

Pertumbuhan Kayu Putih (*Melaleuca leucadendron* Linn.) dan Longkida (*Nauclea orientalis* Linn.) pada Kondisi Tergenang Air Asam Tambang

Growth of Cajuput (Melaleuca leucadendron Linn.) and Longkida (Nauclea orientalis Linn.) in Flooded Condition of Acid Mine Water

Miftahul Mawaddah¹, Irdika Mansur¹, dan Lana Saria²

¹Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan IPB

²Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI

ABSTRACT

Coal mining in Indonesia mostly are conducted using open pit mining system. The method causing exposure of mineral sulphide and triggered the production of acid mine drainage (AMD) when oxidized by O₂ and met with water. The problem is encountered by most companies engaged in the coal mining, including PT. Mandiri Intiperkasa. An effort for handling the AMD has been done by establishment of settling pond that was planted with tifa grass (*Typha angustifolia*). The grass has been known for its ability to neutralize pH and at the same time absorb heavy metals. However, in term of a long term use of the so called wetland area, it is regarded as non-productive approach. Therefore, it need to sought types of commercial trees species that could survive and grow productively in wetland area to treat the AMD.

Treatments were as follows: a. a combination of species of tifa grass and cajuput (*Melaleuca leucadendron* Linn.); b. tifa and longkida (*Nauclea orientalis* Linn.), and c. tifa only. Seedlings were observed for four weeks. Variables observed were: diameter growth, high growth, pH of the AMD, the weight of dried plants, the ratio (apa?), the roots and shoot nutrient analyses, and analysis of mud. The increase in the pH of AMD occurs every week on each unit test. Both types either cajuput and longkida able to survive and grow well for four weeks in the wetland flooded with AMD.

Keywords: *Cajuput, Longkida, Typha angustifolia, mine acid water.*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, sebagian besar penambangan batubara dilakukan dengan sistem terbuka (*open pit mining*). Widyati (2006) menyatakan bahwa permasalahan yang paling berat akibat penambangan terbuka adalah tereksposnya lapisan batuan yang tersusun atas senyawa sulfida, misalnya pirit, markasit, dan kalkopirit. Lapisan yang tersingkap ini akan teroksidasi sehingga melepaskan ion sulfat dan ion hidrogen yang dapat menurunkan pH air dan tanah. Peristiwa oksidasi ini menghasilkan air yang bersifat asam atau lebih dikenal dengan sebutan Air Asam Tambang (AAT).

PT. Mandiri Intiperkasa adalah salah satu dari sekian banyak perusahaan pertambangan batubara yang memiliki permasalahan dengan air asam tambang. Penanganan yang telah dilakukan adalah dengan pembuatan *settling pond* atau kolam pengendapan. Akan tetapi, penanganan dengan cara ini dirasa masih belum efektif dikarenakan pemanfaatan lahan yang kurang maksimal, sebab hanya ditanami dengan jenis rumput, yaitu rumput *Typha* sp. Oleh karena itu, dalam rangka peningkatan produktivitas lahan, dilakukan pencarian terhadap jenis-jenis pohon yang tahan genangan air asam tambang serta mampu meningkatkan pH air asam tambang tersebut.

Handayani (2011) menyatakan bahwa kayu putih (*Melaleuca leucadendron*) dan longkida (*Nauclea orientalis*) merupakan jenis tanaman yang paling tahan terhadap genangan. Oleh karenanya, kedua jenis tanaman itu juga yang dipilih dalam penelitian ini, namun pada kondisi genangan yang berbeda, yaitu genangan air asam tambang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh air asam tambang terhadap pertumbuhan kayu putih dan longkida, serta mengetahui ada tidaknya pengaruh kayu putih dan longkida terhadap peningkatan pH air asam tambang.

BAHAN DAN METODE

1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di persemaian milik PT Mandiri Intiperkasa Site Krassi Kecamatan Sembakung Kabupaten Nunukan Provinsi Kalimantan Timur. Waktu penelitian dimulai dari Mei hingga Juli 2011.

2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain: bak berukuran 1 m x 1 m x 0,5 m sebanyak 9 buah, mistar, jangka sorong, dan pH meter digital, sedangkan bahan yang digunakan adalah air asam tambang batubara, 27 bibit kayu putih berumur ± 3 bulan, 27

bibit longkida berumur \pm 8 bulan, dan 144 bibit rumput tifa, serta lumpur atau endapan *settling pond* sebagai media tanam.

3. Tahapan Penelitian

Penyiapan Bibit

Bibit longkida yang digunakan memiliki ukuran tinggi \pm 1 m dan kayu putih berukuran \pm 30 cm. Kedua bibit, baik kayu putih maupun longkida berasal dari benih yang disemai. Benih kayu putih berasal dari Kalimantan, sedangkan benih longkida diperoleh dari Kendari, Sulawesi Tenggara.

Pengemasan Bibit

Pengemasan bibit perlu dilakukan untuk keperluan pengiriman. Hal ini dikarenakan jarak antara lokasi penelitian dengan tempat pembibitan yang cukup jauh. Pembibitan dilakukan di rumah kaca Bagian Silvikultur Fakultas Kehutanan IPB Bogor, sementara lokasi penelitian bertempat di persemaian milik PT. MIP Kalimantan Timur. Sebelum dikemas, akar tanaman kayu putih dan longkida dibersihkan dari media tanamnya, sehingga akar tersebut benar-benar berada dalam kondisi telanjang. Hal ini dilakukan guna mengurangi berat saat sudah dikemas dan efisiensi biaya pengiriman. Selanjutnya, kedua bibit tanaman tersebut dibungkus plastik secara terpisah dan dimasukkan ke dalam kotak berukuran 1 x 0,5 x 0,2 m.

Aklimatisasi Bibit

Proses pengiriman bibit hingga sampai di lokasi penelitian membutuhkan waktu \pm 5 hari. Sesampainya di lokasi penelitian, bibit kayu putih dan longkida dipindahkan ke dalam polybag. Media tanam yang digunakan berupa campuran tanah dan kompos dengan perbandingan 1:1. Penambahan pasir tidak diperlukan lagi karena kondisi tanah yang sudah mengandung pasir. Selanjutnya dilakukan pemeliharaan berupa penyiraman rutin setiap hari selama \pm 6 minggu untuk proses aklimatisasi bibit. Namun, selama pemeliharaan, bibit kayu putih tidak dapat bertahan dan mati. Oleh karena itu, kebutuhan bibit kayu putih diganti dengan bibit yang sudah ada milik persemaian PT. MIP, tetap dengan jenis yang sama.

Penyiapan Media Tanam

Media tanam yang digunakan berupa lumpur atau endapan *settling pond* yang ditempatkan dalam bak berukuran 1 m x 1 m x 0,5 m. Lumpur tersebut dimasukkan ke dalam bak dengan ketinggian 20 cm dari dasar bak.

Penanaman

Penanaman bibit dilakukan pada bak yang sudah berisi lumpur, setelah itu digenangi dengan air asam tambang setinggi 10 cm dari permukaan lumpur. Pada perlakuan pertama, yaitu bak yang ditanami kayu putih dan rumput tifa, antar bibit kayu putih ditanam dengan jarak 30 cm x 30 cm, sedangkan penanaman rumput tifa dilakukan di sela-sela bibit kayu putih. Pada perlakuan kedua, yaitu bak yang ditanami longkida dan rumput

tifa, antar bibit longkida juga ditanam dengan jarak 30 cm x 30 cm. Sama halnya dengan perlakuan pertama, penanaman rumput tifa juga dilakukan di sela-sela bibit longkida. Adapun yang berperan sebagai kontrol adalah bak yang diberi perlakuan ketiga, yaitu bak yang hanya ditanami dengan rumput tifa saja.

4. Pengamatan dan Pengambilan Data

Peubah yang diamati ialah penambahan diameter, penambahan tinggi, pH air asam tambang, berat kering total, nisbah pucuk akar, analisis organ vegetatif tanaman, dan analisis lumpur.

Diameter Bibit (mm)

Pengukuran diameter bibit dilakukan menggunakan jangka sorong dan diukur pada batang dengan ketinggian 5 cm di atas permukaan air yang sebelumnya sudah diberi penanda untuk mempermudah pengukuran selanjutnya. Pengukuran diameter bibit dilakukan sekali dalam seminggu selama satu bulan.

Tinggi Bibit (cm)

Pengukuran tinggi bibit dimulai dari 5 cm di atas permukaan air hingga pucuk tanaman menggunakan mistar. Pengukuran dilakukan setiap minggu selama satu bulan.

Nilai pH Air Asam Tambang

Pengukuran pH air dilakukan setiap minggu selama satu bulan menggunakan pH meter digital. Alat dicelupkan ke dalam air, kemudian tombol *power* ditekan untuk mengaktifkan. Selanjutnya menunggu hingga angka yang ditampilkan pada layar berhenti.

Berat Kering Tanaman (g)

Pengukuran dilakukan pada akhir pengamatan. Sampel tanaman dipotong menjadi dua bagian, yaitu bagian akar dan bagian pucuk (batang dan daun). Kemudian, kedua bagian tersebut dibungkus koran secara terpisah, selanjutnya dilakukan pengovenan pada suhu 60°C selama 48 jam. Setelah tercapai berat kering yang konstan, dilakukan penimbangan dan dari hasil penimbangan ini diperoleh data berat kering akar dan berat kering pucuk.

Nisbah Pucuk Akar

Nisbah pucuk akar diperoleh dengan membandingkan berat kering pucuk dengan berat kering akar.

Analisis Organ Vegetatif Tanaman

Analisis organ vegetatif tanaman dilakukan pada akhir pengamatan untuk mengetahui kemampuan bibit dalam menyerap unsur-unsur N, P, K, dan Fe dari media tanam yang digunakan. Ada dua sampel yang diambil dari masing-masing jenis bibit, yaitu akar dan pucuk (batang dan daun). Analisis ini dilakukan di Services Laboratory SEAMEO BIOTROP Bogor.

Analisis Lumpur

Analisis lumpur dilakukan pada akhir pengamatan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung didalamnya, seperti N, P, K, Fe, dan S. Ada dua sampel yang diambil untuk dianalisis, yaitu lumpur yang berasal dari semua perlakuan yang dikompositkan dan lumpur yang diambil dari bak yang tanpa ditanami. Analisis ini juga dilakukan di *Services Laboratory SEAMEO BIOTROP Bogor*.

5. Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu perlakuan yang berupa kombinasi jenis tanaman, yaitu rumput tifa dan kayu putih, rumput tifa dan longkida, serta rumput tifa saja, dan masing-masing diulang sebanyak tiga kali. Data yang diperoleh kemudian ditabulasi dan dianalisis menggunakan *Microsoft Excel 2007* dan *Minitab 14*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

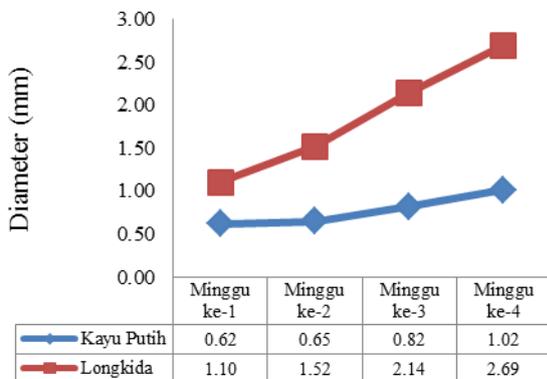
Respon pertumbuhan bibit terhadap kondisi genangan air asam tambang dapat dilihat dari besarnya pertambahan diameter dan tinggi bibit. Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara pertumbuhan kayu putih dengan longkida dalam kondisi genangan tersebut.

Tabel 1 Hasil uji t antara pertumbuhan kayu putih dengan longkida

Parameter	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
Pertambahan Diameter	*	*	*	*
Pertambahan Tinggi	*	*	*	*

Keterangan: *= berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%

Besarnya pertambahan diameter dan pertambahan tinggi kedua bibit, baik kayu putih maupun longkida ditunjukkan oleh Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1 Pertambahan diameter kayu putih dan longkida pada kondisi genangan air asam tambang



Gambar 2 Pertambahan tinggi kayu putih dan longkida pada kondisi genangan air asam tambang

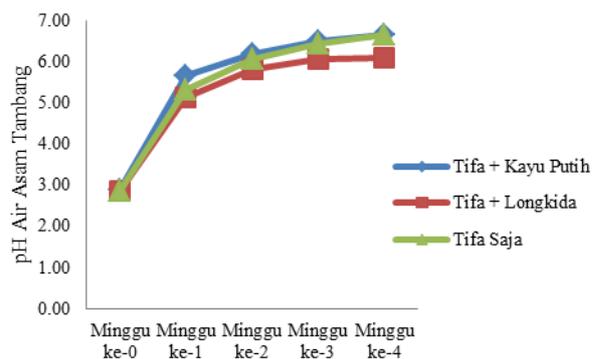
Ada tidaknya pengaruh jenis tanaman terhadap kondisi pH air asam tambang dapat dilihat pada perubahan pH air asam tambang tersebut. Hasil uji F menunjukkan bahwa perlakuan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kenaikan pH air asam tambang, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil uji F pengaruh perlakuan terhadap kenaikan pH air asam tambang

Parameter	Minggu ke-0	Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4
pH air asam tambang	tn	tn	tn	tn	tn

Keterangan: tn= tidak berbeda nyata pada selang kepercayaan 95%

Kenaikan pH air asam tambang terjadi setiap minggu pada setiap unit percobaan, baik itu pada bak yang ditanami rumput tifa dan kayu putih, rumput tifa dan longkida, maupun pada bak yang hanya ditanami rumput tifa saja. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Kenaikan pH air asam tambang

Perhitungan berat kering total dilakukan guna mengetahui baik tidaknya pertumbuhan tanaman, sebab berat kering total dapat menggambarkan efisiensi proses fisiologis dalam tanaman dengan interaksi lingkungan tempat tumbuh. Besarnya berat kering total kedua bibit, baik kayu putih maupun longkida dapat dilihat pada

Tabel 3. Berat kering total merupakan penjumlahan antara berat kering akar dengan berat kering pucuk.

Tabel 3 Berat kering total kayu putih dan longkida

Jenis Bibit	Berat Kering Total (g)
Kayu Putih	4,40
Longkida	61,60

Informasi mengenai nisbah pucuk akar diperlukan untuk mengetahui keseimbangan antara pertumbuhan pucuk tanaman sebagai tempat terjadinya proses fotosintesis dengan pertumbuhan akar sebagai bidang serapan hara dan air. Nisbah pucuk akar kedua jenis, baik kayu putih dan longkida dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nisbah pucuk akar kayu putih dan longkida

Jenis Bibit	Nisbah Pucuk Akar
Kayu Putih	3,89
Longkida	2,26

Analisis organ vegetatif tanaman dilakukan guna mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam suatu tanaman. Banyaknya unsur N, P, K, dan Fe yang terdapat pada bibit kayu putih dan longkida dapat dilihat pada Tabel 5. Kandungan ini diperoleh dari hasil perkalian antara konsentrasi unsur dengan berat kering tanaman.

Tabel 5 Kandungan unsur N, P, K, dan Fe pada kayu putih dan longkida

Unsur Hara (g)	Kayu Putih		Longkida	
	Akar	Pucuk	Akar	Pucuk
N	0,0016	0,0364	0,2155	0,4484
P	0,0005	0,0228	0,0321	0,0512
K	0,0029	0,0371	1,4326	1,5244
Fe	0,0084	0,0091	0,9639	0,1452

Adapun kandungan hara yang terdapat di dalam lumpur dapat dilihat pada Tabel 6. Lumpur ini digunakan sebagai media tanam bagi kedua bibit, baik kayu putih maupun longkida.

Tabel 6 Kandungan hara lumpur*

Parameter Uji (%)	Satuan	Lumpur yang Diberi Perlakuan	Lumpur Tanpa Perlakuan
N Total	%	0,11	0,12
P Tersedia	ppm	58,76	64,90
K	cmol/kg	0,82	0,88
Fe Tersedia	%	9,29	10,11
S Tersedia	%	0,24	0,23

*Sumber: *Services Laboratory SEAMEO BIOTROP*, 14 September 2011

Pembahasan

Pertambahan diameter dan pertambahan tinggi bibit merupakan dua parameter pertumbuhan yang dapat dilihat terkait dengan respon bibit terhadap genangan air asam tambang. Berdasarkan analisis data menggunakan uji t (Tabel 1) diperoleh hasil bahwa terdapat perbedaan yang nyata antara besarnya pertambahan diameter kayu putih dengan longkida. Demikian juga halnya pada parameter pertambahan tinggi. Kedua bibit memiliki

besar pertambahan tinggi yang berbeda nyata setelah dianalisis menggunakan uji t.

Pertambahan diameter merupakan pertumbuhan sekunder pada tanaman. Pertumbuhan sekunder dimulai oleh kambium yang terdapat dalam jaringan pembuluh. Kambium ini secara terus-menerus menghasilkan jaringan pembuluh, yaitu xylem dan floem (Heddy 1986). Pada Gambar 1 dapat dilihat bahwa diameter longkida memiliki pertambahan yang lebih besar setiap minggu daripada kayu putih. Akan tetapi, hal ini berbanding terbalik dengan pertambahan tingginya. Kayu putih memiliki pertambahan tinggi yang lebih besar daripada longkida setiap minggunya, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.

Lewenussa (2009) menyatakan bahwa pada usia muda, tanaman cenderung melakukan pertumbuhan yang cepat ke arah vertikal (ke atas), pertumbuhan diameter berlangsung apabila keperluan hasil fotosintesis untuk respirasi, pergantian daun, pergantian akar, dan tinggi telah terpenuhi. Dikarenakan usia bibit kayu putih yang masih muda, maka perolehan hasil fotosintesis digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan tinggi. Perlu diketahui, bibit kayu putih yang digunakan pada penelitian ini berumur ± 3 bulan. Lain halnya dengan longkida. Pada penelitian ini, bibit longkida yang digunakan berumur ± 8 bulan dengan tinggi hampir mencapai 1 m. Dengan demikian, perolehan fotosintat diduga sudah mulai dialokasikan guna meningkatkan pertumbuhan diameter bibit.

Ada tidaknya pengaruh jenis tanaman terhadap kualitas air asam tambang dapat dilihat dari perubahan pH yang terjadi setiap minggunya. Nilai pH air asam tambang terus mengalami kenaikan, yang semula bersifat asam dengan nilai pH sebesar 2,8 dan setelah akhir pengamatan, naik dengan nilai pH hampir mendekati 7 (Gambar 3). Kenaikan pH ini terjadi pada setiap unit percobaan, baik pada bak yang ditanami rumput tifa dan kayu putih, rumput tifa dan longkida, maupun pada bak yang hanya ditanami rumput tifa saja. Berdasarkan analisis data menggunakan uji F (Tabel 2), diperoleh hasil bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata antara perlakuan yang diberikan dengan kenaikan pH air asam tambang. Hal ini berarti kenaikan pH yang terjadi bukan disebabkan oleh jenis bibit. Lahuddin dan Nasution (2006) dalam Kurniawati (2011) menyatakan bahwa penggenangan sekitar 50 hari dapat meningkatkan pH menjadi alkalin dan redoks potensial menurun pada tingkat rendah sehingga kondisi lingkungan kimia bersifat anaerob. Pada suasana reduktif, ion-ion logam, seperti Zn^{++} , Cu^{++} , Pb , dan Cd^{++} berpeluang untuk bereaksi dengan sulfida membentuk ZnS , CuS , PbS , dan CdS . Perubahan pH juga dipengaruhi oleh banyak faktor, misalnya faktor lingkungan, zat amoniak, kekentalan air, volume air, dan sebagainya.

Berat kering total (BKT) merupakan indikator yang umum digunakan untuk mengetahui baik atau tidaknya pertumbuhan bibit karena BKT dapat menggambarkan efisiensi proses fisiologis di dalam tanaman. Semakin baik atau semakin efisien proses fisiologis suatu tanaman, maka berat kering tanaman akan semakin besar, artinya tanaman mampu menyerap unsur hara yang tersedia untuk digunakan dalam proses

pertumbuhan (Salisbury dan Ross 1995). Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa kayu putih memiliki nilai berat kering total sebesar 4,40 g dan longkida sebesar 61,60 g. Nilai BKT sekaligus menunjukkan nilai biomassa suatu tanaman. Semakin besar nilai BKT, maka semakin besar nilai biomasanya. Dengan demikian, semakin besar nilai biomassa, maka akan semakin baik pula pertumbuhan bibit, hal ini dikarenakan tanaman selama hidupnya atau selama masa tertentu membentuk biomassa yang mengakibatkan pertambahan berat dan diikuti dengan pertambahan ukuran lain yang dapat dinyatakan secara kuantitatif (Sitompul dan Guritno 1995).

Pada penelitian ini, diperoleh nisbah pucuk akar kayu putih dan longkida berturut-turut adalah 3,89 dan 2,26. Nilai nisbah pucuk akar yang tinggi menunjukkan pertumbuhan bagian pucuk tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan akarnya. Menurut Salisbury dan Ross (1995) lebih besarnya biomassa tajuk dibandingkan dengan biomassa akar dapat memungkinkan terjadinya pengendalian penyerapan hara oleh tajuk. Tajuk akan meningkatkan penyerapan hara oleh akar secara cepat dan menggunakan hara tersebut dalam bentuk produk pertumbuhan (asam nukleat, protein, dan klorofil). Selain itu juga, tajuk dapat memasok karbohidrat yang digunakan akar dalam proses respirasi untuk menghasilkan ATP yang digunakan dalam penyerapan hara.

Analisis organ vegetatif tanaman dilakukan guna mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam suatu tanaman. Pada penelitian ini, ada empat unsur yang ingin diketahui, yaitu N, P, K, dan Fe. Fe merupakan logam berat pembentuk pirit yang paling sering dijumpai pada areal pertambangan batubara sebagai sumber penyebab timbulnya air asam tambang. Pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa kedua jenis, baik kayu putih dan longkida memiliki kandungan unsur N, P, dan K yang lebih banyak di bagian pucuk daripada di bagian akar. Berbeda halnya dengan kandungan unsur Fe, bagian akar longkida mengandung unsur Fe lebih banyak dibandingkan bagian pucuk. Namun, sebaliknya bagian akar kayu putih mengandung Fe yang lebih rendah daripada di bagian pucuk.

Pada Tabel 6 dapat dilihat bahwa lumpur yang diberi perlakuan memiliki jumlah unsur N, P, K, dan Fe yang lebih rendah dibandingkan dengan lumpur tanpa adanya perlakuan. Sementara S, kadarnya lebih tinggi pada lumpur yang diberi perlakuan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kayu putih (*Melaleuca leucadendron*) dan longkida (*Nauclea orientalis*) mampu bertahan dan tumbuh dengan baik selama 4 minggu pada kondisi genangan air asam tambang. Kenaikan pH air asam tambang tidak dipengaruhi oleh jenis tanaman.

Saran

1. Perlu dilakukan uji lanjutan di lapangan dengan air asam tambang yang mengalir.
2. Perlu dilakukan penambahan terhadap parameter yang diamati terkait dengan kondisi lingkungan tempat penelitian dilakukan, seperti suhu air dan suhu udara, serta kualitas air asam tambang sebelum dan sesudah diberi perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Handayani S. 2011. Pengaruh pupuk daun terhadap pertumbuhan beberapa pohon kehutanan pada kondisi tergenang. [skripsi] Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Heddy S. 1986. Hormon Tumbuhan. Jakarta: Rajawali.
- Kurniawati P. 2011. Pengaruh pemberian inokulum mikoriza dan pemupukan NPK terhadap pertumbuhan longkida (*Nauclea orientalis*) pada kondisi tergenang dan tidak tergenang. [skripsi] Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Lewenussa A. 2009. Pengaruh mikoriza dan bio Organik terhadap pertumbuhan bibit *Cananga odorata* (Lamk) Hook.fet & Thoms [Skripsi]. Bogor: Fakultas Kehutanan IPB.
- Salisbury FB, Ross CW. 1995. Fisiologi Tumbuhan Jilid Tiga: Perkembangan Tumbuhan dan Fisiologi Lingkungan. Lukman DR, Sumaryono, penerjemah: Niksolihin, editor. Bandung: ITB Bandung, Terjemahan dari: Plant Physiology.
- Sitompul SM, Guritno B. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Widyati E. 2006. Bioremediasi tanah bekas tambang batubara dengan *sludge* industri kertas untuk memacu revegetasi lahan. [Disertasi] Bogor: Program Pascasarjana IPB.