

PERBANDINGAN ANATOMI KIRINYUH (*Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob.) DAN BOBORONGAN (*Hyptis capitata* Jacq.) PADA LAHAN BUKAN DAN BEKAS TAMBANG MANGAN DI DESA OETALUS, KEFAMENANU

Ite Morina Yostianti Tnunay¹, Dicky Frengky Hanas², Meri Helsiana Mata³
Universitas Timor^{1,2,3}
itetnunay@gmail.com¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakter anatomi tumbuhan kirinyuh (*Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob.) dan boborongan (*Hyptis capitata* Jacq.) pada lahan bukan bekas tambang (BBT) dan lahan bekas tambang (BT) mangan di Desa Oetalus. Metode yang digunakan adalah deskriptif komparatif, dengan sampel tumbuhan diambil dari lahan BT dan lahan BBT di Desa Oetalus yang telah diketahui riwayat penambangannya. Sayatan melintang akar, batang, dan daun diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 10×40 , dan pengukuran panjang, lebar, serta ketebalan sel/jaringan dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ. Data dianalisis secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif, meliputi pengelompokan kategori ukuran dan kerapatan stomata-trikoma serta perhitungan indeks dan kerapatan stomata-trikoma. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran sel serta ketebalan jaringan akar dan batang kedua spesies bervariasi antara lahan BBT dan BT tanpa pola arah yang seragam pada seluruh jaringan yang diamati. Karakteristik epidermis, stomata, dan trikoma daun kedua spesies turut menunjukkan variasi kategori ukuran dan kerapatan antara kedua lahan tersebut. Karakter anatomi kirinyuh dan boborongan menunjukkan variasi pada lahan BBT dan BT yang diduga dipengaruhi oleh faktor genetik, lingkungan, dan fisiologis.

Kata Kunci: Anatomi Tumbuhan, *Chromolaena odorata*, *Hyptis capitata*, Lahan Bekas Tambang, Oetalus

ABSTRACT

*This study aimed to compare the anatomical characteristics of Armstrong's weed (*Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob.) and knobweed (*Hyptis capitata* Jacq.) growing on non-mining land (BBT) and post-manganese-mining land (BT) in Oetalus Village. The method used was descriptive comparative, with plant samples taken from BT and BBT land in Oetalus Village with known mining histories. Transverse sections of the roots, stems, and leaves were observed under a microscope at 10×40 magnification, and cell/tissue length, width, and thickness were measured using the ImageJ application. Data were analyzed descriptively, both qualitatively and quantitatively, including the categorization of stomatal and trichome size and density, and the calculation of stomatal and trichome indices an*

densities. The results showed that cell size and tissue thickness in the roots and stems of both species varied between BBT and BT land without a consistent directional pattern across all tissues observed. Epidermal, stomatal, and trichome characteristics of the leaves of both species also varied in size and density categories between the two land types. The anatomical characteristics of C. odorata and H. capitata varied between BBT and BT land, likely influenced by genetic, environmental, and physiological factors.

Keywords: *Plant Anatomy, Chromolaena odorata, Hyptis capitata, Post-Mining Land, Oetalus*

PENDAHULUAN

Oetalus merupakan salah satu desa yang terletak di Kabupaten Timor Tengah Utara, Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), Indonesia, yang memiliki lahan bekas galian tambang mangan (Mn). Lapisan mangan di Desa Oetalus diprediksi berada pada kedalaman 1–20 m dengan komposisi unsur mangan dalam tanah sebesar 94,2% dan kadar rata-rata ekonomis bijih mangan sebesar 45%. Oleh karena itu, mangan di Oetalus berpotensi dan ekonomis untuk ditambang (Seran & Edi, 2021). Masyarakat Oetalus mulai melakukan penambangan pada lokasi yang memiliki kandungan mangan sejak tahun 2010 (Tobing et al., 2022). Aktivitas penambangan diawali dengan pengelupasan tanah penutup, kemudian tanah digali dengan bantuan alat. Mangan yang terkumpul selanjutnya dicuci, sedangkan bekas lubang galian tidak ditutup kembali. Menurut Azizi et al. (2023), kegiatan penambangan mangan dapat mengubah sifat dan karakteristik tanah. Kegiatan penambangan juga dapat meningkatkan luas lahan kritis, memengaruhi aktivitas pertanian dan kehutanan, serta menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati.

Program revegetasi sangat penting untuk mempercepat pemulihan lahan pascatambang, terutama dengan menggunakan tumbuhan lokal. Tumbuhan yang dijumpai pada kawasan bekas tambang merupakan tumbuhan yang telah beradaptasi terhadap keberadaan logam dalam tanah maupun faktor lingkungan lainnya (Hapsari et al., 2020; Aydi et al., 2023). Menurut Alsheikh dan Kirkham (2018) serta Khoramipour (2021), tumbuhan lokal memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap kondisi lingkungan sehingga memiliki kemampuan lebih tinggi untuk bertahan hidup dan menyerap polutan dibandingkan dengan tumbuhan eksotis.

Lahan bekas tambang mangan di Desa Oetalus saat ini telah ditumbuhi kembali oleh berbagai jenis tumbuhan. Dua jenis tumbuhan berperawakan semak yang dijumpai adalah kirinyuh (*Chromolaena odorata*) dan boborongan (*Hyptis capitata* Jacq.). Kedua jenis tumbuhan tersebut berpotensi digunakan untuk revegetasi lahan bekas tambang. Namun, diperlukan analisis pendahuluan terhadap karakter anatominya (Nurtjahya et al., 2011; Nurtjahya, 2021).

Adaptasi karakter anatomi merupakan salah satu bentuk adaptasi tumbuhan terhadap faktor lingkungan. Analisis dapat dilakukan dengan membandingkan karakter anatomi kedua jenis tumbuhan pada lahan bekas tambang dan lahan bukan bekas tambang. Penelitian Nurtjahya (2021) menunjukkan bahwa tumbuhan yang hidup di lahan bekas tambang timah memiliki konduktansi dan kerapatan stomata, ketebalan daun, serta ketebalan mesofil dan kutikula adaksial yang lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan yang hidup di hutan.

Penelitian mengenai karakter anatomi tumbuhan lokal pada lahan bekas tambang mangan di Desa Oetalus belum dilakukan, padahal informasi tersebut penting untuk mendukung proses revegetasi lahan bekas tambang mangan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan karakter anatomi tumbuhan kirinyuh (*Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob.) dan boborongan (*Hyptis capitata* Jacq.) di lahan bukan bekas tambang (BBT) dan lahan bekas tambang (BT) mangan di Desa Oetalus, Kefamenanu, Nusa Tenggara Timur.

METODE PENELITIAN

Sampel tumbuhan kirinyuh (*Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob.) dan boborongan (*Hyptis capitata* Jacq.) yang digunakan dalam penelitian diambil dari lahan bekas tambang (BT) mangan di Desa Oetalus. Tumbuhan pembanding diambil dari lahan bukan bekas tambang (BBT) yang masih berada di Desa Oetalus.

Pengamatan organ akar dan batang dilakukan dengan membuat sayatan melintang pada akar dan batang. Sayatan ditetesi akuades, kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 10×40 . Pengamatan organ daun dilakukan pada jaringan epidermis abaksial yang meliputi stomata dan trikoma.

Sebelum pengamatan, sampel tumbuhan dilunakkan dengan cara direndam dalam larutan HNO_3 50% selama 24 jam. Sampel kemudian dicuci menggunakan akuades, disayat secara melintang menggunakan silet, dan dijernihkan menggunakan larutan Bayclin selama lima menit. Sampel selanjutnya dibilas menggunakan akuades dan diwarnai menggunakan safranin selama 3–5 menit. Sayatan kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 10×40 (Savira et al., 2023). Pengukuran panjang dan lebar sel serta ketebalan jaringan dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ.

Parameter anatomi yang diamati meliputi panjang dan lebar sel. Parameter pada akar meliputi epidermis, korteks, endodermis, xilem, dan floem, sedangkan parameter pada batang meliputi epidermis, korteks, empulur, xilem, dan floem. Ketebalan jaringan yang diukur pada akar meliputi epidermis, korteks, endodermis, dan berkas pengangkut atau stele. Ketebalan jaringan yang diukur pada batang meliputi epidermis, korteks, empulur, xilem, floem, dan berkas pengangkut.

Parameter anatomi daun diamati pada bagian abaksial dan meliputi panjang dan lebar sel epidermis, panjang dan lebar sel penjaga, serta jumlah stomata dan trikoma per bidang pandang.

Data anatomi dianalisis secara deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Kerapatan stomata dan trikoma dikelompokkan menjadi kategori rendah ($<300/\text{mm}^2$), sedang ($300\text{--}500/\text{mm}^2$), dan tinggi ($>500/\text{mm}^2$) (Toriq & Puspitawati, 2023). Panjang stomata dikelompokkan menjadi kurang panjang ($<20\text{ }\mu\text{m}$), panjang ($20\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$), dan sangat panjang ($>25\text{ }\mu\text{m}$). Lebar stomata dikelompokkan menjadi kurang lebar ($<19,42\text{ }\mu\text{m}$), lebar ($19,42\text{--}38,84\text{ }\mu\text{m}$), dan sangat lebar ($>38,84\text{ }\mu\text{m}$) (Juairiah, 2014; Utami et al., 2018).

Indeks stomata dan trikoma dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah stomata atau trikoma dan jumlah keseluruhan stomata atau trikoma serta sel epidermis. Perhitungan indeks stomata dan trikoma dilakukan menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$\text{Indeks stomata/trikoma} = \frac{\text{Jumlah stomata/trikoma}}{\text{Jumlah stomata/trikoma} + \text{Jumlah sel epidermis}} \times 100 \quad (1)$$

Nilai yang diperoleh dari Persamaan (1) menunjukkan persentase stomata atau trikoma terhadap jumlah keseluruhan stomata atau trikoma dan sel epidermis dalam satu bidang pandang.

Kerapatan stomata dan trikoma dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah stomata atau trikoma dan luas bidang pandang yang diamati. Perhitungan kerapatan stomata dan trikoma dilakukan menggunakan Persamaan (2) berikut

$$\text{Kerapatan stomata/trikoma} = \frac{\text{Jumlah stomata/trikoma per bidang pandang}}{\text{Luas bidang pandang}} \quad (2)$$

Hasil perhitungan tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan kategori kerapatan stomata dan trikoma, yaitu rendah, sedang, atau tinggi.

HASIL PENELITIAN

Anatomi Akar dan Batang

Anatomi akar *C. odorata* dan *H. capitata* diamati berdasarkan panjang dan lebar sel pada jaringan epidermis, korteks, endodermis, xilem, dan floem. Sementara itu, anatomi batang diamati berdasarkan panjang dan lebar sel pada jaringan epidermis, korteks, empulur, xilem, dan floem. Perbandingan ukuran sel pada jaringan akar dan batang *C. odorata* serta *H. capitata* yang tumbuh di lahan bukan bekas tambang (BBT) dan bekas tambang (BT) disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perbandingan Anatomi Organ Akar dan Batang

Organ dan parameter pengamatan			<i>C. odorata</i> (μm)		<i>H. capitata</i> (μm)	
			BBT	BT	BBT	BT
Akar	Epidermis	p	42,5	55,5	19,4	29,1
		l	35,6	27,7	9,1	23,9
	Korteks	p	41,3	49,9	18,1	38,9
		l	35,3	23,3	9,0	24,8

Batang	Endodermis	p	30,5	51,8	15,1	45,2
		l	21,4	22,3	7,7	26,4
	Xilem	p	40,1	46,8	25,2	68,4
		l	36,7	38,8	20,4	56,6
	Floem	p	14,0	12,0	13,0	15,0
		l	8,1	7,1	9,9	8,2
	Epidermis	p	22,8	20,2	25,0	21,3
		l	12,4	13,0	20,1	15,1
	Korteks	p	39,2	33,7	35,6	31,9
		l	26,3	22,9	18,4	21,8
	Empulur	p	126,5	123,1	97,9	148,1
		l	103,6	90,1	85,3	109,1
	Xilem	p	28,6	28,8	14,3	38,9
		l	24,1	22,2	8,4	26,4
	Floem	p	14,4	7,1	7,0	14,1
		l	8,2	4,7	4,1	7,9

Keterangan: BBT=bukan bekas tambang, BT=bekas tambang, p=panjang, l=lebar

Berdasarkan Tabel 1, sel akar *C. odorata* pada lahan BBT memiliki lebar epidermis, lebar korteks, serta panjang dan lebar floem yang lebih besar dibandingkan dengan sel akar pada lahan BT. Sementara itu, sel akar *C. odorata* pada lahan BT memiliki panjang epidermis, panjang korteks, panjang dan lebar endodermis, serta panjang dan lebar xilem yang lebih besar dibandingkan dengan sel akar pada lahan BBT. Ukuran sel pada jaringan akar *H. capitata* yang tumbuh di lahan BT umumnya lebih besar dibandingkan dengan yang tumbuh di lahan BBT. Hal tersebut terlihat pada panjang dan lebar sel jaringan epidermis, korteks, endodermis, dan xilem serta panjang floem. Sementara itu, akar *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT memiliki lebar sel floem yang lebih besar dibandingkan dengan akar *H. capitata* di lahan BT.

Batang *C. odorata* yang tumbuh di lahan BBT memiliki panjang sel epidermis dan korteks, panjang dan lebar empulur, lebar xilem, serta panjang dan lebar floem yang lebih besar dibandingkan dengan batang yang tumbuh di lahan BT. Sementara itu, batang *C. odorata* yang tumbuh di lahan BT memiliki lebar epidermis dan panjang xilem yang lebih besar dibandingkan dengan batang yang tumbuh di lahan BBT. Panjang dan lebar sel epidermis serta panjang sel korteks batang *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT lebih besar dibandingkan dengan yang tumbuh di lahan BT. Sementara itu, batang *H. capitata* yang tumbuh di lahan BT memiliki lebar korteks serta panjang dan lebar sel pada jaringan empulur, xilem, dan floem yang lebih besar dibandingkan dengan batang yang tumbuh di lahan BBT.

Perbandingan ketebalan jaringan pada organ akar dan batang *C. odorata* serta *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT dan BT disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Ketebalan Jaringan pada Organ Akar dan Batang

Organ dan parameter yang diamati		<i>C. odorata</i> (μm)		<i>H. capitata</i> (μm)	
		BBT	BT	BBT	BT
Akar	Epidermis	96,3	53,6	29,6	61,6

	Korteks	107,5	116,0	67,4	75,4
	Endodermis	28,0	23,1	24,9	27,8
	Berkas pengangkut	609,1	622,5	544,8	564,3
Batang	Epidermis	77,1	75,8	54,5	21,8
	Korteks	80,9	79,8	94,0	90,5
	Empulur	1221,9	1025,7	572,7	583,9
	Xilem	225,2	206,8	125,3	128,8
	Floem	80,1	74,2	25,5	30,0
	Berkas pengangkut	340,8	308,0	205,1	230,2

Keterangan: BBT=bukan bekas tambang, BT=bekas tambang

Berdasarkan Tabel 2, akar *C. odorata* yang tumbuh di lahan BBT memiliki jaringan epidermis dan endodermis yang lebih tebal dibandingkan dengan akar yang tumbuh di lahan BT. Sementara itu, jaringan korteks dan berkas pengangkut akar *C. odorata* di lahan BT lebih tebal dibandingkan dengan akar di lahan BBT. Akar *H. capitata* yang tumbuh di lahan BT memiliki jaringan epidermis, korteks, endodermis, dan berkas pengangkut yang lebih tebal dibandingkan dengan akar yang tumbuh di lahan BBT.

Seluruh jaringan batang *C. odorata* yang diamati lebih tebal pada lahan BBT dibandingkan dengan lahan BT, yaitu jaringan epidermis, korteks, empulur, xilem, floem, dan berkas pengangkut. Batang *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT memiliki jaringan epidermis dan korteks yang lebih tebal dibandingkan dengan batang yang tumbuh di lahan BT. Sementara itu, batang *H. capitata* yang tumbuh di lahan BT memiliki jaringan empulur, xilem, floem, dan berkas pengangkut yang lebih tebal dibandingkan dengan batang yang tumbuh di lahan BBT.

Anatomi Daun

Anatomi daun *C. odorata* dan *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT dan BT diamati berdasarkan karakteristik epidermis, stomata, dan trikoma pada permukaan abaksial daun. Perbandingan karakteristik epidermis, stomata, dan trikoma abaksial daun disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Epidermis, Stomata, dan Trikoma Abaksial Daun

Parameter pengamatan	<i>C. odorata</i> (µm)		<i>H. capitata</i> (µm)	
	BBT	BT	BBT	BT
Jumlah epidermis	73	73	53	53
Panjang epidermis	50,0	47,3	63,7	59,6
Lebar epidermis	22,4	24,3	36,5	32,4
Panjang sel penjaga	17,8	25,2	23,4	22,4
Lebar sel penjaga	5,7	6,9	6,0	6,7
Jumlah stomata per bidang pandang	29	23	18	18
Indeks stomata	28,7	23,7	25,7	25,0
Jumlah trikoma per bidang pandang	6	6	3	5
Indeks trikoma	7,2	8,0	6,3	5,9

Keterangan: BBT=bukan bekas tambang, BT=bekas tambang

Berdasarkan Tabel 3, jumlah sel epidermis *C. odorata* pada lahan BBT dan BT sama, yaitu 73, sedangkan jumlah sel epidermis *H. capitata* pada lahan BBT dan BT juga sama, yaitu 53. Panjang sel epidermis *C. odorata* dan *H. capitata* lebih besar pada lahan BBT dibandingkan dengan lahan BT.

Jumlah stomata per bidang pandang dan indeks stomata *C. odorata* lebih besar pada lahan BBT. Sementara itu, lebar epidermis, panjang dan lebar sel penjaga, serta indeks trikoma *C. odorata* lebih besar pada lahan BT. Jumlah trikoma per bidang pandang *C. odorata* pada lahan BBT dan BT sama, yaitu enam trikoma.

Daun *H. capitata* pada lahan BBT memiliki panjang dan lebar epidermis, panjang sel penjaga, indeks stomata, serta indeks trikoma yang lebih besar dibandingkan dengan daun yang tumbuh di lahan BT. Sementara itu, daun *H. capitata* pada lahan BT memiliki lebar sel penjaga dan jumlah trikoma per bidang pandang yang lebih besar dibandingkan dengan daun yang tumbuh di lahan BBT.

Klasifikasi ukuran dan kerapatan stomata serta trikoma abaksial daun *C. odorata* dan *H. capitata* yang tumbuh di lahan BBT dan BT disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Klasifikasi Stomata dan Trikoma Abaksial Daun

Parameter pengamatan	<i>C. odorata</i>				<i>H. capitata</i>			
	BBT	Kategori	BT	Kategori	BBT	Kategori	BT	Kategori
Panjang stomata (μm)	23,9	P	26,9	SP	26,7	SP	25,2	SP
Lebar stomata (μm)	17,9	KL	16,9	KL	15,0	KL	21,9	L
Kerapatan Stomata	341,1	S	263,6	R	213,2	R	205,4	R
Kerapatan Trikoma	65,9	R	73,6	R	38,8	R	38,8	R

Keterangan: BBT=bukan bekas tambang, BT=bekas tambang, R=rendah, S=sedang, P=panjang, SP=sangat panjang, KL=kurang lebar, L=lebar.

Berdasarkan Tabel 4, *C. odorata* yang tumbuh di lahan BBT memiliki stomata yang tergolong panjang, lebar stomata yang tergolong kurang lebar, kerapatan stomata yang tergolong sedang, dan kerapatan trikoma yang tergolong rendah. Sementara itu, *C. odorata* yang tumbuh di lahan BT memiliki stomata yang tergolong sangat panjang, lebar stomata yang tergolong kurang lebar, serta kerapatan stomata dan trikoma yang tergolong rendah.

H. capitata yang tumbuh di lahan BBT dan BT memiliki stomata yang tergolong sangat panjang serta kerapatan stomata dan trikoma yang tergolong rendah. Lebar stomata *H. capitata* pada lahan BBT tergolong kurang lebar, sedangkan lebar stomata pada lahan BT tergolong lebar.

PEMBAHASAN

Tanah bukan bekas tambang (BBT) mangan merupakan tanah yang tidak terpengaruh oleh aktivitas penambangan mangan dan memiliki kualitas yang berbeda dibandingkan dengan tanah bekas tambang (BT). Tanah BT mangan

umumnya mempunyai kualitas yang kurang baik. Penelitian Tobing et al. (2022) menunjukkan bahwa tanah pascatambang mangan di Desa Oetalus, Kabupaten Timor Tengah Utara, Nusa Tenggara Timur, memiliki kadar Mn yang tergolong sangat tinggi. Mn merupakan unsur hara mikro yang penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Mn berperan sebagai kofaktor penting dalam proses fotosintesis, respirasi, pertahanan terhadap patogen, asimilasi nitrogen, dan biosintesis hormon pensinyalan, seperti etilen, asam giberelat, dan asam jasmonat (Alejandro et al., 2020). Meskipun Mn penting bagi tumbuhan, keberadaannya dalam jumlah tinggi di dalam tanah dan penyerapannya oleh tumbuhan dapat mengakibatkan toksisitas yang substansial serta menghalangi atau menggantikan gugus fungsi dan molekul esensial (Dhaliwal et al., 2020; Mitra et al., 2022).

Berdasarkan Tabel 1, ukuran sel penyusun jaringan pada akar dan batang *C. odorata* dan *H. capitata* yang hidup pada lahan BBT dan BT bervariasi, baik dalam panjang maupun lebar. Sel pada jaringan epidermis tumbuhan di lahan BBT dapat berukuran lebih besar dibandingkan dengan tumbuhan di lahan BT. Ukuran sel dipengaruhi oleh faktor genetik, fisiologis, dan lingkungan. Secara genetik, ukuran sel dipengaruhi oleh tingkat ploidi serta pembelahan sel pada jaringan meristem tumbuhan (D'Ario & Sablowski, 2019). Secara fisiologis, ukuran sel dipengaruhi oleh mekanika dinding sel. Dinding sel yang kaku dapat memengaruhi bentuk dan ukuran sel. Sel dapat menyesuaikan polaritasnya untuk mempertahankan bentuk yang optimal meskipun terjadi perubahan volume (Gu & Oliferenko, 2021). Faktor lingkungan, seperti stres abiotik, juga dapat memengaruhi ukuran sel. Sebagai contoh, gen OsSK1Pa pada padi membantu meningkatkan toleransi terhadap stres dengan memodulasi ekspresi gen terkait stres yang secara tidak langsung memengaruhi viabilitas dan ukuran sel (Hou et al., 2009).

Berdasarkan Tabel 2, jaringan akar dan batang tumbuhan *C. odorata* dan *H. capitata* memiliki ketebalan yang berbeda-beda, baik pada lahan BBT maupun BT. Omoregie dan Ikhajiagbe (2021) melaporkan bahwa tumbuhan yang mengalami cekaman logam berat berupa Pb, Zn, Cu, Cd, dan Mn dapat memberikan respons yang berbeda terhadap keberadaan logam berat sebagai bentuk adaptasi. Logam berat dapat menyebabkan peningkatan maupun penurunan ketebalan jaringan. Logam berat, termasuk Mn, memberikan efek antagonis terhadap fungsi fisiologis dan biokimia tumbuhan yang berujung pada penurunan laju pertumbuhan, perubahan karakteristik morfologi, serta gangguan metabolisme.

Ketebalan jaringan pada organ tumbuhan dipengaruhi oleh kombinasi faktor lingkungan, genetik, dan fisiologis. Faktor lingkungan yang memengaruhi ketebalan jaringan antara lain ketersediaan air (Alshammari et al., 2024) dan ketinggian tempat (Nie et al., 2022). Faktor genetik yang memengaruhinya terutama berkaitan dengan jenis tumbuhan (Nie et al., 2022). Faktor fisiologis berkaitan dengan kapasitas fotosintesis dan efisiensi penggunaan air, yaitu jaringan yang lebih tebal sering kali mendukung laju fotosintesis yang lebih tinggi pada lingkungan yang rentan terhadap cekaman (Alshammari et al., 2024).

Stres abiotik, seperti stres oksidatif atau cekaman logam berat, dapat memicu perubahan lokal pada ketebalan jaringan dengan meningkatkan proliferasi sel dan mengubah pola pertumbuhan. Ketebalan jaringan juga dipengaruhi oleh ukuran sel penyusun dan jumlah lapisan sel. Daun yang lebih tebal sering kali terbentuk akibat peningkatan volume mesofil dan ruang udara (Villar et al., 2013). Ketebalan jaringan juga dipengaruhi oleh komposisi dinding sel, khususnya keberadaan pektin yang memengaruhi ketebalan dinding sel dan konduktansi mesofil sehingga secara tidak langsung dapat memengaruhi ketebalan jaringan (Piccini et al., 2024).

Berdasarkan Tabel 3, jumlah, panjang, dan lebar sel epidermis; panjang dan lebar sel penjaga; jumlah stomata dan trikoma per bidang pandang; serta indeks stomata dan trikoma tumbuhan *C. odorata* dan *H. capitata* bervariasi pada lahan BBT dan BT. Ukuran sel dapat dipengaruhi oleh faktor genetik berupa jenis tumbuhan dan tingkat ploidi (D'Ario & Sablowski, 2019), faktor fisiologis berupa mekanika dinding sel (Gu & Olfierenko, 2021), serta faktor lingkungan berupa stres yang dialami tumbuhan (Hou et al., 2009).

Panjang stomata *C. odorata* yang dijumpai pada lahan BBT lebih rendah dibandingkan dengan yang dijumpai pada lahan BT. Penelitian Makin (2022) menunjukkan bahwa panjang stomata *C. odorata* yang dijumpai di Universitas Timor, Kefamenanu, Nusa Tenggara Timur, yang merupakan lahan BBT adalah 26,75 μm . Ukuran tersebut mendekati panjang stomata pada lahan BT, yaitu 26,9 μm . Lebar stomata *C. odorata* yang tumbuh di Universitas Timor adalah 8,95 μm dan berbeda dengan lebar stomata yang dijumpai pada lahan BBT maupun BT dalam penelitian ini.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kerapatan stomata *C. odorata* maupun *H. capitata* lebih tinggi pada lahan BBT dibandingkan dengan lahan BT. Hasil tersebut berbeda dengan penelitian Nurtjahya (2021) yang menunjukkan bahwa kerapatan stomata lebih tinggi pada tumbuhan yang hidup di lahan bekas tambang dibandingkan dengan tumbuhan yang hidup di hutan. Hasil penelitian ini juga berbeda dengan Savira et al. (2023) yang menyatakan bahwa indeks dan kerapatan stomata tumbuhan pada lahan bekas tambang timah lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan pada lahan bukan bekas tambang. Perbedaan hasil tersebut dapat berkaitan dengan perbedaan jenis tumbuhan, karakteristik lahan, dan kondisi lingkungan pada setiap lokasi penelitian.

Berdasarkan Tabel 4, ukuran stomata berbanding terbalik dengan kerapatan stomata. Semakin panjang ukuran stomata, kerapatan stomata semakin rendah, demikian pula sebaliknya. Selain itu, ukuran panjang dan lebar sel penjaga yang lebih kecil dapat diikuti oleh peningkatan kerapatan stomata. Menurut Savira et al. (2023), peningkatan kerapatan stomata pada jenis rumput yang tumbuh di lahan bekas tambang diduga berhubungan dengan penurunan panjang dan/atau lebar sel penjaga.

Stomata *C. odorata* berbentuk oval dengan sel penutup berbentuk ginjal, bertipe anomositik, dan ditemukan pada bagian abaksial daun (Makin, 2022; Julianti et al., 2024). Trikoma *C. odorata* bertipe nonglandular dengan bentuk multiseluler (Makin, 2022). Tumbuhan *H. capitata* memiliki stomata bertipe diasitik, sedangkan trikoma bertipe glandular dengan bentuk *long capitate* (Laila, 2013). Stomata berperan sebagai tempat terjadinya pertukaran gas dan air, sedangkan trikoma berperan sebagai bentuk pertahanan fisik tumbuhan. Kerapatan dan indeks stomata serta trikoma dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan, seperti konsentrasi karbon dioksida, suhu, intensitas cahaya, dan ketersediaan air.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi anatomi akar, batang, dan daun *C. odorata* serta *H. capitata* pada lahan BBT dan BT. *C. odorata* pada lahan BBT umumnya memiliki jaringan akar dan batang yang lebih tebal dibandingkan dengan tumbuhan pada lahan BT. Sebaliknya, *H. capitata* pada lahan BT memiliki sebagian besar jaringan akar dan batang yang lebih tebal dibandingkan dengan tumbuhan pada lahan BBT.

Karakter epidermis, sel penjaga, stomata, dan trikoma kedua tumbuhan juga bervariasi. Stomata *C. odorata* pada lahan BBT dan BT berturut-turut tergolong panjang dan sangat panjang dengan kategori kurang lebar, sedangkan stomata *H. capitata* pada kedua lahan tergolong sangat panjang dengan kategori lebar yang berbeda. Kerapatan stomata *C. odorata* tergolong sedang pada lahan BBT dan rendah pada lahan BT, sedangkan kerapatan stomata dan trikoma *H. capitata* pada kedua lahan tergolong rendah. Variasi anatomi tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor genetik, lingkungan, dan fisiologis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., & Peiter, E. (2020). Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 300. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>
- Alsheikh, A. A., & Kirkham, M. B. (2018). Study on using green plants to remove contaminants from soil through phytoremediation. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1243–1250.
- Alshammari, W. B., Alshammery, K., Lotfi, S., Altamimi, H., Alshammari, A., Al-Harbi, N. A., Jakovljević, D., Alharbi, M. H., Moustapha, M. E., Abd El-Moneim, D., & Abdelaal, K. (2024). Improvement of morphophysiological

- and anatomical attributes of plants under abiotic stress conditions using plant growth-promoting bacteria and safety treatments. *PeerJ*, 12, Article e17286. <https://doi.org/10.7717/peerj.17286>
- Aydi, S., Aydi, S. S., Ben Salah, G., Dekhil, A., Rahmani, R., Bouajila, A., Mohamed, N. A., & Abdelly, C. (2023). Phytoremediation potential of native plants: Biomonitoring approach in contaminated soils. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 51(2), Article 13063. <https://doi.org/10.15835/nbha51213063>
- Azizi, M., Faz, A., Zornoza, R., Martínez-Martínez, S., & Acosta, J. A. (2023). Phytoremediation potential of native plant species in mine soils polluted by metal(loid)s and rare earth elements. *Plants*, 12(6), Article 1219. <https://doi.org/10.3390/plants12061219>
- D'Ario, M., & Sablowski, R. (2019). Cell size control in plants. *Annual Review of Genetics*, 53, 45–65. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-112618-043602>
- Dhaliwal, S. S., Singh, J., Taneja, P. K., & Mandal, A. (2020). Remediation techniques for removal of heavy metals from the soil contaminated through different sources: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(2), 1319–1333. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06967-1>
- Gu, Y., & Oliferenko, S. (2021). The principles of cellular geometry scaling. *Current Opinion in Cell Biology*, 68, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2020.08.013>
- Hapsari, L., Trimanto, & Budiharta, S. (2020). Spontaneous plant recolonization on reclaimed post-coal mining sites in East Kalimantan, Indonesia: Native versus alien and succession progress. *Biodiversitas*, 21(5), 2003–2018. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210527>
- Hou, X., Xie, K., Yao, J., Qi, Z., & Xiong, L. (2009). A homolog of human Ski-interacting protein in rice positively regulates cell viability and stress tolerance. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(15), 6410–6415. <https://doi.org/10.1073/pnas.0901940106>
- Juairiah, L. (2014). Studi karakteristik stomata beberapa jenis tanaman revegetasi di lahan pascatambang timah di Bangka. *Widyaiset*, 17(3), 213–218.
- Julianti, M. A., Darmanti, S., & Haryanti, S. (2024). Karakteristik stomata dan trikoma lima spesies gulma famili Asteraceae di Waduk Pendidikan Universitas Diponegoro. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 9(1), 39–47.
- Khoramipour, S. (2021). The potential of native plants for phytoextraction in phytoremediation of lead and nickel from the soil of Mohammadabad Qazvin landfill. *Jundishapur Journal of Health Sciences*, 13(1), Article e112840. <https://doi.org/10.5812/jjhs.112840>
- Laila, F. (2013). Tipe trikoma dan stomata pada beberapa spesies *Hyptis* (Labiatae). *Eksakta*, 1, 64–69.

- Makin, F. M. P. R., Welsiliana, & Wiguna, G. A. (2022). Karakterisasi stomata dan trikomata daun kirinyuh (*Chromolaena odorata* L.). *Journal Science of Biodiversity*, 3(1), 61–67.
- Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. B., Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Khandaker, M. U., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University: Science*, 34(3), Article 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
- Nie, W., Liu, Y., Tan, C., Wang, Y., Liu, J., Zhao, X., Jiang, Z., & Jia, Z. (2022). Characteristics and factors driving the variations in bark thickness of major woody plants in China. *Ecological Indicators*, 144, Article 109447. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109447>
- Nurtjahya, E. (2021). Selection criteria for plant species grown on tin-mined soil in Bangka Island, Indonesia. In *Proceedings of the International Conference on Mine Closure 2021*. Australian Centre for Geomechanics. https://doi.org/10.36487/acg_repo/2152_31
- Nurtjahya, E., Robika, & Dorly. (2011). Can anatomical and physiological characters predict plant adaptation on tin-mined land in Bangka Island? In *Proceedings of the Sixth International Conference on Mine Closure* (pp. 75–83). Australian Centre for Geomechanics. https://doi.org/10.36487/acg_rep/1152_09_nurtjahya
- Omoregie, G. O., & Ikhajiagbe, B. (2021). Anatomical features of *Chromolaena odorata* during phytoaccumulation of heavy metals. *Nigerian Journal of Environmental Sciences and Technology*, 5(2), 365–376. <https://doi.org/10.36263/nijest.2021.02.0285>
- Piccinini, L., Ramamonjy, F. N., & Ursache, R. (2024). Imaging plant cell walls using fluorescent stains: The beauty is in the details. *Journal of Microscopy*, 295(2), 102–120. <https://doi.org/10.1111/jmi.13289>
- Savira, Nurtjahya, E., & Santi, R. (2023). Stomata rumput-rumputan di lahan bekas tambang timah di Bangka. *Jurnal Ilmu Dasar*, 24(1), 1–8.
- Seran, R., & Edi, E. (2021). Kajian geofisika dan geokimia mangan di Desa Oetalus Kabupaten TTU. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 11(1), 40–50. <https://doi.org/10.13057/ijap.v11i1.46447>
- Tobing, W. L. T., Kolo, M. M., Bria, D., Purba, M. P., & Soares, E. M. P. (2022). Soil characterization in ex-manganese mining land in North-Central Timor District, East Nusa Tenggara. *International Journal of Science, Technology & Management*, 3(6), 1753–1762. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v3i6.631>
- Toriq, M. R. A., & Puspitawati, R. P. (2023). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap stomata dan trikoma pada daun tanaman semangka (*Citrullus lanatus*). *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 258–272.

- Utami, R., Daningsih, E., & Marlina, R. (2018). Analisis ukuran dan tipe stomata tanaman di Arboretum Sylva Indonesia PC Untan Pontianak. *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Khatulistiwa*, 7(5).
- Villar, R., Ruiz-Robledo, J., Ubera, J. L., & Poorter, H. (2013). Exploring variation in leaf mass per area from leaf to cell: An anatomical analysis of 26 woody species. *American Journal of Botany*, 100(10), 1969–1980. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200562>