya lingkungannya. Faktor-faktor seperti intensitas cahaya, kelembaban udara, kecepatan angin, kadar air dan kelembaban tanah berpengaruh pada aktivitas membuka menutupnya stoma, namun berdasar hasil analisis ditemukan bahwa faktor kelembaban tanah merupakan faktor lingkungan yang memberi pengaruh kuat baik pada indeks stomata, konduktivitas maupun laju transpirasinya (tabel 8).

Tabel 8. Hasil Analisis Regresi Faktor Edafik dengan Laju Transpirasi, Indeks Stomata dan Konduktivitas Stomata

No.	Prediktor	Var. tergayut	F	Sig	R	R ²
1.	Kelembaban tanah	Laju transpirasi	5,820*	0,047	0,674	0,454
2.	Kelembaban tanah	Indeks stomata	46,331**	0,000	0,932	0,869
3.	Kelembaban tanah	Konduktivitas stomata	26,057**	0,001	0,888	0,788

Koning (1994) menunjukkan bahwa laju transpirasi akan meningkat sejalan dengan tingkat membukanya stomata (stomate aperture), dan tingkat evapotranspirasi interseluler jaringan mesofil daun sangat ditentukan oleh beda potensial air jaringan xilem – mesofil dan atmosfer. Aktivitas membuka menutupnya stomata merupakan mekanisme kontrol terhadap laju kehilangan air melalui transpirasi. Laju transpirasi akan meningkat bila stomata membuka. Dari penelitian ini ditemukan bahwa konduktivitas stomata lebih besar pada *Vaccinium* yang semakin jauh dari sumber emisi gas (R3), seiring dengan laju transpirasinya yang semakin cepat.

Gejala laju transpirasi dan konduktivitas stomata tampak terkait langsung dengan keadaan kadar air dan kelembaban tanahnya. Semakin jauh dari sumber emisi, kelembaban dan kadar air tanah semakin tinggi, sehingga ketersediaan air

tanahnya lebih besar. Kondisi ini lebih menguntungkan bagi tumbuhan yang hidup di dalamnya, sehingga menjamin pasokan air untuk menggantikan volum air yang hilang melalui transpirasi. Dengan stomata yang membuka akan lebih memfasilitasi pertukaran zat, penyerapan CO₂ untuk mendukung fotosintesis dengan tanpa mengalami kekurangan atau stress air.

Indeks stomata paling tinggi (39,61) dimiliki daun-daun *Vaccinium* yang tumbuh pada daerah dengan jarak terdekat (R1) dari sumber emisi, dan secara indeksinya nyata menurun pada jarak yang semakin jauh. Indeks stomata menunjukkan perbedaan yang signifikan antara daun muda dengan daun tua.

Tingkat kerusakan jaringan dipengaruhi oleh konsentrasi SO₂ dan waktu kontak oleh karena itu akan banyak dialami oleh tumbuhan terdekat dengan kawah. Berdasarkan lama kontak organ dengan gas belerang maka daun yang lebih tua akan mengalami pendedahan lebih lama, sehingga pada permukaan daun tua, terdapat deposit kering atau lapisan kerak yang lebih tebal. Deposit yang tebal ini akan menghambat masuknya sinar matahari dan pertukaran gas, sehingga laju transpirasi semakin menurun. Stomata yang lebih banyak menutup pada *Vaccinium* yang lebih dekat dengan kawah dimungkinkan untuk mengurangi penyerapan gas yang menimbulkan gangguan aktivitas jaringan. Indeks yang lebih kecil pada daun tua disebabkan oleh bertumbuhnya sel-sel epidermis sehingga jumlah stomata dalam satu bidang pandang yang sama terlihat lebih sedikit.

Berdasar hasil analisis regresi, kelembaban tanah berpengaruh kuat terhadap laju transpirasi, indeks stomata dan konduktivitas stomata. Pada siang hari air ditranspirasikan lebih cepat daripada penyerapannya dari tanah. Jika kandungan air menurun, gerakan air melalui tanah ke dalam akar menjadi lebih lambat. Hal ini cenderung untuk meningkatkan defisit air pada daun. Akibatnya potensial air menurun, pembukaan stomata berkurang dan laju transpirasi juga menurun. Selain itu, ketersediaan air mempengaruhi pembentangan sel epidermis dan pembentangan sel epidermis tersebut akan mengakibatkan jumlah stomata terlihat lebih sedikit, sedangkan pada keadaan defisit air sel – sel epidermis tidak membentang sehingga jumlah stomata akan terlihat lebih banyak.

Dari hasil diatas dapat diketahui bahwa kelembaban tanah memang mempunyai pengaruh yang kuat, tetapi mungkin masih ada faktor lain yang

berpengaruh namun karena adanya keterbatasan peneliti maka ada beberapa data pendukung yang hanya diukur satu kali sehingga tidak bisa untuk dimasukkan dalam analisis.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Adanya efek interaktif antara tingkat perkembangan dengan jarak terhadap laju transpirasi daun *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq.
2. Indeks stomata daun *Vaccinium varingiaefolium* (Bl.) Miq. berbeda signifikan menurut tingkat perkembangan daun dan jarak dari sumber emisi, sedangkan konduktivitas stomata berbeda signifikan hanya menurut faktor jarak.
3. Faktor edafik yang berpengaruh kuat terhadap laju transpirasi, indeks stomata dan konduktivitas stomata adalah kelembaban tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bradley, P.M and Dunn, E.L. 1989. Effects of Sulfide on The Growth of Three Salt Marsh Halophytes of The Southeastern United States. *Amer.J.Bot*, 76 (12) : 1707 - 1713
- Dardjat Sastramiharja dan Arbayah Siregar. (1996). *Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Dwidjoseputro. (1994). *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Estiti B Hidayat. (1995). *Anatomi Tumbuhan Berbiji*. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Firdaus. (1994). Tanggapan *Panicum repens*, L. Terhadap Gas Belerang di Sekitar Kawah Sikidang Dataran Tinggi Dieng. Tesis. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- Fitter, A.H. dan Hay, R.K.M. (1994). *Fisiologi Lingkungan Tanaman*. (Terjemahan: Sri Andani dan E.D. Purbayanti). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Goldsworthy, P. R. dan Fisher, N. M. (1992). *Fisiologi Tanaman Budidaya Tropik*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Koning, E, Ross. 1994. Transpiration, *Plant Physiology Website*, [http://Koning.ecsu.ctstateu.edu/plant physiology](http://Koning.ecsu.ctstateu.edu/plant%20physiology)
- Lovelles, A. R. (1991). *Prinsip-Prinsip Biologi Tumbuhan Untuk Daerah Tropik*. Jilid I. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Utama.
- Nasir, M. ,Purnomo dan Sudjino. (1994). Pengaruh Gas Belerang dari Kawah Sikidang di dataran Tinggi Dieng Terhadap Struktur Vegetasi dari Faal Tumbuhan di Sekitarnya. *Laporan Penelitian*. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- Prawiranata, W , Said Harran, Pin Tjondronegoro. (1991). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jilid I. Bogor: Fakultas Pertanian IPB.
- Prawiro. (1998). *Ekologi Lingkungan Pencemaran*. Semarang: Satya Wacana.
- Sims, D.A. and Pearcy, R.W. 1992. Response of Leaf Anatomy and Photosynthetic Capacity in *Alocasia macrorrhiza* (Araceae) to A Transfer from Low to Hight Light. *Amer. J. Bot.* 76 (4) : 449 – 455
- Siti Sutarmi Tjitrosomo. (1990). *Botani Umum*. Jilid 2. Bandung: PT Angkasa.
- Treshow, M. (1984). *Air Pollution and Plant Life*. Norwich: John Wiley & Sons Ltd.