

PENGARUH LIMBAH PRODUKSI PERAK TERHADAP ANATOMI DAN KANDUNGAN FENOLIK SERTA ALKALOID *CYPERUS ROTUNDUS* L

Oleh :

Agastyo Pakusadewo Suwardi¹⁾, Raihan²⁾, Laurentus Hartanto Nugroho³⁾, Carissa Averina Leonardi⁴⁾

^{1,2,3} Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada

⁴ Calvin Institute of Technology

email: hartantonugroho2005@ugm.ac.id

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Submit, 20 Desember 2025

Revisi, 5 Januari 2026

Diterima, 14 Januari 2026

Publish, 27 Januari 2026

Kata Kunci :

Limbah Industri Perak,
Fitoremediasi,
Rumput Teki,
Anatomis,
Metabolit.



ABSTRAK

Sektor industri kian mengalami peningkatan seiring dengan berkembangnya zaman. Kotagede merupakan daerah Yogyakarta yang terkenal dengan industri kerajinan peraknya. Masih terdapat permasalahan dalam pembuangan limbah industri perak karena belum semua pengrajin melakukan pengolahan limbah. Tumbuhan berpotensi menjadi agen remediasi yang baik pada tanah yang mengandung logam berat. Pengamatan dilakukan dengan pembuatan preparat batang, daun, dan akar secara embedding dengan parafin. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh limbah perak terhadap pertumbuhan, respon anatomis daun, batang, akar, serta produksi senyawa fenolik maupun alkaloid pada daun dan batang rumput teki dilihat dari perubahan tinggi tanaman, jumlah daun, panjang daun dan lebar daun. Hasil yang didapat semakin tinggi konsentrasi limbah maka tingkat rata-rata kerusakan pada jaringan daun, akar, dan tuber secara anatomi semakin tinggi juga. Selain itu konsentrasi limbah perak yang semakin tinggi dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman sampai pada titik tertentu. Beberapa jaringan tanaman pada tuber seperti epidermis, endodermis, exodermis, dan jaringan pembuluh terdapat kandungan metabolit sekunder fenolik dan alkaloid setelah diberi perlakuan limbah. Metabolit tersebut juga terdapat pada jaringan daun, lebih tepatnya terdapat dalam jaringan epidermis, hypodermis, serat sklerenkim, dan jaringan pembuluh.

This is an open access article under the [CC BY-SA](#) license



Corresponding Author:

Nama: Laurentus Hartanto Nugroho

Afiliasi: Universitas Gadjah Mada

Email: hartantonugroho2005@ugm.ac.id

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, sektor industri kian mengalami peningkatan seiring dengan berkembangnya zaman. Bagi kota yang terus berkembang seperti Yogyakarta, pembangunan industri merupakan hal yang penting untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Kotagede merupakan daerah Yogyakarta yang terkenal dengan industri kerajinan peraknya. Masih terdapat permasalahan dalam pembuangan limbah karena belum semua pengrajin melakukan pengolahan limbah. Perak sendiri memiliki beberapa sifat yang sangat merugikan. Perak merupakan logam

paling beracun kedua bagi organisme air setelah merkuri (Moreno-Garrido, I.; Pérez, S.; Blasco. 2015). Ion perak dapat dilepaskan dari AgNP yang persisten, bioakumulatif, dan sangat beracun bagi organisme (Ratte, 1999). Karena sifat rumput teki yang mudah tumbuh dan mudah ditumbuhkan, maka akan berpotensi untuk dijadikan tanaman remediasi. Kandungan rumput teki memiliki kemampuan untuk mengendalikan fisiko-kimia pada tanah. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan suatu permasalahan itu bagaimana pertumbuhan rumput teki setelah penambahan limbah perak di berbagai

konsentrasi? Bagaimana dampak yang ditimbulkan oleh limbah produksi industri perak terhadap batang dan daun rumput teki secara anatomis? Bagaimana perbedaan produksi senyawa fenolik dan alkaloid pada daun dan batang rumput teki setelah perlakuan cekaman logam berat di berbagai konsentrasi?

2. METODE PENELITIAN

Langkah kerja penelitian ini meliputi Identifikasi tanaman rumput teki yang dilakukan di Laboratorium Sistematis Tumbuhan Fakultas Biologi UGM dengan mengamati ciri morfologi rumput teki secara detail. Berikutnya dilakukan pengukuran kapasitas lapang di Kebun Penelitian Sawitsari menggunakan metode seperti yang dilakukan oleh Ranti, Suryani dan Budiasa (2017). Langkah pertama, menentukan Berat Kering (Tk) dengan cara mengisi penuh polybag ukuran (diameter) 7 cm dengan media tanam lalu ditimbang. Setelah itu, media tanam diberi air sampai air menetes dari polybag (saturated) dan dibiarkan selama 24 jam, kemudian media tanam tersebut ditimbang sebagai Berat Basah (Tb). Kapasitas Lapang dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$W = Tb - Tk$$

Keterangan :

W = Kapasitas lapang Tb = Berat basah

Tk = Berat kering

(Ranti, M.A.D., Suryani, N.N. & Budiasa, I.K.M., 2017)

Penanaman dan perawatan rumput teki yang berumur 1 bulan ditanam dalam polybag berisi media komersial di kebun penelitian Sawitsari. Perawatan dilakukan dengan penyiraman dan pemupukan sesuai jadwal. Berikutnya pemberian limbah pabrik perak dari Kotagede Yogyakarta yang diberikan pada tanaman dengan konsentrasi 25%, 50%, 75% dan 100%, sedangkan tanaman kontrol tidak diberi perlakuan limbah. Pengambilan sampel tanaman dilakukan setelah 30 hari perlakuan untuk mengukur berat kering tanaman serta mengambil sampel untuk observasi anatomi. Perhitungan parameter pertumbuhan dan parameter lingkungan yang meliputi pengukuran parameter pertumbuhan dan lingkungan seperti panjang daun, lebar daun, dan parameter lingkungan lainnya. Pengamatan anatomi daun dan tuber dibuat menggunakan metode embedding dengan parafin, kemudian diamati dengan mikroskop. Pengamatan kandungan metabolit sekunder rumput teki pada batang dan daun rumput teki meliputi uji kandungan fenolik dengan reagen 10%FeCl₃ dan Na₂CO₃ dan didiamkan selama beberapa menit. Menurut Prahesti, Suzery, dan Cahyono (2015) Kandungan fenolik ditunjukkan dengan terbentuknya warna coklat, hijau, ungu, atau biru pekat. Uji kandungan alkaloid pada batang dan daun rumput teki menggunakan reagen dragendorff dan didiamkan selama beberapa menit. Kandungan alkaloid ditunjukkan dengan terbentuknya warna jingga atau coklat tua pada jaringan (Brecht-Franco

et al., 2016). Langkah terakhir adalah analisis data berupa hasil parameter pertumbuhan meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang dan lebar daun dianalisis dengan program Microsoft Excel dan disajikan dalam bentuk Line Chart. Data parameter lingkungan disajikan dalam bentuk tabel. Data preparat anatomi daun dan batang diamati menggunakan optilab. Ukur panjang jaringan anatomi menggunakan program ImageRaster. Hasil kuantitatif dianalisis dengan program SPSS menggunakan One Way ANOVA dengan uji Duncan, dengan tingkat kesalahan 5%.

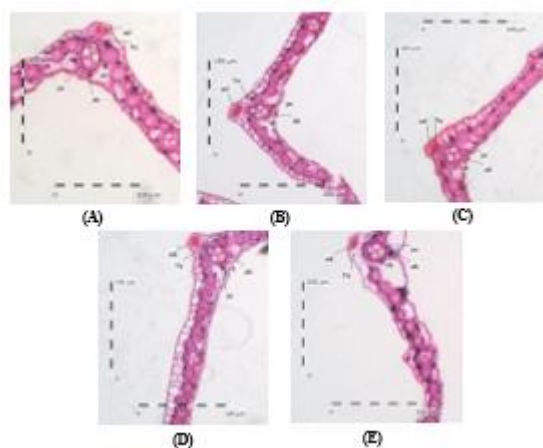
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kandungan limbah produksi perak diuji pada Balai Besar Teknik Kesehatan Lingkungan dan Pengendalian Penyakit Yogyakarta. Berikut hasil yang didapatkan dalam bentuk tabel dibawah.

Tabel 1. Hasil uji logam berat yang terkandung dalam limbah produksi perak.

No	Logam Berat	Satuan	Hasil Uji
1	Perak (Ag)	mg/L	<0.0024
2	Nikel (Ni)	mg/L	0.0107
3	Besi (Fe)	mg/L	0.1058
4	Tembaga (Cu)	mg/L	0.8482
5	Timbal (Pb)	mg/L	<0.0099

Berdasarkan tabel 1, limbah cair produksi perak mengandung beberapa logam berat dengan berbagai jumlah. Kandungan tertinggi adalah tembaga (Cu) sebesar 0.8482 mg/L, diikuti oleh besi (Fe) dengan jumlah 0.1058 mg/L. Nikel (Ni) memiliki kandungan sebesar 0.0107 mg/L, sementara timbal (Pb) memiliki jumlah kurang dari 0.0099 mg/L. Logam dengan kandungan paling sedikit adalah perak (Ag) dengan jumlah kurang dari 0.0024 mg/L. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa tembaga adalah logam berat yang dominan dalam limbah cair tersebut, diikuti oleh besi, nikel, dan timbal, sedangkan kandungan perak adalah yang paling rendah.



Gambar 1. Penampang lintang daun *Cyperus rotundus* L. setelah perlakuan limbah cair industri perak dengan perbesaran 10x. (A) kontrol, (B) konsentrasi limbah 25%, (C) konsentrasi limbah 50%, (D) konsentrasi limbah 75%, (E) konsentrasi limbah 100%. Keterangan:

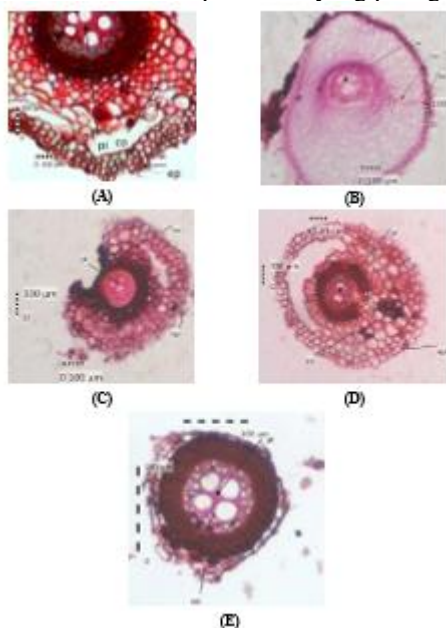
ad = epidermis adaksial, hy = hypodermis, vb = berkas pengangkut, pc = parenkim, ab = epidermis abaksial.

Tabel 2. Parameter anatomis daun *Cyperus rotundus* L. yang terpapar limbah perak cair.

Konsentrasi	Rata-rata ketebalan epidermis (µm)	Rata-rata ketebalan parenkim (µm)	Rata-rata ketebalan jaringan pembuluh (µm)
0%	12.92 ^a	15.06 ^b	75.98 ^c
25%	12.28 ^a	12.35 ^{ab}	54.18 ^a
50%	12.20 ^a	11.62 ^a	62.42 ^b
75%	13.79 ^a	12.86 ^{ab}	54.80 ^{ab}
100%	14.77 ^a	14.21 ^b	60.46 ^{ab}

Keterangan : Angka-angka yang diikuti abjad yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada taraf uji 5%.

Secara anatomis daun tanaman kontrol memiliki epidermis bawah dan epidermis atas serta berkas pengangkut yang tersusun oleh sel-sel utuh dan normal. Daun kontrol memiliki ukuran epidermis, jaringan pembuluh dan hipodermis normal. Rumput teki dengan penyiraman limbah konsentrasi 100% memiliki ukuran epidermis adaksial paling tebal. Tanaman dengan penyiraman limbah konsentrasi 100% juga memiliki epidermis abaksial yang mengalami kerusakan paling parah, selain itu bagian hypodermis juga mengalami kerusakan berat. Tanaman dengan penyiraman limbah cair industri perak konsentrasi 100% memiliki ukuran hypodermis paling besar diantara tanaman perlakuan yang lain. Tanaman dengan penyiraman limbah cair industri perak konsentrasi 100% juga memiliki ukuran berkas pembuluh yang paling besar.



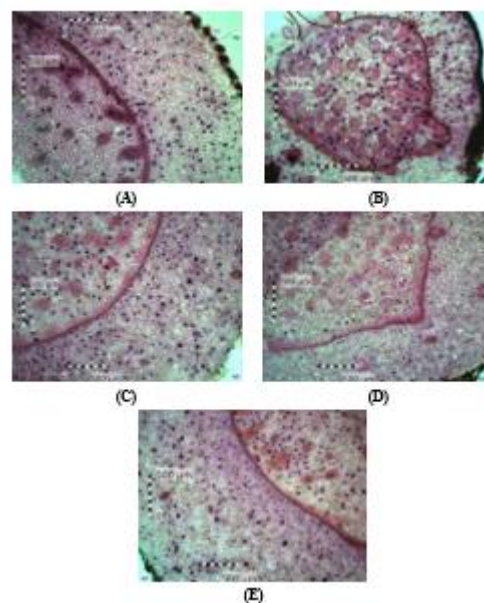
Gambar 2. Penampang lintang akar *Cyperus rotundus* L. setelah perlakuan limbah cair industri perak dengan perbesaran 10x. (A) kontrol, (B) konsentrasi limbah 25%, (C) konsentrasi limbah 50%, (D) konsentrasi limbah 75%, (E) konsentrasi limbah 100%. Keterangan: ep = epidermis, co = cortex, pi = stele.

Tabel 3. Parameter anatomis akar *Cyperus rotundus* L. yang terpapar limbah perak cair.

Konsentrasi	Rata-rata ketebalan epidermis (µm)	Rata-rata ketebalan parenkim (µm)	Rata-rata ketebalan jaringan pembuluh (µm)
0%	12.44 ^e	149.63 ^c	161.43 ^d
25%	10.11 ^d	136.67 ^c	139.23 ^c
50%	8.96 ^c	67.39 ^b	72.59 ^a
75%	7.81 ^b	68.06 ^b	62.83 ^a
100%	0 ^a	25.77 ^a	113.23 ^b

Keterangan : Angka-angka yang diikuti abjad yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada taraf uji 5%.

Akar rumput teki tersusun atas epidermis di lapisan paling luar, korteks dan stele. Stele pada akar tersusun atas perisikel dan berkas pengangkut. Epidermis dan korteks tanaman kontrol tidak mengalami kerusakan. Tanaman dengan perlakuan penyiraman limbah konsentrasi 100% terjadi lisis pada sel-sel penyusun epidermis dan korteks (Gambar 2C). Pengaruh adanya logam berat melebihi kadar optimal dapat menimbulkan sel tanaman kehilangan turgornya dan mempercepat proses penuaan hingga kematian (Handayanto et al., 2017).



Gambar 3. Penampang lintang tuber *Cyperus rotundus* L. setelah perlakuan limbah cair industri perak dengan perbesaran 4x. (A) kontrol, (B) konsentrasi limbah 25%, (C) konsentrasi limbah 50%, (D) konsentrasi limbah 75%, (E) konsentrasi limbah 100%. Keterangan: ep = epidermis, co = cortex, vb = jaringan pembuluh.

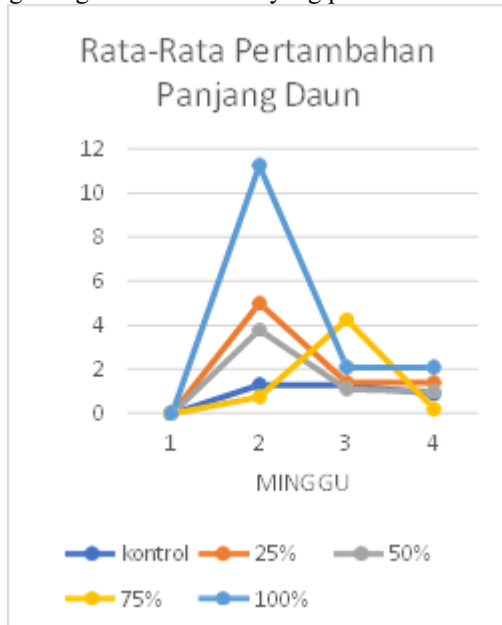
Tabel 4. Parameter anatomis tuber *Cyperus rotundus* L. yang terpapar limbah perak cair.

Konsentrasi	Rata-rata ketebalan epidermis (µm)	Rata-rata ketebalan cortex (µm)	Rata-rata ketebalan jaringan pembuluh (µm)
0%	21.02 ^c	931.24 ^b	154.55 ^c
25%	19.70 ^{cd}	734.70 ^{ab}	101.41 ^b
50%	16.50 ^{bc}	722.46 ^{ab}	59.96 ^a
75%	14.54 ^b	744.48 ^{ab}	53.52 ^a
100%	7.37 ^a	397.22 ^a	32.38 ^a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti abjad yang sama pada kolom yang sama menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada taraf uji 5%.

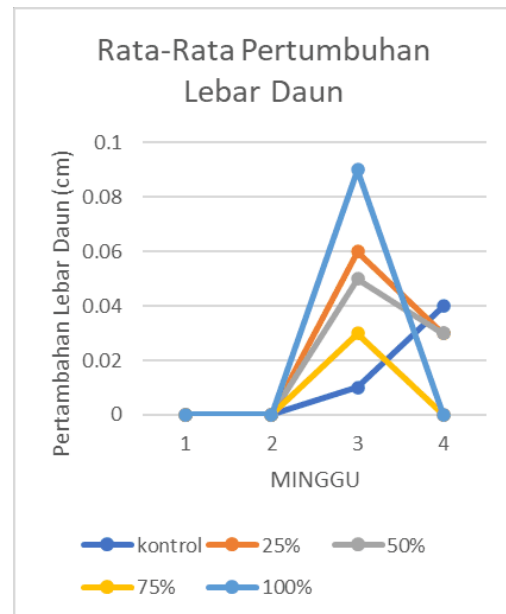
Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa tanaman perlakuan kontrol mengalami pertumbuhan yang optimal. Tanaman dengan perlakuan penyiraman limbah 25% jika dibandingkan dengan tanaman kontrol masih relatif sama rata-rata ketebalan pada semua

jaringannya. Pada rata-rata ketebalan cortex tanaman dengan penyiraman limbah 25%, 50%, dan 75% tidak memiliki perbedaan yang jauh. Pada grafik dapat dilihat juga bahwa tanaman dengan penyiraman limbah 100% memiliki rata-rata ketebalan epidermis, cortex, dan jaringan pembuluh yang paling kecil. Meskipun rata-rata ketebalan ketiga jaringannya kecil, namun tidak terdapat jaringan yang mengalami kerusakan yang parah atau lisis.



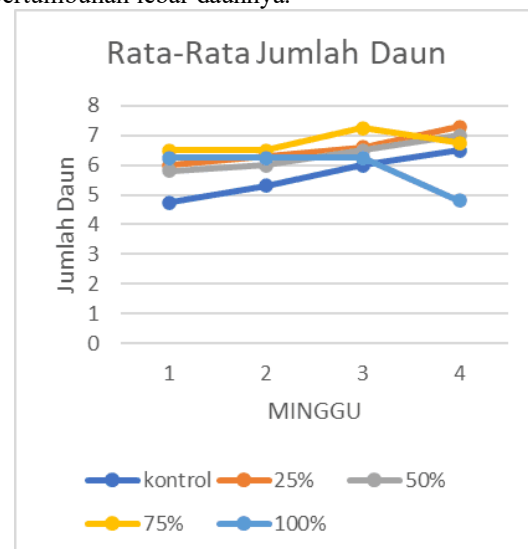
Gambar 4. Rerata pertambahan panjang daun rumput teki (*Cyperus rotundus* L.)

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa rata-rata pertambahan panjang daun tertinggi terjadi pada tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 100% yaitu pada minggu kedua dengan pertambahan panjang sebesar 11.25 cm. Namun setelah melewati minggu ke dua, tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 100% mengalami perlambatan pertumbuhan yang sangat signifikan yaitu dengan mengalami penambahan hanya sebesar 2.1 cm pada minggu ke-3 dan minggu ke-4. Rata-rata pertambahan panjang daun paling konstan terjadi pada tanaman kontrol dengan pertambahan panjang daun sebanyak 1.3 cm pada minggu kedua dan pertambahan panjang daun terendah pada minggu ke-4 sebanyak 0.9 cm saja. Rerata pertumbuhan yang tidak signifikan terjadi pada tanaman kontrol. Pada tanaman kontrol rata-rata pertumbuhan panjang daun cenderung konstan.



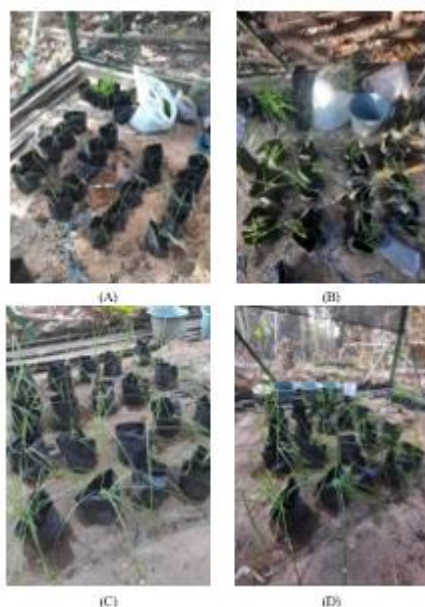
Gambar 5. Rerata pertumbuhan lebar daun rumput teki (*Cyperus rotundus* L.).

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat juga bahwa rata-rata pertumbuhan lebar daun tertinggi terjadi pada tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 100% yaitu pada minggu ketiga dengan pertambahan panjang sebesar 0,09 cm. Namun setelah melewati minggu ketiga, tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 100% mengalami perlambatan pertumbuhan yang sangat signifikan yaitu dengan tidak mengalami penambahan pada minggu ke-4. Rata-rata pertumbuhan panjang daun paling konstan terjadi pada tanaman kontrol dengan pertambahan panjang daun sebanyak 0,01 cm pada minggu ketiga dan mengalami pertumbuhan lagi sebesar 0,04 cm pada minggu keempat. Pada grafik juga terlihat setelah minggu ketiga, semua tanaman yang mendapat perlakuan limbah mengalami penurunan dalam laju pertumbuhan lebar daunnya.

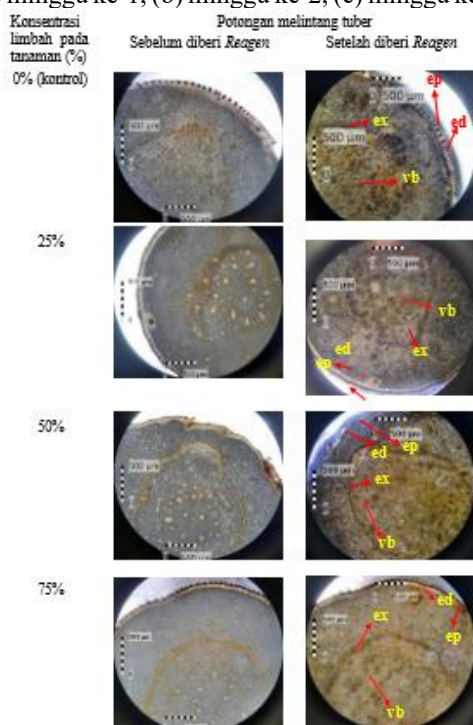


Gambar 6. Rerata pertumbuhan lebar daun rumput teki (*Cyperus rotundus* L.).

Jumlah daun berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa penambahan rerata jumlah daun terbesar dimiliki oleh tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 75% pada minggu ketiga dengan penambahan rata-rata sebesar 0.75. Pada tanaman kontrol, 25%, dan 50% selalu mengalami peningkatan rerata jumlah daun hingga minggu ke 4. Untuk tanaman dengan konsentrasi 75% dan 100% mengalami penurunan jumlah daun pada minggu ke 3. Penurunan jumlah daun terbanyak dimiliki oleh tanaman dengan penyiraman limbah berkonsentrasi 100% sebesar 1.45 lembar daun.

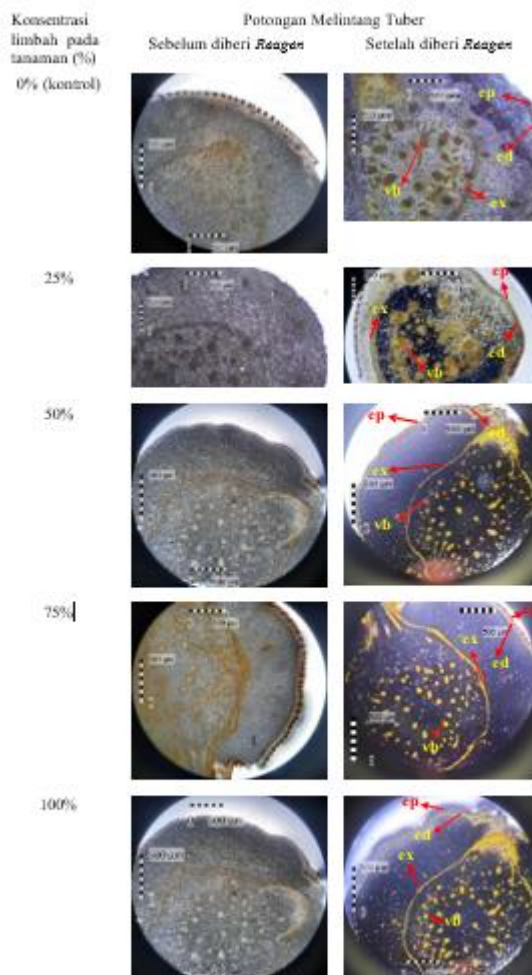


Gambar 7. Pertumbuhan rumput teki (*Cyperus rotundus* L.) yang diperlakukan dengan limbah cair industri perak setiap minggu. Keterangan: (a) minggu ke-1, (b) minggu ke-2, (c) minggu ke-3.



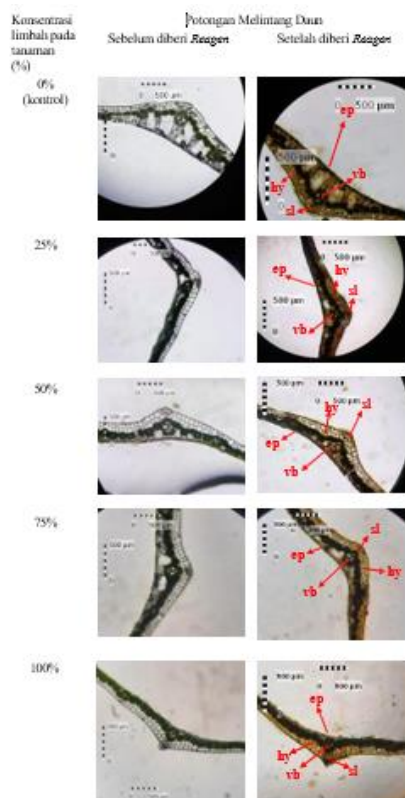
Keterangan: epidermis (ep), endodermis (ed), exodermis (ex), jaringan pembuluh (vb).

Gambar 8. Perbandingan kandungan metabolit sekunder fenolik pada tuber rumput teki setelah diberi perlakuan (reagen).



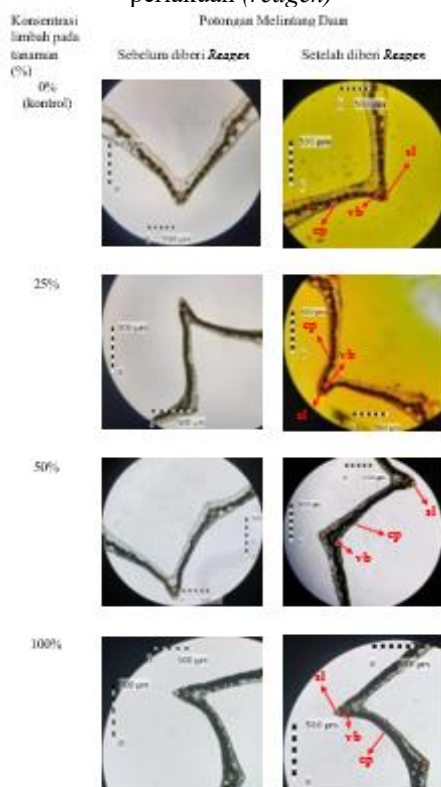
Keterangan: epidermis (ep), endodermis (ed), exodermis (ex), jaringan pembuluh (vb).

Gambar 9. Perbandingan kandungan metabolit sekunder alkaloid pada tuber rumput teki setelah diberi perlakuan (reagen).



Keterangan: epidermis (ep), serot sklerenkim (sl), hypodermis (hy), jaringan pembuluh (vb).

Gambar 10. Perbandingan kandungan metabolit sekunder fenolik pada daun rumput teki setelah diberi perlakuan (*reagen*)



Keterangan: epidermis (ep), serot sklerenkim (sl), jaringan pembuluh (vb).

Gambar 11. Perbandingan kandungan metabolit sekunder fenolik pada daun rumput teki setelah diberi perlakuan.

Tabel 5. Data parameter lingkungan lokasi penanaman kebun Sawit Sari.

Parameter	Kontrol	25 %	50 %	75 %	100 %
Intensitas cahaya	302/100.000 lux				
Temperatur udara (°C)		28.5			
Temperatur tanah (°C)	28	28	27	27	27
Kelembapan udara		68%			
Tekanan udara		994.2			
Ph tanah			7		
Altitude (m)		161			

Intensitas cahaya pada lokasi penanaman *Cyperus rotundus* L. sebesar 302/100.000 lux. Rata-rata suhu tanahnya adalah 27.4°C. Suhu udara di lokasi penanaman yaitu 28.5°C. Kelembaban udara sebesar 68%. pH tanah memiliki nilai sebesar 7. Parameter lingkungan tersebut sesuai untuk pertumbuhan tanaman rumput teki.

Pembahasan

Berdasarkan gambar 1 dan tabel 2, secara anatomis, daun rumput teki memiliki lapisan epidermis adaksial dan abaksial yang berfungsi sebagai perlindungan dari lingkungan luar. Di bawah epidermis terdapat serat-serat sklerenkim sebagai jaringan penyokong dan jaringan hipodermis sebagai tempat penyimpanan air. Ada juga jaringan aerenkim sebagai kantung udara di bagian bawah epidermis abaksial. Tanaman kontrol menunjukkan struktur daun yang normal dengan epidermis, pembuluh, dan hipodermis yang utuh. Namun, tanaman yang terpapar limbah cair industri perak, terutama dengan konsentrasi 100%, menunjukkan perubahan yang signifikan. Epidermis adaksial pada tanaman yang terpapar limbah cenderung lebih tebal, sementara epidermis abaksial mengalami kerusakan yang parah. Pada umumnya epidermis atas daun mengakumulasi lebih banyak logam berat daripada epidermis daun bagian bawah karena sel yang menyusun jaringan sisi atas daun lebih besar dari sel yang menyusun jaringan sisi bawah daun seperti yang dikatakan Seregin & Kozhevnikova (2008).

Tanaman ini juga memiliki hipodermis yang membesar dan pembuluh yang lebih besar. Paparan logam berat cenderung mengakibatkan sel-sel jaringan mengalami lisis, yang disebabkan oleh akumulasi logam berat dan induksi reaksi oksidatif yang berlebihan, mengganggu metabolisme tanaman dan mengurangi pertumbuhan optimal bahkan bisa menyebabkan kematian. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi logam berat yang melampaui batas optimal memiliki dampak negatif pada struktur dan pertumbuhan tanaman rumput teki. Konsentrasi logam yang melampaui batas optimal berpengaruh buruk bagi tanaman karena logam berat tidak dapat didekomposisi (Handayanto et al., 2017).

Berdasarkan gambar 2 dan tabel 3, struktur akar rumput teki terdiri dari beberapa lapisan,

termasuk epidermis, korteks, dan stele yang terdiri dari perisikel dan berkas pengangkut. Pada tanaman kontrol, epidermis dan korteks akar menunjukkan integritas yang utuh tanpa adanya kerusakan yang signifikan. Namun, pada tanaman yang terpapar limbah dengan konsentrasi 100%, terjadi lisis pada sel-sel epidermis dan korteks akar. Hal ini mengindikasikan bahwa paparan logam berat dalam limbah dapat menyebabkan kerusakan yang cukup parah pada struktur akar, yang pada gilirannya dapat mengganggu kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi dan air serta mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan keseluruhan tanaman. Pengaruh adanya logam berat melebihi kadar optimal dapat menimbulkan sel tanaman kehilangan turgornya dan mempercepat proses penuaan hingga kematian (Handayanto et al., 2017).

Proses penyerapan logam berat oleh akar rumput teki terjadi melalui beberapa mekanisme, termasuk difusi mengikuti aliran air dan pengikatan dengan polisakarida atau kompleks dengan asam amino organik. Logam yang diserap oleh akar sebagian besar tersimpan di dalam sel akar dan hanya sedikit yang di translokasi ke pucuk tanaman kecuali dibantu oleh kelat, hiperakumulator atau mikrobial karena adanya hambatan fisik berupa pita kaspari pada akar tanaman dan adanya ruang intraseluler untuk mengendapkan garam logam yang tidak larut serta pengikatan dalam vakuola sel kortikal atau rhizodermal (Shahid et al., 2016). Proses ini juga dapat dipengaruhi oleh faktor seperti keberadaan kelat, hiperakumulator, atau mikroba yang membantu dalam translokasi logam berat ke bagian atas tanaman. Hal ini menunjukkan kompleksitas interaksi antara tanaman dan logam berat dalam lingkungan yang tercemar, yang berdampak pada keseimbangan ekosistem dan kesehatan tanaman secara keseluruhan.

Berdasarkan gambar 3 dan tabel 4, anatomi tuber tanaman rumput teki menggambarkan bahwa tingkat paparan limbah secara langsung berkorelasi dengan dampaknya terhadap struktur jaringan tanaman. Tanaman kontrol menunjukkan pertumbuhan yang optimal dengan struktur jaringan yang sehat, sedangkan tanaman yang terpapar limbah dengan konsentrasi yang tinggi menunjukkan penurunan ketebalan jaringan, terutama pada perlakuan dengan konsentrasi limbah 100%. Meskipun demikian, tidak ada tanda-tanda kerusakan parah atau lisis pada jaringan, menunjukkan adanya toleransi tertentu terhadap paparan limbah. Tuber rumput teki berperan penting dalam produksi metabolit sekunder dan penyimpanan cadangan makanan, serta memiliki peran dalam proses reproduksi. Namun, tren penurunan ketebalan jaringan terlihat seiring dengan peningkatan konsentrasi limbah yang diberikan, menandakan pengaruh negatif yang lebih besar pada struktur jaringan akibat paparan limbah yang lebih tinggi.

Rumput teki dikenal sebagai tanaman yang toleran terhadap logam berat dan memiliki mekanisme fitostabilisasi yang kuat, yang memungkinkannya untuk menahan akumulasi logam berat di organ dasarnya seperti akar, umbi, dan umbi. Secara eko-fisiologis, tanaman toleran logam berat menggunakan dua mekanisme di bawah tekanan yaitu mekanisme yang pertama adalah “Excluders sensu Baker”, yang mencegah translokasi logam dari akar ke pucuk, sehingga logam di pucuk tetap pada konsentrasi rendah (Chipeng et al. 2010; Lange dkk. 2016). Mekanisme utama yang kedua adalah “akumulasi,” di mana ion tembaga bertranslokasi ke tunas dan terkonsentrasi di jaringan organ di atas tanah. Meskipun demikian, pertumbuhan umbi terhambat terutama pada perlakuan dengan konsentrasi limbah tertinggi, karena organ dasarnya sudah mencapai batas kemampuannya menampung logam berat. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan akar dan daun serta menghambat metabolisme tanaman secara keseluruhan. Namun, dalam penelitian ini, tidak banyak terlihat kerusakan pada jaringan- jaringan umbi dibandingkan dengan akar dan daun, menunjukkan tingkat toleransi yang lebih tinggi pada organ tersebut.

Berdasarkan gambar 5, 6, dan 7, dapat dilihat terdapat gambaran tentang bagaimana perlakuan penyiraman limbah industri perak memengaruhi pertumbuhan tanaman rumput teki secara signifikan. Terlihat bahwa tanaman yang terpapar limbah dengan konsentrasi tinggi cenderung mengalami perlambatan pertumbuhan yang sangat nyata setelah fase pertumbuhan awal yang cepat. Hal ini dapat dilihat dari penurunan pertumbuhan panjang dan lebar daun, serta penurunan jumlah daun pada tanaman yang terkena perlakuan limbah dengan konsentrasi

100%. Limbah tersebut menghambat pertumbuhan daun karena kandungan logam berat yang bersifat racun bagi tanaman, yang mengakibatkan perubahan fisiologis dalam organ tanaman. Limbah cair industri perak menghambat pertumbuhan daun yang meliputi panjang dan lebar daun karena logam berat yang terkandung didalam limbah bersifat racun bagi tanaman sehingga menyebabkan terjadi perubahan fisiologis organ tanaman (Handayanto et al., 2017). Meskipun demikian, Tanaman dapat melakukan toleransi dengan mengembangkan sistem metabolik melalui sintesis senyawa pengikat logam berat, sekuestrasinya oleh vakuola dan pengaktifan enzim antioksidan (Shahid et al., 2016).

Meskipun terdapat perlambatan pertumbuhan, tanaman yang terkena perlakuan limbah masih menunjukkan pertumbuhan hingga mencapai suatu titik tertentu, menandakan kemampuan adaptasi mereka terhadap kondisi lingkungan yang berubah. Tanaman mungkin tetap bertahan dalam kondisi lingkungan yang toksik hingga titik tertentu, sebelum kemampuan mereka untuk bertahan mengalami penurunan. Namun, jika kandungan toksik dalam

lingkungan melebihi batas toleransi tanaman, ini dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan bahkan kematian tanaman.

Hasil ini menggarisbawahi pentingnya memahami dampak limbah industri terhadap pertumbuhan tanaman dan kesehatan lingkungan secara keseluruhan. Tanaman yang mampu menunjukkan toleransi terhadap kondisi lingkungan yang toksik dapat memberikan wawasan tentang strategi adaptasi tanaman dalam menghadapi tantangan lingkungan yang ekstrim. Pemahaman ini dapat menjadi landasan untuk pengembangan praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam mengelola limbah industri dan melindungi kesehatan lingkungan.

Berdasarkan gambar 8 dan 9 tersebut menggambarkan perubahan yang terjadi pada tuber rumput teki sebagai respons terhadap perlakuan limbah industri. Perubahan tersebut mencakup adanya metabolit sekunder fenolik dan alkaloid, ditandai dengan perubahan warna menjadi kecoklatan dan oranye kecoklatan pada jaringan tuber. Fenolik dan alkaloid terdistribusi di berbagai bagian tuber, termasuk epidermis, exodermis, endodermis, dan jaringan pembuluh.

Perbedaan antara tanaman kontrol dan yang terkena perlakuan limbah 25% tidak begitu signifikan, mungkin karena tanaman masih mampu mentoleransi logam berat pada konsentrasi tersebut. Namun, pada perlakuan dengan konsentrasi yang lebih tinggi, perubahan warna pada jaringan tuber menjadi lebih jelas, menunjukkan dampak yang semakin besar dari paparan limbah industri. Tuber rumput teki memiliki peran penting dalam reproduksi dan perkembangbiakan tanaman tersebut.

Menurut Riskitavani, D.V. dan Purwani,

K.I. (2013) fenolik sendiri memiliki fungsi sebagai herbisida, sedangkan alkaloid berfungsi sebagai racun untuk melindungi tanaman dari serangan dari luar. Maka dari itu tidak salah jika metabolit sekunder rumput teki banyak ditemukan pada tuber agar rumput teki dapat terus bersaing.

Berdasarkan gambar 10 dan 11, menggambarkan perubahan pada daun rumput teki, menunjukkan adanya metabolit sekunder fenolik dan alkaloid dengan perubahan warna menjadi oranye kecoklatan. Fenolik ditemukan tersebar di berbagai jaringan seperti epidermis, hypodermis, serat sklerenkim, dan jaringan pembuluh, sedangkan alkaloid terdapat di epidermis, serat sklerenkim, dan jaringan pembuluh. Perlakuan limbah pada tingkat 25% tidak menghasilkan perbedaan yang signifikan, yang mungkin disebabkan oleh toleransi tanaman terhadap logam berat pada konsentrasi tersebut.

Namun, pada tingkat perlakuan 50%, 75%, dan 100%, perubahan warna yang lebih jelas terlihat pada organ-organ seperti epidermis, hypodermis, serat sklerenkim, dan jaringan pembuluh. Hal ini menunjukkan bahwa tanaman mulai merespons secara aktif terhadap tekanan lingkungan yang lebih

tinggi dengan meningkatkan produksi metabolit sekunder. Respons ini menandakan bahwa tanaman merasa terancam dan mengadopsi strategi adaptasi yang lebih kuat untuk bertahan hidup dalam kondisi yang tidak mendukung. Metabolit sekunder secara umum akan meningkat akumulasinya di dalam tubuh tanaman pada saat tanaman mengalami cekaman lingkungan (Hopkins, 1999).

Berdasarkan tabel 5, Intensitas cahaya pada lokasi penanaman *Cyperus rotundus* L. sebesar 302/100.000 lux. Rata-rata suhu tanahnya adalah

27.4°C . Suhu udara di lokasi penanaman yaitu

28.5°C. Kelembaban udara sebesar 68%. pH tanah memiliki nilai sebesar 7. Parameter lingkungan tersebut sesuai untuk pertumbuhan tanaman rumput teki.

Penyiraman limbah cair industri perak tidak menyebabkan turunnya pH tanah. Hal tersebut mungkin terjadi karena sebagian logam berat telah diserap oleh tanaman rumput teki. Logam yang diserap dari media oleh sel-sel pada akar akan mengikuti aliran transpirasi yang nantinya mencapai daun, sedangkan akumulasi logam yang diserap oleh tanaman akan membentuk mekanisme sel dan akan ikut terserap bersamaan dengan air yang dibutuhkan sebagai nutrisi (Lasat, 2003). Suhu tanah pada perlakuan penyiraman limbah 25% sama seperti tanaman kontrol karena konsentrasi tersebut masih terlalu rendah untuk menimbulkan perbedaan, sedangkan suhu tanah pada perlakuan penyiraman limbah konsentrasi 50%, 75%, dan 100% lebih rendah sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi limbah menyebabkan suhu tanah menjadi semakin rendah.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan berdasarkan penelitian pengaruh limbah produksi perak terhadap anatomi dan kandungan fenolik serta alkaloid *Cyperus rotundus* L. yaitu rumput teki berpotensi dalam bioremediasi yang ditunjukkan dengan:

1. konsentrasi limbah perak yang semakin tinggi dapat menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman pada titik tertentu. Tanaman rumput teki dapat mengalami pertumbuhan yang cepat karena mendapat cekaman dari logam berat, namun pada titik tertentu rumput teki sudah tidak dapat mentoleransi cekaman yang terbukti dengan kurang optimalnya pertumbuhan jumlah daun, panjang daun, dan lebar daun rumput teki.
2. Semakin tinggi konsentrasi limbah perak, semakin besar perubahan anatomi, termasuk penipisan epidermis pada daun dan akar, peningkatan diameter berkas pengangkut daun, penurunan ketebalan parenkim daun, dan penurunan ukuran jaringan pada tuber.
3. Dengan pemberian logam berat pada tanaman uji, fenolik dan alkaloid tetap terproduksi pada daun dan tuber rumput teki seperti hasil uji

laboratorium yang telah di dapat.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan sumber daya untuk penelitian ini. Dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak telah memperkaya dan memperluas cakupan penelitian kami. Semua informasi pendanaan yang diperlukan akan disampaikan dengan transparan dan jujur, sesuai dengan prinsip akademik dan etika. Sekali lagi, terima kasih atas kontribusi dan dukungan yang berharga dari para pemberi dana dan semua pihak terkait.

5. REFERENSI

- Chipeng, F.K., Hermans, C., Colinet, G., Faucon, M.P., Ngongo, M., Meerts, P. and Verbruggen, N., 2010. Copper tolerance in the cuprophyte *Haumaniastrum katangense* (S. Moore) PA Duvign. & Plancke. *Plant and Soil*, 328, pp.235-244.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N. & Fiqri, A. 2017. Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah. UB Press: Malang. Halaman 15-25.
- Hopkins, W.G. 1999. Introduction to Plant Physiology. Toronto: John Wiley and Sons, Inc.
- Lange, B., Pourret, O., Meerts, P., Jitaru, P., Cancès, B., Grison, C. and Faucon, M.P., 2016. Copper and cobalt mobility in soil and accumulation in a metallophyte as influenced by experimental manipulation of soil chemical factors. *Chemosphere*, 146, pp.75-84.
- Lasat, M. M. 2003. The Use of Plants for the Removal of Toxic Metals from Contaminated Soil. American Association for the Advancement of Science Environmental Science and Engineering Fellow.
- Moreno-Garrido, I., Pérez, S. and Blasco, J., 2015. Toxicity of silver and gold nanoparticles on marine microalgae. *Marine environmental research*, 111, pp.60-73.
- Ranti, M.A.D., Suryani, N.N. and Budiasa, I.K.M., 2017. Pengaruh Pemberian Kadar Air Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Produksi Hijauan Tanaman Indigofera Zollingeriana. *Jurnal Peternakan Tropika*, 5(1).
- Ratte, H.T., 1999. Bioaccumulation and toxicity of silver compounds: a review. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 18(1), pp.89-108.
- Riskitavani, D.V. and Purwani, K.I., 2013. Studi potensi bioherbisida ekstrak daun ketapang (*Terminalia catappa*) terhadap gulma rumput teki (*Cyperus rotundus*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), pp.E59-E63.
- Seregin, I.V. and Kozhevnikova, A.D., 2008. Roles of root and shoot tissues in transport and accumulation of cadmium, lead, nickel, and strontium. *Russian Journal of Plant*

Physiology, 55, pp.1-22.

- Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T & Niazi, N. K. 2016. Foliar Heavy Metal Uptake, Toxicity and Detoxification in Plants: A Comparison of Foliar and Root Metal Uptake. *Jurnal of Hazardous Materials*. 325(2017): 36-58.
- Siahaan, B.C., Utami, S.R. and Handayanto, E., 2014. Fitoremediasi tanah tercemar merkuri menggunakan *Lindernia crustacea*, *Digitaria radicosaa*, dan *Cyperus rotundus* serta pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(2), pp.35- 51.