

KETAHANAN BIBIT KAYU PUTIH (*Melaleuca cajuputi*) PADA BERBAGAI MEDIA TERCEMAR AIR ASAM TAMBANG

Cajeput Seedlings Endurances to Various Media Contaminated by Acid Mine Drainage

Irdika Mansur^{1*}, Aditya Rizkyandana², dan Priyanto³

(Diterima 19 November 2021 /Disetujui 13 Oktober 2022)

ABSTRACT

Cajeput (Melaleuca cajuputi) is widely used as a post-mining revegetation plant. The addition of organic matter to post-mining land can improve the physical, chemical, and biological conditions of the soil that lead on to increasing growth and endurance of cajeput in polluted land by acid mine drainage. This study aims to analyze the effect of compost mixture media and roasted husk mixture media to endurance and growth of cajeput seedling and also to analyze the effect of acid mine drainage concentration on the endurances of cajeput seedling on various media. This study used a completely randomized design with two factors consisting of acid mine drainage concentration and type of media. The results of this study indicate that the concentration of acid mine drainage has no significant effect on the growth of height, diameter, and number of leaves, also on total wet weight, total dry weight, moisture content, and root length while the type of media used has a significant effect on growth in height, diameter, and the number of leaves.

Keywords: acid mine drainage, compost, Melaleuca cajuputi, roasted husk

ABSTRAK

Kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) telah digunakan sebagai tanaman revegetasi lahan pasca tambang. Pemberian bahan organik pada lahan pasca tambang dapat memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Kondisi tanah yang baik akan meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan kayu putih pada kondisi tercemar air asam tambang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh campuran tanah dan kompos serta campuran tanah dan arang sekam terhadap ketahanan dan pertumbuhan bibit kayu putih yang tercemar air asam tambang serta menganalisis pengaruh tingkat konsentrasi cemar air asam tambang terhadap ketahanan bibit kayu putih pada berbagai media tanam. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan dua faktor yang terdiri dari konsentrasi air asam tambang dan jenis media tanam. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh interaksi antar faktor dan faktor tunggal konsentrasi air asam tambang terhadap persentase hidup, pertumbuhan tinggi, diameter, dan pertambahan jumlah daun, berat basah total, berat kering total, kadar air, dan panjang akar sedangkan media tanam yang digunakan memberikan pengaruh nyata terhadap persentase hidup, pertumbuhan tinggi, diameter, dan pertambahan jumlah daun.

Kata kunci : air asam tambang, arang sekam, *Melaleuca cajuputi*, pupuk kompos

¹ Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

² Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, IPB University
Jl. Ulin Kampus IPB, Dramaga, Bogor, Jawa Barat, Indonesia 16680

* Penulis korespondensi:
e-mail: irdikam@gmail.com

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumber daya mineral dalam bentuk pertambangan mempunyai manfaat yang besar khususnya untuk mendorong perekonomian Indonesia. Namun kegiatan pertambangan juga memberi dampak negatif bagi lingkungan. Dampak dari kegiatan pertambangan adalah terbukanya lapisan tanah yang sangat dalam sehingga merusak sifat fisik, kimia, hingga biologis tanah. Rusaknya sifat tanah ini menyebabkan lahan pasca tambang menjadi lahan yang tidak produktif dan merugikan bagi keseimbangan ekosistem maupun keadaan sosial masyarakat sekitarnya. Selain itu kegiatan pertambangan dapat menghasilkan bahan-bahan berbahaya bagi makhluk hidup seperti limbah sisa pengolahan mineral (*tailing*) dan air asam tambang. Air asam tambang sangat berbahaya bagi lingkungan karena memiliki kadar keasaman yang tinggi dan sering kali mengandung bahan logam berbahaya untuk makhluk hidup. Sesuai Undang Undang No. 4 tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batu bara disebutkan bahwa kegiatan pertambangan meliputi kegiatan pasca tambang yang selanjutnya dijelaskan melalui Peraturan Menteri ESDM No. 26 tahun 2018 bahwa kegiatan pasca tambang meliputi seluruh kegiatan usaha pertambangan untuk memulihkan fungsi lingkungan alam dan fungsi sosial menurut kondisi lokal di seluruh wilayah pertambangan.

Pemulihan lahan pasca tambang untuk mengembalikan fungsi lingkungan alam dan fungsi sosial bisa disebut sebagai upaya rehabilitasi. Kegiatan rehabilitasi lahan meliputi kegiatan reklamasi, yakni merupakan usaha untuk memperbaiki lahan yang rusak sebagai akibat dari kegiatan penambangan, agar dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan kemampuannya, yang kemudian diikuti oleh kegiatan revegetasi yaitu kegiatan penanaman kembali di dalam kawasan hutan yang rusak. Kegiatan evaluasi terhadap kegiatan reklamasi dan revegetasi, selanjutnya dilakukan agar dapat diketahui tingkat keberhasilan yang telah dicapai (Putra 2010). Jenis yang digunakan untuk revegetasi juga harus dapat bertahan pada kondisi lahan marjinal dan tahan terhadap cemaran pada lahan bekas tambang khususnya air asam tambang.

Salah satu jenis yang telah digunakan sebagai tanaman revegetasi lahan pasca tambang adalah pohon kayu putih (*Melaleuca cajuputi*). Kayu putih merupakan jenis yang dapat bertahan pada tanah yang tercemar air asam tambang karena kemampuannya hidup pada tanah masam, kering maupun tergenang. Selain itu daunnya bermanfaat untuk menghasilkan minyak kayu putih (Mansur 2010). Pemberian bahan organik pada lahan pasca tambang dapat memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah. Kondisi tanah yang baik akan meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan kayu putih pada kondisi tercemar air asam tambang.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemberian bahan organik seperti kompos (Murdianti 2018) dan arang sekam (Purnama 2021) dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman pada kondisi tercemar logam berat. Kedua jenis media tersebut diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan kayu putih pada cemaran air asam tambang. Penelitian yang

dilakukan Sekarjannah (2021) menyatakan bahwa bahan organik memiliki kemampuan untuk menetralkan air asam tambang sehingga mendukung pertumbuhan tanaman revegetasi di lahan pasca tambang.

Penelitian ini bertujuan 1) menganalisis pengaruh media tanam campuran tanah dan kompos serta campuran tanah dan arang sekam terhadap ketahanan dan pertumbuhan kayu putih yang tercemar air asam tambang, 2) menganalisis pengaruh tingkat konsentrasi cemaran air asam tambang terhadap ketahanan kayu putih di berbagai media tanam. Manfaat penelitian ini adalah mendapatkan jenis media tanam yang dapat mendukung pertumbuhan bibit kayu putih pada cemaran air asam tambang sehingga dapat bermanfaat dalam upaya rehabilitasi lahan pasca tambang menggunakan tanaman kayu putih.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Maret hingga Juni 2021 di Rumah Kaca, Departemen Silviculture, Institut Pertanian Bogor. Analisis air asam tambang, dilakukan di Laboratorium Analisa Air dan Udara SEAMEO BIOTROP Bogor, Jawa Barat.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu gelas plastik, mangkuk *styrofoam*, timbangan analitik, kaliper, penggaris, pH meter, alat tulis, alat penyiram, kamera digital, berbagai *software* antara lain Microsoft Word 2019, Microsoft Excel 2019, dan SPSS 25. Bahan yang dibutuhkan adalah tanah, air sumur, bubuk H₂SO₄, bubuk FeSO₄, bubuk MnSO₄, pupuk NPK, pupuk kompos, arang sekam, lidi dan bibit kayu putih ukuran dengan tinggi 5-10 cm.

Prosedur dan Analisis Data

Penyiapan bibit dan media tanam

Bibit kayu putih berumur ±4 bulan dengan rata-rata tinggi 5-10 cm, sehat, bebas hama dan penyakit. Penelitian ini menggunakan dua faktor yang terdiri dari enam perlakuan. Setiap perlakuan terdiri dari lima ulangan sehingga dalam penelitian ini dibutuhkan 30 bibit kayu putih.

Persiapan air asam tambang

Air asam tambang sintetis diproduksi dengan mencampurkan air (H₂O) dengan asam sulfat (H₂SO₄) yang kemudian diberikan logam Fe dan Mn melalui penambahan FeSO₄ dan MnSO₄ menggunakan perhitungan Cocos *et al.* (2002).. Setelah itu, dilakukan pengukuran pH untuk memastikan bahwa pH sudah sesuai dengan kriteria nilai pH air asam tambang (nilai pH 2-3). Selanjutnya air asam tambang sintetis yang sudah jadi dipisahkan untuk diberi perlakuan konsentrasi air asam tambang 50% (K1) dengan pengenceran menggunakan air (H₂O).

Penyapihan dan pemberian air asam tambang

Penyapihan dilakukan pada pagi hari pukul 07.00 – 09.00 WIB untuk menghindari terjadinya penguapan yang berlebihan. Bibit dipindahkan dari *polybag* ke gelas plastik berisi media mengikutsertakan media tanahnya untuk menghindari kondisi stres pada bibit. Selanjutnya bibit kayu putih yang sudah disapih ke gelas plastik diletakkan ke dalam mangkuk *styrofoam* lalu diisi air hingga merendam setengah gelas plastik. Bibit diberikan waktu untuk menyesuaikan diri atau disebut dengan aklimatisasi dengan keadaan terendam tanpa disiram selama dua minggu setelah itu air diganti dengan air asam tambang sintesis.

Pemeliharaan dan Pengamatan

Pengisian air asam tambang ke mangkuk *styrofoam* dalam rentang satu minggu sekali untuk mempertahankan kondisi tanah agar tetap basah dan menjaga ketersediaan air untuk tanaman. Air asam tambang diisi hingga merendam setengah gelas plastik. Pengambilan data dilakukan berdasarkan parameter pertumbuhan.

Data yang dikumpulkan selama tujuh minggu pengamatan antara lain:

Persentase Hidup. Perbandingan antara jumlah ulangan bibit kayu putih yang hidup dengan jumlah bibit yang ditanam setiap perlakuan di akhir pengamatan.

Tinggi Bibit. Tinggi diukur dari pangkal batang hingga ujung daun terpanjang menggunakan penggaris.

Diameter Bibit. Diameter diukur dengan menggunakan kaliper pada ketinggian ± 5 cm di atas permukaan media.

Jumlah Daun. Jumlah daun dihitung dengan menghitung jumlah daun yang masih ada pada tanaman.

Data yang dikumpulkan setelah tujuh minggu pengamatan antara lain:

Berat Basah (BB). BB dihitung dengan menimbang berat pucuk (batang dan daun) dan akar menggunakan timbangan analitik

Berat Kering Total (BKT). BKT didapat dari penjumlahan berat kering pucuk dan berat kering akar yang didapat dengan cara menimbang pucuk dan akar yang telah dikering udarkan pada suhu 105°C selama 24 jam. Pucuk dan akar tersebut ditimbang menggunakan timbangan analitik

Rancangan Percobaan

Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan dua faktor yaitu konsentrasi air asam tambang (taraf K0: 100% dan K1: 50%) dan jenis media tanam yang digunakan (taraf M0: tanah, M1: campuran tanah dan kompos, dan M2: campuran tanah dan arang sekam). Komposisi perlakuan pada RAL Faktorial ini dapat

Tabel 1 Komposisi rancangan percobaan faktor konsentrasi air asam tambang dan media tanam

Konsentrasi Air Asam Tambang	Media Tanam		
	M0	M1	M2
K0	K0M0	K0M1	K0M2
K1	K1M0	K1M1	K1M2

dilihat pada Tabel 1. RAL Faktorial menggunakan lima ulangan sehingga berdasarkan kombinasi perlakuan dan jumlah ulangan setiap kombinasi, unit pengamatan yang diperlukan dalam penelitian sebanyak 30 bibit kayu putih.

Analisis Data

Analisis data dengan *software Ms. Excel* dan SPSS 25. Pengaruh perlakuan pada variabel diamati dilakukan menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada selang kepercayaan 95%. Kriteria pengambilan keputusan data, yakni:

- Nilai *P-Value*. Sig. > 0,05 maka perlakuan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap variabel diamati.
- Nilai *P-Value*. Sig. < 0,05 maka perlakuan memberikan pengaruh nyata terhadap variabel diamati dan dilanjutkan dengan uji jarak *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pertumbuhan bibit kayu putih pada setiap kombinasi perlakuan dari Rancangan Acak Lengkap Faktorial diperoleh pada minggu ketujuh memberikan hasil pengujian ANOVA yang bervariasi. Hasil sidik ragam percobaan RAL Faktorial pengaruh faktor konsentrasi air asam tambang dan media tanam serta interaksi kedua faktor tersebut terhadap parameter pertumbuhan bibit kayu putih secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi hasil sidik ragam faktor konsentrasi air asam tambang dan media tanam terhadap variabel pertumbuhan bibit kayu putih

Parameter	Perlakuan		
	Konsentrasi AAT	Media Tanam	Konsentrasi AAT x Media Tanam
Persen Hidup	0,397 ^{tn}	0,002*	0,690 ^{tn}
Tinggi	0,349 ^{tn}	0,009*	0,429 ^{tn}
Diameter	0,825 ^{tn}	0,028*	0,671 ^{tn}
Jumlah Daun	0,988 ^{tn}	0,003*	0,607 ^{tn}
Panjang Akar	0,543 ^{tn}	0,946 ^{tn}	0,730 ^{tn}
BB	0,459 ^{tn}	0,772 ^{tn}	0,747 ^{tn}
BKA	0,599 ^{tn}	0,582 ^{tn}	0,299 ^{tn}
BKP	0,946 ^{tn}	0,946 ^{tn}	0,730 ^{tn}
BKT	0,361 ^{tn}	0,139 ^{tn}	0,587 ^{tn}
KA	0,922 ^{tn}	0,114 ^{tn}	0,768 ^{tn}
NPA	0,480 ^{tn}	0,894 ^{tn}	0,006 ^{tn}

Keterangan: * = perlakuan berpengaruh nyata pada selang kepercayaan 95%, tn = perlakuan tidak berpengaruh nyata pada selang kepercayaan 95%. BB = berat basah, BKA = berat kering akar, BKP = berat kering pucuk, BKT = berat kering total, KA = kadar air, NPA = nisbah pucuk akar.

Persentase Hidup Bibit

Berdasarkan hasil pengamatan persentase hidup bibit kayu putih diketahui adanya penurunan persentase hidup bibit setelah minggu keempat, yaitu setelah diberikan penambahan air asam tambang sintesis pada 30 bibit tanaman kayu putih dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Bibit kayu putih pada media campuran tanah dan kompos (M1) memiliki persentase hidup paling tinggi (Tabel 3). Persentase hidup bibit kayu putih pada berbagai konsentrasi air asam tambang adalah 47% dan 53% (Tabel 4).

Bibit kayu putih pada perlakuan media campuran tanah dan kompos (M1) memiliki persentase hidup yang tinggi dan cenderung stabil dibandingkan media tanah dan media campuran tanah dan arang sekam (Gambar 1). Sebagian besar bibit pada media campuran tanah dan kompos memiliki kondisi sehat tanpa gejala stres

Tabel 3 Rekapitulasi persentase hidup bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai media di akhir pengamatan.

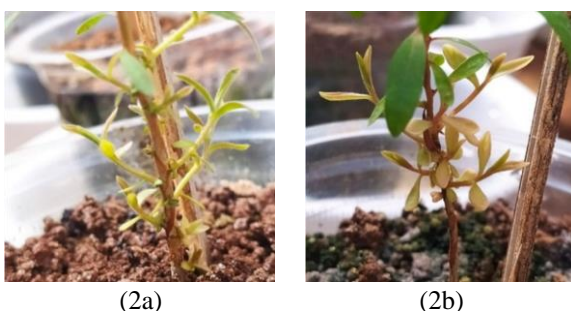
Jenis Media	Hidup				Persen Hidup (%)
	Layu	Kuning	Sehat	Mati	
Tanah + Kompos	1	-	8	1	90 ^b
Tanah	1	1	2	6	40 ^a
Tanah + Arang Sekam	-	-	2	8	20 ^a

Keterangan: Angka yang tidak diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%.

Tabel 4 Rekapitulasi persentase hidup bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan.

Jenis Media	Hidup				Persen Hidup (%)
	Layu	Kuning	Sehat	Mati	
Konsentrasi 100%	1	1	4	8	57 ^a
Konsentrasi 50%	-	-	8	7	53 ^a

Keterangan : Angka yang tidak diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%.

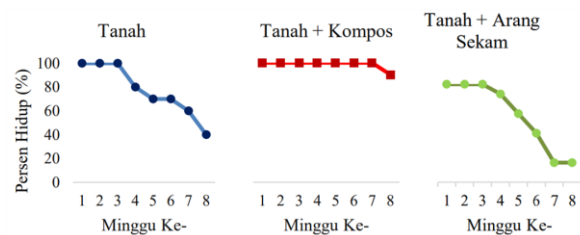


Gambar 2 Tunas lateral pada pangkal batang bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) yang abnormal pada media (a) tanah dan (b) campuran tanah dan arang sekam

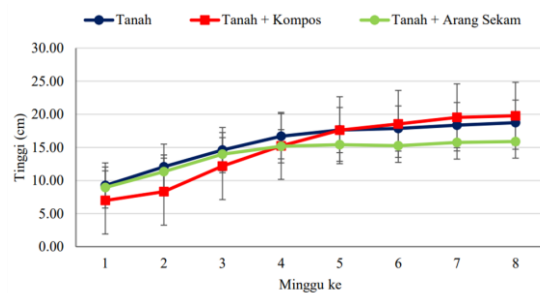
lingkungan yaitu kuning dan layu pada akhir pengamatan. Gejala stres lingkungan lain selain daun kuning dan layu yang ditemukan selama pengamatan berupa munculnya tunas atau cabang lateral pada pangkal batang. Gejala ini terjadi pada bibit kayu putih pada media tanah (Gambar 2a) dan campuran tanah dan arang sekam (Gambar 2b). Cabang yang tumbuh pada pangkal batang memiliki daun yang tidak normal (abnormal). Daun berwarna hijau pucat kemerahan dengan bentuk kecil, pipih, dan pertulangan daun tidak terlihat seperti terlihat pada Gambar 2.

Pertumbuhan Tinggi dan Diameter

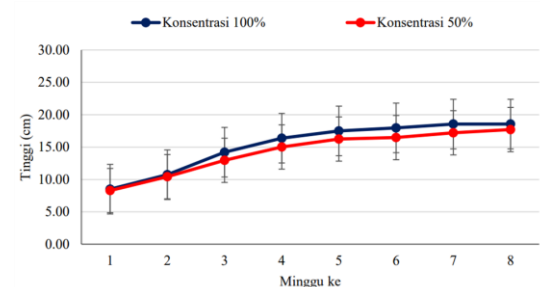
Pertumbuhan tinggi setiap minggu rata-rata berkisar pada rentang 1–2 cm. Pertumbuhan tinggi bibit kayu putih ini dipengaruhi oleh faktor jenis media tanam dan media tanam berupa campuran tanah dan kompos (M1) memiliki pertumbuhan tinggi bibit paling baik. Laju pertumbuhan tinggi bibit kayu putih pada berbagai jenis media tanam dan konsentrasi air asam tambang selama pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 1 Rata-rata persentase hidup bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media selama tujuh minggu



Gambar 3 Laju pertumbuhan rata-rata tinggi bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media selama tujuh minggu.

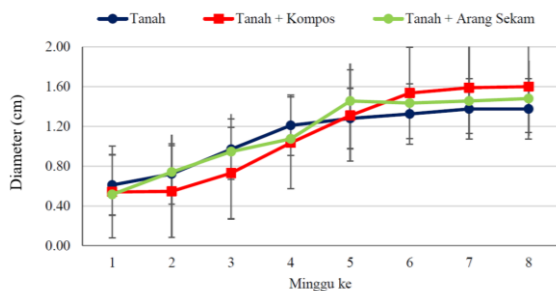


Gambar 4 Laju pertumbuhan rata-rata tinggi bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang selama tujuh minggu.

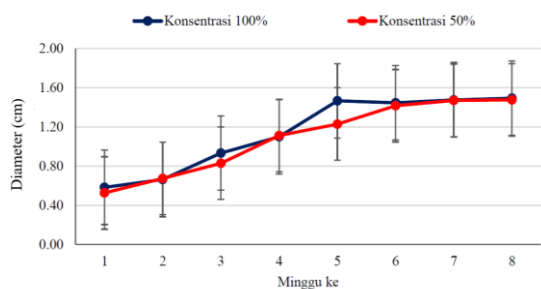
Pertumbuhan tertinggi dimiliki perlakuan media campuran tanah dan kompos (M1) sebesar 1,83 cm per minggu, sedangkan yang terendah dimiliki oleh perlakuan media campuran tanah dan arang sekam (M2) sebesar 0,99 cm per minggu. Pola pertumbuhan rata-rata tinggi bibit kayu putih semua perlakuan mengalami pertumbuhan sejak minggu pertama pengamatan. Rata-rata tinggi di akhir pengamatan menunjukkan hal yang serupa dengan pertumbuhan tinggi yaitu tinggi terbaik pada akhir pengamatan dimiliki oleh bibit perlakuan media campuran tanah dan kompos (M1). Pertumbuhan tinggi bibit pada berbagai konsentrasi air asam tambang cenderung memiliki pola yang sama yaitu meningkat setiap minggunya (Gambar 4).

Pertumbuhan diameter setiap minggu rata-rata berkisar pada rentang 0,11–0,15 cm. Pertumbuhan diameter bibit kayu putih dipengaruhi oleh faktor jenis media tanam dan media tanam berupa campuran tanah dan kompos (M1) memiliki pertumbuhan diameter bibit paling baik. Laju pertumbuhan diameter bibit kayu putih pada berbagai jenis media tanam dan konsentrasi air asam tambang selama pengamatan dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Pertumbuhan rata-rata diameter pada berbagai jenis media (Gambar 5) yang tertinggi dimiliki oleh perlakuan media campuran tanah dan kompos (M1) sebesar 0,15 cm per minggu sedangkan yang terendah dimiliki perlakuan media tanah (M0) sebesar 0,11 cm per minggu. Gambar 5 juga menunjukkan rata-rata diameter pada akhir pengamatan yang mana menyatakan diameter terbesar pada akhir pengamatan dimiliki oleh perlakuan media campuran tanah dan kompos. Pertumbuhan diameter



Gambar 5 Laju pertumbuhan rata-rata diameter bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media selama tujuh minggu

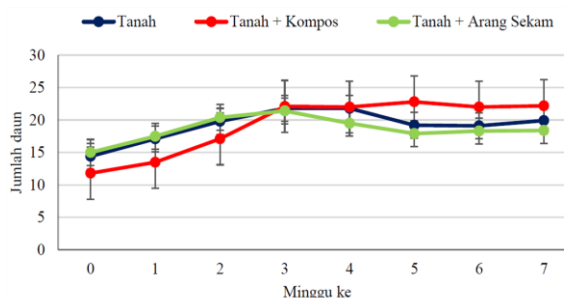


Gambar 6 Laju pertumbuhan rata-rata diameter bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang selama tujuh minggu.

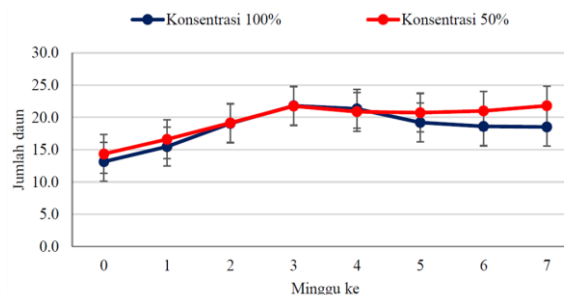
pada berbagai konsentrasi air asam tambang memiliki pola yang sama yaitu meningkat setiap minggunya (Gambar 6).

Pertambahan Daun

Hasil pengamatan jumlah daun bibit kayu putih setiap minggu sampai minggu ketujuh yang dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8 menunjukkan pola naik, turun, lalu naik kembali pada semua perlakuan. Pertambahan jumlah daun ini dipengaruhi oleh faktor jenis media tanam yang digunakan. Bibit kayu putih pada media campuran tanah dan kompos (M1) mengalami penurunan jumlah daun paling sedikit dibandingkan perlakuan lainnya.



Gambar 7 Rata-rata jumlah daun kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media selama tujuh minggu.



Gambar 8 Rata-rata jumlah daun kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang selama tujuh minggu.

Tabel 5 Rata-rata jumlah daun bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai media akhir pengamatan

Jenis Media	Jumlah Daun
Tanah	19 ^a
Tanah + Kompos	22 ^b
Tanah + Arang Sekam	18 ^a

Keterangan: Angka yang tidak diikuti oleh huruf yang sama menunjukkan perlakuan tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%.

Tabel 6 Rata-rata jumlah daun bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang akhir pengamatan

Air Asam Tambang	Jumlah Daun
Konsentrasi 100%	18
Konsentrasi 50%	21

Rata-rata jumlah daun bibit kayu putih pada minggu ketujuh dapat dilihat secara ringkas pada Tabel 5 dan Tabel 6. Jumlah daun bibit kayu putih pada media campuran tanah dan kompos (M1) memiliki jumlah daun paling banyak pada akhir pengamatan (Tabel 5). Jumlah daun bibit pada berbagai konsentrasi air asam tambang cenderung memiliki pola yang sama, yaitu naik turun lalu kembali naik (Gambar 8). Jumlah daun bibit kayu putih di akhir pengamatan sebanyak 18 dan 21 daun (Tabel 6).

Pertumbuhan Akar

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam pada Tabel 2 diketahui bahwa faktor konsentrasi air asam tambang, jenis media dan interaksinya tidak memberi pengaruh terhadap parameter pertumbuhan akar pada penelitian ini. Hasil pengukuran panjang akar dan jumlah akar lateral bibit kayu putih pada akhir penelitian dapat dilihat pada Tabel 7 dan Tabel 8. Bibit kayu putih pada berbagai jenis media di akhir pengamatan memiliki panjang akar kurang dari 10 cm sedangkan jumlah akar lateral bibit berkisar antara 12–17 akar (Tabel 7). Panjang akar bibit pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan memiliki panjang kurang dari 5 cm sedangkan jumlah akar lateral bibit sebanyak 10 dan 12 akar (Tabel 8).

Berat Basah dan Berat Kering

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam pada Tabel 2 diketahui bahwa faktor konsentrasi air asam tambang, jenis media dan interaksinya tidak memberi pengaruh terhadap parameter berat basah dan berat kering total pada penelitian ini. Perbandingan antara berat basah dan berat kering total bibit kayu putih dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Hasil perhitungan berat basah (BB) dan berat kering total (BKT) pada penelitian ini menunjukkan nilai yang tergolong rendah, berat basah bibit kayu putih pada berbagai jenis media memiliki nilai di bawah 1 g (Gambar 9) sedangkan berat basah bibit pada berbagai konsentrasi air asam tambang sebesar 1,06 g dan 0,06 g (Gambar 10). Pengukuran berat kering total bibit kayu

Tabel 7 Rata-rata panjang akar dan jumlah akar lateral bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media di akhir pengamatan.

Jenis Media	Panjang akar primer (cm)	Akar lateral
Tanah	3,88 ± 1,24	14
Tanah + Kompos	5,05 ± 1,59	12
Tanah + Arang Sekam	8,50 ± 0,00	17

Tabel 8 Rata-rata panjang akar dan jumlah akar lateral bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan.

Air Asam Tambang	Panjang akar primer (cm)	Akar lateral
Konsentrasi 100%	3,67 ± 2,66	10
Konsentrasi 50%	4,82 ± 2,84	12

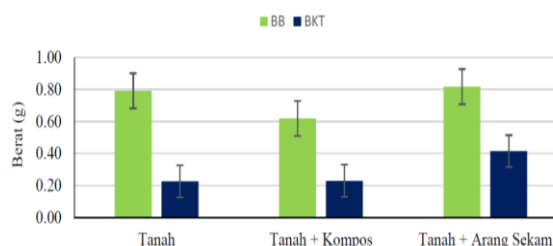
putih pada penelitian ini memiliki nilai kurang dari 0,5 g pada berbagai jenis media (Gambar 9) dan konsentrasi air asam tambang (Gambar 10).

Kadar Air

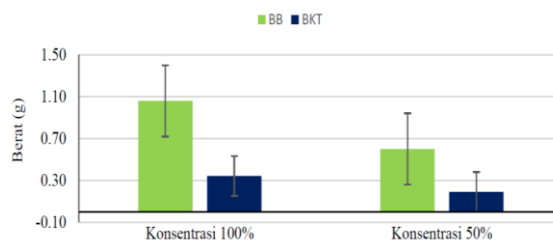
Nilai kadar air total bibit kayu putih pada semua perlakuan memiliki nilai di atas 50% namun tidak ada yang mencapai 80%. Nilai kadar air total bibit pada penelitian ini tidak dipengaruhi oleh konsentrasi air asam tambang, jenis media dan interaksinya. Nilai kadar air pada setiap bagian bibit kayu putih pada berbagai jenis media dan konsentrasi air asam tambang dapat dilihat pada Tabel 9 dan Tabel 10. Secara umum, kadar air pada bagian pucuk memiliki nilai yang berada di atas 50%, begitu juga kadar air pada akar yang menunjukkan hal serupa pada kondisi berbagai jenis media (Tabel 9) dan konsentrasi air asam tambang (Tabel 10).

Nisbah Pucuk Akar

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam pada Tabel 2 diketahui bahwa faktor konsentrasi air asam tambang, jenis media dan interaksinya tidak memberi pengaruh terhadap berat kering pucuk, berat kering akar, dan nilai nisbah pucuk akar (NPA). Nilai NPA bibit kayu putih pada berbagai jenis media dan konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan dapat dilihat secara ringkas pada Tabel 11 dan Tabel 12. Nilai NPA terlihat beragam dan tidak membentuk pola tertentu. Bibit kayu putih pada penelitian ini memiliki nilai NPA >3 pada berbagai kondisi jenis media dan konsentrasi air asam tambang yang ditunjukkan pada Tabel 11 dan Tabel 12. Berdasarkan hal tersebut dapat terlihat bahwa bibit kayu putih pada penelitian ini memiliki berat kering pucuk yang lebih besar dari berat kering akar pada berbagai kondisi jenis media dan konsentrasi air asam tambang.



Gambar 9 Perbandingan rata-rata berat basah (BB) dan berat kering total (BKT) bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media di akhir pengamatan.



Gambar 10 Perbandingan rata-rata berat basah (BB) dan berat kering total (BKT) bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan.

Pembahasan

Kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) merupakan jenis yang mampu bertahan pada tanah yang tercemar air asam tambang sehingga sering dimanfaatkan untuk tanaman revegetasi lahan pasca tambang. Kayu putih memiliki kemampuan untuk mereduksi atau menyerap bahan berbahaya atau disebut sebagai tanaman fitoremediasi. Arifin *et al.* (2016) menyatakan bahwa kayu putih dapat tumbuh baik secara alami di lahan dengan pH yang rendah dengan kandungan *pyrite* karena kemampuan fitoekstraksi (*phytoextraction*). Mekanisme fitoekstraksi bekerja dengan menyerap bahan berbahaya di dalam tanah dan melakukan translokasi ke seluruh bagian tanaman dalam bentuk biomassa (Ali *et al.* 2013). Penggunaan kayu putih sebagai tanaman rehabilitasi lahan pasca tambang memiliki manfaat secara ekologi, ekonomi, maupun sosial. Kayu putih mempunyai daur yang panjang, cepat tumbuh, dan dapat tumbuh pada lahan terganggu sehingga sangat baik dalam perbaikan lahan marginal menjadi lahan produktif. Efektivitas kayu putih sebagai tanaman revegetasi pada lahan pasca tambang berkaitan dengan pertumbuhan dan ketahanannya pada kondisi tanah tercemar air asam tambang.

Pertumbuhan merupakan suatu proses dimana tumbuhan menghasilkan sel baru melalui metabolisme yang dapat dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Berdasarkan ilustrasi laju pertumbuhan rata-

Tabel 9 Rekapitulasi persentase kadar air pada setiap bagian bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media di akhir pengamatan.

Jenis Media	Akar		Pucuk		Total	
	BB (g)	KA (%)	BB (g)	KA (%)	BB (g)	KA (%)
M0	0,22		0,60		0,60	
	±	64	±	70	±	70
	0,17		0,37		0,54	
M1	0,15		0,62		0,62	
	±	72	±	67	±	68
	0,07		0,34		0,40	
M2	0,18		1,64		1,64	
	±	69	±	75	±	73
	0,33		0,73		1,20	

Keterangan: M0 = media tanah, M1 = media campuran tanah dan kompos, M2 = media campuran tanah dan arang sekam

Tabel 10 Rekapitulasi persentase kadar air pada setiap bagian bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan.

Jenis Media	Akar		Pucuk		Total	
	BB (g)	KA (%)	BB (g)	KA (%)	BB (g)	KA (%)
K0	0,21		0,99 ±		1,27	
	±	75	0,21	66	±	70
	0,09				0,30	
K1	0,15		0,92 ±		1,11	
	±	61	0,04	75	±	72
	0,03				0,03	

Keterangan: K0 = Konsentrasi air asam tambang 100%, K1 = Konsentrasi air asam tambang 50%

rata tinggi (Gambar 2), pertumbuhan tinggi tanaman paling baik dimiliki oleh K1M1 dengan nilai sebesar 1,95 cm per minggu serupa dengan laju pertumbuhan rata-rata diameter (Gambar 3) yang menyatakan pertumbuhan diameter terbaik dimiliki oleh K1M1 dengan 0,18 cm per minggu. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan K1M1 memiliki pertumbuhan paling baik pada parameter tinggi dan diameter. Hasil sidik ragam (Tabel 2) yang menyatakan bahwa jenis media yang digunakan memberi pengaruh nyata terhadap pertumbuhan tinggi dan diameter didukung dengan analisis Duncan yang menyatakan bahwa jenis media M1 berbeda nyata dengan media lainnya, menunjukkan bahwa media M1 memberi pengaruh paling baik di antara jenis media lainnya.

Pertumbuhan tinggi berhubungan erat dengan jaringan meristematis yang mengatur pertumbuhan tunas yang biasa disebut dengan meristem ujung atau meristem apikal. Pertumbuhan meristem berlangsung selama proses fotosintesis berlangsung. Kecukupan bahan fotosintesis berupa hara, air, dan cahaya akan meningkatkan kerja hormon yang berperan dalam pertumbuhan (meristem). Begitu juga dengan pertumbuhan diameter, pertumbuhan yang baik dapat dilihat dari pertumbuhan tinggi dan diameter yang sejalan. Seperti yang dijelaskan oleh Dermawan dan Baharsjah (2010) bahwa pertumbuhan primer yaitu pertambahan panjang dan tinggi tanaman berkorelasi dengan pertumbuhan sekunder yaitu pertambahan diameter akibat perkembangan jaringan kambium. Keduanya dapat dipengaruhi faktor lingkungan yang didukung oleh Subagio *et al.* (2018) yang menjelaskan bahwa pertumbuhan bibit akan optimum jika ketersediaan unsur hara pada media tercukupi. Hal ini yang menjadi dugaan bahwa jenis media campuran tanah

Tabel 11 Rekapitulasi perbandingan rata-rata berat kering pucuk dan akar bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai jenis media di akhir pengamatan.

Jenis Media	Berat Kering Akar (g)	Berat Kering Pucuk (g)	NPA
Tanah	0,07 ± 0,03	0,18 ± 0,14	5,56 ± 2,97
Tanah + Kompos	0,04 ± 0,03	0,22 ± 0,07	6,00 ± 3,03
Tanah + Arang Sekam	0,07 ± 0,04	0,21 ± 0,16	4,91 ± 3,23

Tabel 12 Rekapitulasi perbandingan rata-rata berat kering pucuk dan akar bibit kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) pada berbagai konsentrasi air asam tambang di akhir pengamatan.

Air Asam Tambang	Berat Kering Akar (g)	Berat Kering Pucuk (g)	NPA
Konsentrasi 100%	0,05 ± 0,03	0,23 ± 0,09	6,19 ± 3,03
Konsentrasi 50%	0,07 ± 0,03	0,17 ± 0,07	4,80 ± 3,27

dan kompos memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyediakan bahan-bahan fotosintesis berupa unsur hara dan air dibandingkan dengan media lainnya.

Pupuk kompos telah banyak digunakan dalam upaya peningkatan pertumbuhan tanaman salah satunya untuk memberi kecukupan hara dalam tanah. Salah satu unsur yang terkandung dalam kompos yang digunakan adalah fosfor (P). Fosfor mempunyai peran penting dalam perkembangan sel dan jaringan meristem. Kebanyakan reaksi enzim dalam pertumbuhan tanaman melibatkan fosfor menurut Sarif (1985) dalam Amalia (2016).

Selain pertumbuhan tinggi dan diameter, hasil sidik ragam (Tabel 2) juga menyatakan bahwa jenis media yang digunakan berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan jumlah daun. Daun merupakan organ utama yang digunakan tumbuhan untuk berfotosintesis. Pertumbuhan primer dan sekunder tanaman tidak bisa dilepaskan dengan proses fotosintesis yang dilakukan pada daun. Selain untuk mengukur proses metabolisme yang dilakukan tumbuhan, daun juga dapat dijadikan indikator untuk melihat respons tumbuhan terhadap lingkungannya. Ilustrasi grafik rata-rata penambahan daun (Gambar 7) maupun pada berbagai konsentrasi air asam tambang (Gambar 8) memperlihatkan bahwa bibit mengalami penurunan jumlah daun (keguguran) setelah empat minggu setelah diberi perlakuan air asam tambang. Keguguran daun adalah respons tanaman akibat pemberian air asam tambang yang diduga mengalami defisiensi unsur hara dari keadaan media yang tercemar air asam. Bibit yang mengalami keguguran daun yang berlebihan akan mati karena tidak dapat melakukan proses fotosintesis. Kemampuan bibit dalam memanfaatkan unsur hara yang tersedia menjadi faktor penting untuk bertahan pada tanah yang tercemar air asam tambang. Gambar 7 dan Gambar 8 tersebut menunjukkan bahwa semua perlakuan mengalami keguguran namun selanjutnya mengalami peningkatan jumlah daun baik secara cepat maupun lambat. Hal ini menunjukkan ketahanan bibit kayu putih yang cukup baik untuk bertahan pada kondisi tercemar air asam tambang sesuai dengan yang disampaikan Mohd *et al.* (2013) bahwa bibit kayu putih dapat bertahan pada lahan yang tergenang dan terkontaminasi bahan berbahaya melalui proses fisiologisnya. Kayu putih mereduksi bahan berbahaya menjadi tidak berbahaya dan mengubahnya dalam bentuk biomassa khususnya biomassa di atas tanah atau pucuk.

Pertumbuhan jumlah daun setelah mengalami keguguran berbeda beda, Gambar 7 memperlihatkan perlakuan media campuran tanah dan kompos (M1) mengalami penurunan jumlah daun paling sedikit dibandingkan dengan perlakuan media lainnya. Berdasarkan hasil sidik ragam (Tabel 2) yang menyatakan bahwa jenis media yang digunakan berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan jumlah daun serta hasil analisis Duncan menunjukkan bahwa media campuran tanah dan kompos (M1) memberi pengaruh yang berbeda nyata terhadap penambahan jumlah daun bibit dari media lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa media campuran tanah dan kompos memiliki pengaruh baik terhadap pertumbuhan jumlah daun didukung dengan data jumlah daun di akhir pengamatan (Tabel 5)

yang mana bibit pada media campuran tanah dan kompos memiliki jumlah daun terbanyak. Berdasarkan hasil tersebut dapat mengindikasikan bahwa campuran tanah dan kompos dapat meningkatkan pertumbuhan daun. Subagio *et al.* (2018) membuktikan kompos dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman pada lahan pasca tambang dengan membantu tanaman menyediakan unsur hara dan menahan lebih banyak air di lahan yang kritis.

Dilihat dari pertumbuhan daun sebagai respons dari adanya cemaran air asam tambang dapat memberi dugaan bahwa ada hubungan antara jenis media yang digunakan dengan tingkat keracunan bibit. Media campuran tanah dan kompos diduga dapat mengurangi kandungan bahan berbahaya air asam tambang lebih baik dari jenis media lain yang digunakan. Kompos merupakan bahan organik yang dapat digunakan untuk meningkatkan pH air karena mengandung gugus fungsi negatif yang mengikat H^+ sehingga mengurangi keasaman air (Nugraha *et al.* 2020). Hal ini juga yang diduga mengurangi bibit keracunan oleh cemaran air asam tambang pada media campuran tanah dan kompos. Menurut Nirtha (2018) meningkatnya pH media bisa mengurangi kandungan cemaran logam berat khususnya Fe dan Mn.

Dugaan bahwa campuran tanah dan kompos dapat meningkatkan ketahanan bibit pada media tercemar air asam tambang didukung oleh hasil perhitungan persentase hidup bibit selama pengamatan. Gambar 1 memperlihatkan bahwa perlakuan campuran media tanah dan kompos (M1) memiliki persentase hidup paling baik dari awal hingga akhir pengamatan. Persentase hidup bibit campuran tanah dan kompos pada akhir pengamatan adalah 90% artinya sebagian besar bibit pada ulangan tersebut hidup hingga akhir pengamatan. Hal ini menunjukkan ketahanan kayu putih pada media tercemar air asam tambang didukung dengan media yang tepat untuk mengurangi kondisi stres lingkungan tanaman akibat kandungan cemaran air asam tambang. Stres lingkungan akibat cemaran air asam tambang terlihat pada kondisi fisik bibit yang tidak normal. Beberapa bibit

mengalami gejala daun kuning dan layu bahkan hingga akhir pengamatan (Tabel 3). Hal ini bisa disebabkan oleh defisiensi unsur hara atau keracunan logam berat yang menyebabkan zat hijau daun atau klorofil rusak (nekrosis). Tanaman yang kuning dan layu akan mati atau hidup dengan keadaan merana karena tidak mampu melakukan metabolisme dengan baik.

Gejala stres lingkungan yang lain dapat dilihat dari perubahan morfologi daun dan cabang yang tidak normal (abnormal), ditemukan pada beberapa bibit yang memiliki tunas atau cabang lateral berlimpah pada pangkal batang. Bramasto *et al.* (2013) menyatakan bahwa pada kondisi tergenang morfologi tumbuhan dapat berubah untuk memperpanjang hidupnya sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungannya. Gejala cabang atau tunas lateral ini merupakan respons adaptasi bibit kayu putih pada keadaan terendam air asam tambang yang diduga dilakukan untuk menumbuhkan lebih banyak daun untuk melakukan fotosintesis. Daun pada cabang atau tunas lateral ini berbeda dengan daun kayu putih yang normal. Daun pada cabang lateral berbentuk lebih kecil dan pipih serta tidak terlihat pertulangan

daunnya. Ciri-ciri tersebut serupa dengan bentuk daun tumbuhan air yang tergenang atau terapung yang dinamakan *aquatic heterophylly*. Meskipun pada penelitian ini bibit kayu putih tidak terendam air, namun kondisi media sangat lembap yang bisa menyebabkan bibit merasa tertekan sehingga melakukan adaptasi untuk meningkatkan metabolismenya.

Media pada gelas plastik yang diletakkan di dalam mangkuk berisi air asam tambang bisa menghambat pertumbuhan akar tanaman. Akar adalah organ yang berfungsi untuk menyerap unsur hara, air, dan oksigen dalam tanah untuk metabolisme tanaman. Rata-rata panjang akar bibit kayu putih pada akhir pengamatan berkisar pada 3,5–8,5 cm. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 2) diketahui bahwa faktor konsentrasi air asam tambang, jenis media, dan interaksinya tidak berpengaruh terhadap parameter panjang akar pada penelitian ini. Panjang akar dapat menunjukkan kemampuan tanaman menjangkau wilayah tertentu pada media tanam (Mansur dan Kadaraisman 2019). Panjang akar yang tergolong rendah bisa disebabkan oleh volume wadah yang kecil sehingga media tanam menjadi lebih padat dan sulit untuk ditembus akar tanaman. Pertumbuhan akar yang rendah juga dapat terlihat pada berat kering akar (Tabel 11 dan Tabel 12) rata-rata berat kering akar (BKA) tidak lebih dari 1 g. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa yang dihasilkan oleh bibit kayu putih sedikit dialokasikan ke akar dan lebih banyak dialokasikan ke bagian di atas permukaan tanah (pucuk). Perbandingan pertumbuhan akar dan pucuk bisa dilihat dari nilai NPA bibit pada berbagai jenis media (Tabel 11) dan konsentrasi air asam tambang (Tabel 12) yang menunjukkan bahwa semua bibit memiliki nilai $NPA > 3$. Nilai NPA lebih dari tiga berarti berat kering akar BKA lebih rendah dari BKP (berat kering pucuk) sedangkan nilai NPA yang mendekati satu berarti menunjukkan pertumbuhan pucuk dan akar yang seimbang. Dapat dilihat bahwa nilai NPA yang paling rendah memiliki berat kering akar dan daun yang hampir sama. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Tabel 2) menyatakan bahwa faktor konsentrasi air asam tambang, jenis media, dan interaksinya tidak berpengaruh terhadap nilai NPA pada penelitian ini, artinya biomassa hasil metabolisme bibit kayu putih pada penelitian ini secara umum cenderung dialokasikan ke pucuk dibandingkan akar. Menurut Winata (2014) nilai NPA yang tinggi bisa dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dan air yang cukup. Pucuk menggunakan hara lebih banyak daripada akar dalam bentuk produk pertumbuhan seperti asam nukleat, protein, dan klorofil.

Rata-rata Berat Kering Total (BKT) bibit secara umum yang tersaji pada Gambar 5 tergolong rendah yaitu di bawah 0,5 gram. Sedangkan kadar air total (Tabel 6) bibit berkisar 64%-76%. Berat kering tanaman merupakan salah satu indikasi untuk mengetahui respon tanaman dalam memanfaatkan unsur hara yang tersedia pada kondisi tertentu Amalia (2016). Hasil analisis sidik ragam (Tabel 2) menyatakan bahwa faktor konsentrasi AAT dan jenis media tidak berpengaruh nyata terhadap BB, BKT, dan KA. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa yang dihasilkan dari pertumbuhan bibit kayu putih pada penelitian ini tergolong rendah. Dugaan

penyebab rendahnya biomassa yang dihasilkan adalah kondisi bibit kayu putih yang mengalami stres lingkungan sehingga tidak dapat melakukan fotosintesis dengan optimal. Mawaddah (2012) menjelaskan bahwa semakin besar nilai BKT, maka akan semakin baik pula pertumbuhan bibit karena tanaman selama hidupnya membentuk biomassa yang mengakibatkan penambahan berat dan diikuti dengan penambahan ukuran lain yang dapat dinyatakan secara kuantitatif.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penggunaan jenis media tanam memberi pengaruh yang nyata terhadap persentase hidup, pertumbuhan tinggi, diameter, dan penambahan jumlah daun bibit kayu putih yang tercemar air asam tambang. Perlakuan media campuran tanah dan kompos memiliki pengaruh terbaik terhadap parameter pertumbuhan tinggi, diameter, jumlah daun dan persentase hidup bibit kayu putih. Konsentrasi air asam tambang tidak memberi pengaruh terhadap pertumbuhan maupun ketahanan kayu putih pada berbagai jenis media tanam.

Saran

Saran untuk penelitian ini perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penambahan bahan organik dengan jenis dan komposisi yang berbeda pada tanah yang tercemar air asam tambang. Komposisi tanah dan kompos perlu diteliti lebih lanjut agar dapat meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan bibit kayu putih pada tanah yang tercemar air asam tambang karena pupuk kompos merupakan bahan organik yang mudah ditemukan dan digunakan untuk reklamasi lahan pasca tambang.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia S. 2016. Pengaruh pemberian kompos *Acacia mangium* Wild. terhadap pertumbuhan semai kayu putih (*Melaleuca cajuputi* Roxb.). [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ali H, Khan E, Sajad MA. 2013. *Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications*. *Chemosphere* 91(7): 869–881.
- Arifin YF, Hamidah S, Arifin YF. 2016. Ecological analysis of gelam (*Melaleuca cajuputi*) on peatland in South Kalimantan. *Jurnal Silviculture Tropika* 7(3): 77-79.
- Bramasto Y, Rustam E, Megawati, Nindawati M. 2015. Respon pertumbuhan bibit bambang lanang (*Michelia champaca* L.) terhadap cekaman. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 12(3): 211-221.
- Hidayat L. 2017. Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) di PT.

- Bhumi Rantau Energi, Kabupaten Tapin, Kalimantan Selatan. *Jurnal ADHUM* 7(1): 44-52.
- Mansur I, Kadaraisman MI. 2019. Teknik pembibitan kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) secara vegetatif di persemaian perusahaan batubara PT Bukit Asam (Persero) Tbk. *Jurnal Silviculture Tropika* 10(1): 21-28.
- Mansur I. 2010. *Teknik Silviculture untuk Reklamasi Lahan Bekas Tambang*. Bogor (ID): SEAMEO BIOTROP.
- Mawaddah M. 2012. Pertumbuhan Kayu Putih (*Melaleuca leucadendron* Linn.) dan Longkida (*Nauclea orientalis* Linn.) pada Kondisi Tergenang Air Asam Tambang. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mohd SN, Majid NM, Shazili NAM, Abdu A. 2013. Assessment of *Melaleuca cajuputi* as heavy metals phytoremediator for sewage sludge contaminated soil. *American Journal of Applied Sciences* 10(9): 1087-1092.
- Murdianti RA. 2018. Respons Pertumbuhan Bibit Kayu Putih (*Melaleuca cajuputi* Roxb.) terhadap Pemberian Slag Nikel dan Kompos pada Tanah Ultisol. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mawaddah M. 2012. Pertumbuhan Kayu Putih (*Melaleuca leucadendron* Linn.) dan Longkida (*Nauclea orientalis* Linn.) pada Kondisi Tergenang Air Asam Tambang. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Nirtha Rd Indah NNPS, Sari DP. 2018. Analisis nilai pH dan konsentrasi logam besi (Fe) pada media lahan basah buatan aliran horizontal bawah permukaan yang mengolah air saluran reklamasi. *EnviroScientiae* 14(3): 200-210.
- Nugraha FA, Kirmi H, Haryanto B, Afifa M. 2020. Analisis Penggunaan Media Tandan Sawit dan Kompos dengan Sistem Aerobic Wetland dalam Mengolah Air Asam Tambang. *iSPECTA Journal of Technology* 4(2): 35-45.
- Putra CAS. 2010. Evaluasi Revegetasi Lahan Bekas Tambang Emas PT. Newmont Minahasa Raya, Manado, Sulawesi Utara. [skripsi]: Institut Pertanian Bogor.
- Saha S, Sinha A. 2018. *A Review On Treatment Of Acid Mine Drainage With Waste Materials: A Novel Approach*. *Global NEST Journal* 20(3): 512-528.
- Sekarjannah FA, Mansur Im Abidin Z. 2021. Selection of organic materials potentially used to enhance bioremediation of acid mine drainage. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 8(3): 2779-2789.
- Subagio AA, Mansur I, Sari RK. 2018. Pemanfaatan kompos tandan kosong kelapa sawit untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kayu putih (*Melaleuca cajuputi*) di lahan pasca tambang batubara. *Jurnal Silviculture Tropika* 9(3): 160-166.
- Winata B. 2014. Pertumbuhan semai jabon (*Anthocephalus cadamba*) pada media bekas tambang pasir dengan penambahan sub soil dan arang tempurung kelapa [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.