

KANDUNGAN MERKURI PADA TUMBUHAN PAKU (*Diplazium accedens* Blume) DI DAERAH TAMBANG EMAS TATELU-TALAWAAN, KABUPATEN MINAHASA UTARA

Altini O.Kosegeran¹⁾, Sedy Rondonuwu¹⁾, Herny Simbala¹⁾, Marhaenus Rumondor¹⁾

¹⁾Program Studi Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi Manado
e-mail : altinisindykosegeran@yahoo.com; rondonuwu64@yahoo.com; hsimbala@yahoo.co.id;
marhaenusrumondor66@yahoo.com

ABSTRAK

Tumbuhan paku *Diplazium accedens* Blume merupakan tumbuhan yang termasuk suku polypodiales yang tumbuh di hutan, di daerah pegunungan, rawa, dan di sekitar sungai. Daun paku ini sering dikonsumsi masyarakat sebagai sayur-sayuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan merkuri pada tumbuhan paku di daerah tambang emas Tatelu-Talawaan. Lokasi penelitian terletak di daerah Tambang Emas Talawaan-Tatelu, Kabupaten Minahasa Utara. Metode yang digunakan adalah mencakup analisis sampel tumbuhan paku dan analisis sampel tanah dengan menggunakan Alat Direct Mercury Analyzer. Tumbuhan paku dan tanah yang di ambil di 3 lokasi sebanyak 9 sampel tumbuhan paku dan 3 sampel tanah. Dari 9 sampel tumbuhan paku tidak ada yang mengandung merkuri, sedangkan tanah dari 3 lokasi pada bagian yang C yang mengandung merkuri sebesar 0,6 ppm.

Kata kunci: Tanaman paku, merkuri, analisis tanah

MERCURY CONTENT IN FERNS (*Diplazium accedens* Blume) IN THE GOLD MINE TATELU-TALAWAAN, NORTH MINAHASA DISTRICT

ABSTRACT

The fern *Diplazium accedens* Blume is a plant species belongs to Polypodiales family that grows in the forest, mountains, swamp, and near the river. This plant consumes as vegetable. This research aimed to measure the level of mercury in the fern grows near the Tatelu-Talawaan gold mining. The location for this research is the area of gold mining of Tatelu-Talawaan, North Minahasa. The methods used were plant analysis and soil analysis using Direct Mercury Analyzer. The plant and soil taken from three locations are consist of nine samples of plants and three samples of soil. None of the nine plant samples contained mercury and the soil from 3 locations contained 0.6 ppm of mercury.

Keywords: The fern, mercury, soil analysis

PENDAHULUAN

Tumbuhan paku (*Diplazium accedens* Blume) merupakan tumbuhan termasuk suku Polypodiales yang tumbuh di hutan, di daerah-daerah pegunungan, rawa, dan di sekitar kali (sungai) yaitu pada daerah teduh dan lembab. Pucuk paku ini sering dikonsumsi masyarakat sebagai sayur-sayuran. Sifat dasar zat merkuri, tidak dapat larut dalam air namun terus menumpuk di dalam tubuh manusia. Apabila dalam periode tertentu, seseorang secara terus-menerus terkontaminasi merkuri melalui

makanan, minuman, dan melalui udara, maka akan menderita berbagai jenis penyakit yang sulit disembuhkan, diantaranya penyakit tremor. Melihat bahaya dari pencemaran merkuri terhadap lingkungan dan kesehatan manusia yang begitu besar, maka perlu dilakukan penelitian terhadap kandungan merkuri pada tumbuhan paku (Kinho, 2011).

Jenis tumbuhan paku ini memiliki rimpang yang tegak dan kokoh. Tangkai daun pada pangkalnya bersisik banyak dengan panjang 0,7 mm, berwarna coklat. Helai daun menyirip dengan anak-anak daun yang

tidak bertangkai, panjang sampai 78 cm, lebar sampai 18 cm, tepi daun berlobus, bergigi, pada ujung anak-anak daun tidak memisah sehingga merupakan ujung yang bergigi. Tekstur daun tipis, kaku dengan warna hijau gelap. Pada permukaan bahwa tiap anak daun yang tersusun disepanjang urat-urat daun. Daun mudahnya dapat digunakan sebagai bahan makanan untuk dibuat sebagai sayur (Sastrapradja, *et. al*, 2002).

Penelitian ini bertujuan mengetahui kandungan merkuri (air raksa) pada tumbuhan paku (*Diplazium accendens* Blume) yang sering dikonsumsi oleh masyarakat di daerah pertambangan emas di Desa Talawaan-Tatelu, Kabupaten Minahasa Utara.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tumbuhan pakis, tanah, es batu, larutan induk Hg 1000 mg/ L, HNO₃ pekat, aquades. Alat yang digunakan adalah Direct Mercury Analyzer (DMA-80), soil tester, PH, timbangan analitik, kantung plastik, kertas label, spidol, pisau, labu ukur, pipet 1 ml, kamera.

Teknik pengambilan sampel.

Sampel tumbuhan paku dan tanah diambil dari ke-3 lokasi yang telah ditentukan. Titik I di Desa Talawaan (dekat pemukiman penduduk), titik II di Desa Tatelu (dekat sungai) dan titik III di Desa Tatelu Rondor (dekat tromol). Pada saat yang sama pula dilakukan pengukuran pH tanah.

Sampel tumbuhan pakuyang diambil yaitu 3 helaian daun muda pada setiap titik sampel dari tumbuhan yang sama untuk 3 (tiga) ulangan dan juga diambil 1 (satu) sampel tanah pada kedalaman 10-20 cm. Ke-3 helaian daun muda merupakan daun yang sering diambil dan dibuat sayuran serta dikonsumsi masyarakat Manado. Sampel yang telah diambil dimasukkan ke dalam wadah plastik yang sebelumnya telah dicuci dengan HNO₃ dan diberi label sesuai lokasi pengambilan sampel. Selanjutnya sampel dimasukkan ke dalam kotak yang telah diberi es agar sampel tetap segar, dan langsung dibawa ke Laboratorium Baristan Manado.

Analisis sampel tumbuhan paku dilakukan di Laboratorium Balai Industri (BARISTAN) Manado dengan menggunakan alat Direct Mercury Analyzer (DMA-80).

Analisis sampel tumbuhan paku

1. Sampel tumbuhan paku dihaluskan dan dibuat homogen dengan cara dipotong-potong menjadi bagian-bagian kecil lalu dimasukkan ke dalam wadah dan diberi label.
2. Menimbang sampel sebanyak \pm 0,5 gram, dan menambahkan 1 ml H₂O selanjutnya menambahkan 2 ml HNO₃ dan HCL sebanyak 5 tetes, serta menambahkan 5 ml H₂SO₄ sebanyak 5 tetes.
3. Kemudian sampel dipanaskan pada suhu \pm 200° c selama 30 menit, dan selanjutnya didinginkan hingga temperatur ruang yaitu 27°C.
4. Sampel dipindahkan ke labu ukur 200 ml dan dibilas, serta ditambahkan aquades bebas merkuri sampai batas tanda garis.
5. Sebelum diukur dengan alat AAS-MVU, sampel ditambahkan 5 ml Na_aBH₄ 10 %.

Analisis sampel tanah

1. Menimbang tanah sebanyak 2 gr dan menambahkan 5 tetes HNO₃ pekat sambil diaduk.
2. Selanjutnya menambahkan 10 ml HCL sebanyak 5 tetes, dan memanaskan sampel tanah tersebut dalam penangan air sampai kering.
3. Kemudian ditambahkan air panas sebanyak 100 ml dan disaring.

Analisis data

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel. Data ini berupa data kandungan merkuri pada sampel tumbuhan paku dan tanah yang diambil pada 3 titik lokasi dengan 3 ulangan di pertambangan emas rakyat di Desa Talawaan-Tatelu, Kabupaten Minahasa Utara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tumbuhan paku yang dianalisis berasal dari ke-3 lokasi yang terdapat di sekitar pertambangan emas rakyat di Desa Talawaan dan Desa Tatelu Kabupaten Minahasa Utara yaitu: (1) Lokasi 1 berjarak 500 meter dari lokasi tromol; (2) Lokasi ke-2 berjarak 250 meter dari lokasi tromol; dan (3) Lokasi 25 meter dari tromol. Sampel tumbuhan paku dan

tanah langsung dibawa ke Balai Riset dan Standardisasi Industri Manado (BARISTAN), ntuk mengetahui kandungan merkuri yang terdapat dalam tumbuhan dan tanah tersebut.

Tabel 1. Kandungan Merkuri Pada Tumbuhan Paku

| No | Sampel | Kadar Hg (ppm) | pH Tanah | Standar Hg Tumbuhan (ppm) |
|----|--------|----------------|----------|---------------------------|
| 1 | A1 | 0.00 | 6.5 | 0,001-0,03 |
| 2 | A2 | 0.00 | 6.8 | 0,001-0,03 |
| 3 | A3 | 0.00 | 7.0 | 0,001-0,03 |
| 4 | B1 | 0.00 | 6.6 | 0,001-0,03 |
| 5 | B2 | 0.00 | 6.8 | 0,001-0,03 |
| 6 | B3 | 0.00 | 6.8 | 0,001-0,03 |
| 7 | C1 | 0.00 | 6.9 | 0,001-0,03 |
| 8 | C2 | 0.00 | 7.0 | 0,001-0,03 |
| 9 | C3 | 0.00 | 7.0 | 0,001-0,03 |

Keterangan:

A.Lokasi berjarak 500 meter dari tempat tromol;

B.Lokasi berjarak 250 meter dari tempat tromol;

C.Lokasi berjarak 25 meter dari tempat tromol

Hasil analisis kandungan merkuri pada ke-9 sampel tumbuhan pakis dari ke-3 lokasi semuanya tidak mengandung merkuri (Tabel 1).Pengambilan sampel berdasarkan tumbuhan yang tampak tumbuh subur dan tidak memperhatikan umur tumbuhan. Berdasarkan pengamatan di lokasi, ke-9 tumbuhan paku yang dijadikan sampel berasal dari tumbuhan yang tumbuh subur dan tidak terganggu pertumbuhannya. Menurut Widyati (2011) tumbuhan yang tumbuh subur tanpa terganggu pertumbuhannya, karena tumbuhan tersebut memiliki kemampuan mengakumulasi dan mentranslokasi logam berat termasuk merkuri yang dapat tumbuh di kawasan tersebut, termasuk salah satu tumbuhan hipertoleransi.

Hasil penelitian menunjukkan tumbuhan paku memiliki sifat hipertoleran karena dapat tumbuh subur di kawasan penambangan emas rakyat di Desa Talawaan-Tatelu. Namun tumbuhan pakis belum dapat dikategorikan tumbuhan hiperakumulator logam berat merkuri karena masih membutuhkan data kandungan merkuri di akar dan batang untuk melengkapi syarat menjadi tumbuhan hiperakumulator yaitu mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi

tinggi pada jaringan akar, batang, dan daun sehingga bersifat hiperakumulator. Bersifat toleran terhadap kandungan logam yang tinggi sehingga pertumbuhan akar dan pucuk tidak mengalami hambatan. Tanaman yang toleran tidak akan terganggu pertumbuhannya walaupun tumbuh pada tanah dengan toksisitas yang tinggi. Toleransi ini diduga berasal dari kemampuan tanaman untuk menyimpan logam dalam vakuola sel atau mampu mengkelat logam-logam (Chaney., 1997 dalam Widyati, 2011).

Pada penelitian ini tumbuhan paku yang berada lokasi ke-3 tidak memiliki kemampuan mengakumulasi merkuri dalam jumlah yang tinggi sehingga tidak dapat digolongkan sebagai tumbuhan hiperakumulator. Sifat hiperakumulator berarti dapat mengakumulasi unsur logam tertentu dengan konsentrasi tinggi pada tajuknya dan dapat digunakan untuk tujuan fitoekstraksi. Dalam proses fitoekstraksi ini logam berat diserap oleh akar tanaman dan ditranslokasikan ke tajuk untuk diolah kembali atau dibuang pada saat tanaman dipanen (Hidayati, 2005).

Tumbuhan digolongkan hiperakumulator jika mampu mengakumulasi merkuri (Hg) sebesar 10 mg/kg berat kering.Namun dalam penelitian ini tidak dilakukan uji kemampuan akumulasi merkuri sebesar 10 mg/kg berat kering. Menurut Juhaeti, dkk (2009) kriteria suatu jenis tumbuhan dapat digolongkan sebagai hiperakumulator adalah: (1)Tahan terhadap unsur logam dalam konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuk; (2)Tingkat laju penyerapan unsur dari tanah yang tinggi dibanding tanaman lain; (3)Memiliki kemampuan mentranslokasi dan mengakumulasi unsur logam dari akar ke tajuk dengan laju yang tinggi; (4)Secara ideal memiliki potensi produksi biomasa yang tinggi.

Tumbuhan paku yang tumbuh subur di lokasi pertambangan emas rakyat Talawaan-Tatelu digolongkan sebagai tumbuhan hipertoleransi terhadap merkuri.Hal ini disebabkan oleh kemampuan tumbuhan tersebut dalam menyerap merkuri. Ada terdapat 2 faktor yang mempengaruhi proses penyerapan logam berat yaitu: (1) Perbedaan genetik dalam serapan, translokasi dan menolak atau menyimpan kontaminan oleh tanaman, dan (2) Faktor lingkungan. Umur tumbuhan juga merupakan salah satu penentu dalam penyerapan merkuri, namun dalam

penelitian ini tidak diketahui umur setiap tumbuhan pakis yang dianalisis. Banyaknya serapan logam oleh tumbuhan tergantung pada umur tumbuhan, banyaknya logam dalam tanah dan lamanya waktu tumbuhan berada pada tanah tercemar (Ashraf *et al*, 2010).

Pengambilan sampel tumbuhan paku terbatas pada daun bagian atas yang terlihat masih muda, karena bagian tersebut yang paling banyak dipetik untuk dikonsumsi. Merkuri biasanya masuk ke dalam tubuh manusia lewat pencernaan, baik melalui ikan maupun air. Apabila terjadi akumulasi yang lebih, dapat berakibat pada degenerasi sel-sel saraf di otak kecil yang menguasai kondisi saraf, gangguan pada luas pandang, degenerasi pada sarung selaput saraf dan bagian otak kecil. Unsur ini dapat bercampur dengan enzim di dalam tubuh manusia menyebabkan hilangnya kemampuan enzim untuk bertindak sebagai katalisator untuk fungsi tubuh yang penting (Setiabudi, 2005).

pH dapat mempengaruhi akumulasi logam berat pada tumbuhan dan berhubungan dengan meningkatnya daya larut logam (Connel, 1995). Tanah yang asam akan menaikkan pembebasan logam dalam tanah termasuk logam yang toksik. Derajat keasaman yang tinggi mempengaruhi penyerapan dalam tanah. Naiknya ketersediaan logam dalam tanah dapat meningkatkan kandungan logam dalam tanaman. Jika terjadi penurunan pH maka logam akan menghilang karena proses pelarutan. Akumulasi logam dalam tanah tidak hanya tergantung pada kandungannya dalam tanah tetapi juga tergantung pada jenis tanaman (Darmono, 1995). Hasil pengukuran pH tanah pada ke-9 lokasi pengampilan sampel tumbuhan paku menunjukkan pada kisaran 6.5 sampai dengan 7.0 (suasana netral).

Pertambangan rakyat yang dilakukan sejak tahun 1998 melibatkan 262 sampai 3289 penambang. Pencemaran yang sedang terjadi di Desa Talawaan-Tatelu adalah pencemaran logam berat merkuri yang bersumber dari kegiatan pertambangan emas. Limbah hasil pengolahan emas secara sengaja dibuang di sekitar daerah pengolahan yang biasanya berada di sekitar daerah aliran sungai sehingga limbah yang mengandung merkuri akan mengkontaminasi sepanjang aliran sungai, lingkungan rumah penduduk setempat, dan

tanaman sekelilingnya (Rondonuwu *et al*, 2012).

Merkuri yang digunakan dalam pengolahan emas di Talawaan-Tatelu yaitu merkuri yang berwarna putih berkilau dan berbentuk cair. Menurut Inswiasri (2008), merkuri metal (Hg⁰) merupakan logam berwarna putih dan berkilau. Pengolahan emas di Desa Ilangata menghasilkan limbah yang mengandung merkuri metal (Hg⁰), Merkuri metal (Hg⁰) banyak digunakan pada proses amalgamasi untuk pemurnian emas karena sifatnya yang berwujud cair pada suhu kamar.

Menurut Palar (1994) ada beberapa efek yang ditimbulkan oleh merkuri terhadap tubuh antara lain: (1) Semua senyawa merkuri adalah racun bagi tubuh, apabila berada dalam jumlah yang cukup; (2) Senyawa-senyawa merkuri yang berbeda, menunjukkan karakteristik yang berbeda pula dalam daya racun yang dimilikinya, penyebarannya, akumulasi dan waktu retensinya di dalam tubuh; (3) Biotransformasi tertentu yang terjadi dalam suatu tatanan lingkungan, dan atau dalam tubuh organisme hidup yang telah termasuk merkuri disebabkan oleh perubahan bentuk atas senyawa-senyawa merkuri, dari satu tipe ke tipe lainnya; (4) Pengaruh utama yang ditimbulkan oleh merkuri di dalam tubuh adalah menghalangi kerja enzim dan merusak selaput dinding (membran) sel. Keadaan itu disebabkan karena kemampuan merkuri dalam membentuk ikatan kuat dengan gugus yang mengandung belerang (sulfur) yang terdapat dalam enzim atau dinding sel; (5) Merkuri dalam tubuh umumnya bersifat permanen.

Hasil analisis tanah menunjukkan bahwa kandungan merkuri pada lokasi berjarak 500 meter dan 250 meter sebesar 0 ppm, sedangkan lokasi ke-3 yang berjarak 25 meter sebesar 0.06 ppm (Tabel 2). Tingginya kandungan merkuri ini pada tanah disebabkan karena sangat terdekat dengan pengolahan emas secara amalgamasi.

Hasil penelitian menunjukkan lokasi C yang berjarak 25 meter dari tromol memiliki kandungan merkuri sebesar 0.06 ppm namun ke-3 sampel tumbuhan paku di lokasi C tidak mengandung merkuri. Kandungan merkuri pada tanah di lokasi penelitian masih berada dibawah standar baku mutu yang diperbolehkan yaitu diantara <0.001 s/d 0.3 ppm.

Tabel 2. Kandungan Merkuri Pada Tanah

| No | Sampel | Kadar Hg (ppm) | Standar Hg pada Tanah(ppm) |
|----|--------|----------------|----------------------------|
| 1 | A | 0.00 | <0,01 – 0,3 |
| 2 | B | 0.00 | <0,01 – 0,3 |
| 3 | C | 0.06 | <0,01 – 0,3 |

Keterangan:

A.Lokasi berjarak 500 meter dari tempat tromol;

B.Lokasi berjarak 250 meter dari tempat tromol;

C.Lokasi berjarak 25 meter dari tempat tromol

Kandungan logam dalam tanah sangat berpengaruh terhadap kandungan logam pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi diantara logam itu sehingga terjadi hambatan penyerapan logam tersebut oleh tanaman. Akumulasi logam dalam tanaman tidak hanya tergantung pada kandungan logam dalam tanah, tetapi juga tergantung pada unsur kimia tanah, jenis logam, pH tanah, dan spesies tanaman (Darmono, 1995).

Standar baku mutu kelimpahan logam berat merkuri pada tanah berkisar <10-300 ppm. Berdasarkan hasil penelitian pada bekas penambangan emas mandor umur 4-5 tahun, 6-10 tahun dan 11-15 tahun, kadar masing-masing merkuri adalah 0,020 ppm, 0,050 ppm dan 0,042 ppm dengan rerata 0,037 ppm. Sebaran merkuri pada jarak 100 m lebih kecil dibandingkan dengan sebaran merkuri pada jarak 500 m dan 300 m, hal ini disebabkan karena jarak 100 m lebih dekat dengan sungai dibandingkan jarak 500 m dan 300 m sehingga merkuri yang ada terbawa oleh arus aliran sungai dan kondisi curah hujan yang tinggi juga membantu disperse unsur merkuri. Sebaran merkuri mengalami penurunan pada kedalaman tailing 39-41 cm dikarenakan sebelum masuk ke dalam tanah, merkuri terlebih dahulu mengalami pencucian oleh aliran air. Kadar merkuri pada vegetasi (>61 %) memiliki nilai yang rendah dibandingkan dengan penutupan vegetasi (0-30%) dan (31-60%) dikarenakan merkuri yang berada di dalam tanah akan semakin berkurang karena terserap oleh vegetasi melalui akar (Stwertka, 1998)

Penambangan emas yang berada di Desa Talawaan-Tatelu telah beroperasi sejak tahun 1998 yang lalu. Kandungan merkuri pada

lahan penambangan emas yang berjarak 25 meter sebesar 0.06 ppm. Dari beberapa kasus akibat merkuri, dilaporkan telah melebihi ambang batas yang ditetapkan, antara lain oleh Food and Drug Administration (FDA) menetapkan ambang batas kandungan merkuri maksimum 0,0005 ppm untuk air dan 0,5 ppm untuk makanan, sedangkan World Health Organisation (WHO) menetapkan batasan maksimum yang lebih rendah yaitu 0,0001 ppm untuk air. Jepang, Swiss, Swedia menetapkan ambang batas 1 ppm produk laut yang boleh dikonsumsi, sedangkan pemerintah Jerman dan AS menetapkan 0,5 ppm (mg/kg).

Pemerintah Indonesia memberi batas melalui Baku Mutu Ambient dan Limbah yang ditetapkan oleh pemerintah Republik Indonesia dengan KEK-2/MENKLH/1/1988. Baku mutu air untuk golongan A dan B kandungan merkuri maksimum yang dianjurkan 0,0005 ppm dan maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,0001 ppm. Pada air golongan C kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 0,002 ppm, sedangkan golongan D sebesar 0,0005 ppm. Untuk baku mutu air limbah kandungan merkuri yang diijinkan untuk air golongan I sebesar 0,001 ppm, golongan II sebesar 0,002 ppm, golongan III sebesar 0,005 ppm sedangkan golongan IV sebesar 0,001 ppm. Penelitian awal tahun 2002 mengungkapkan konsentrasi merkuri (Hg) pada tailing sebesar 55,161 ppm, sedimen 2,599 ppm, tanah 2,188 ppm, rumput 1,468 ppm, ikan 0,850 ppm dan kerang 2,104 ppm, seluruhnya telah berada di atas ambang batas (Tulalessy, 2005). Namun data hasil penelitian kandungan merkuri pada tumbuhan paku tidak mendukung data sebelumnya karena sampel daun muda tumbuhan paku tidak lagi mengandung merkuri, hal tersebut menunjukkan terjadinya penurunan pencemaran merkuri di lokasi penambangan emas di Talawaan-Tatelu.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat kandungan merkuri pada tumbuhan paku sayur (*Diplazium accedens* Blume) yang berada di lokasi berjarak 500 meter, 250 meter, maupun 25 meter. Sedangkan hasil analisis tanah menunjukkan bahwa kandungan merkuri pada lokasi berjarak 500 meter dan 250 meter sebesar 0

ppm, sedangkan lokasi ke-3 yang berjarak 25 meter sebesar 0.06 ppm.

Hasil penelitian menunjukkan tumbuhan paku memiliki sifat hipertoleran karena dapat tumbuh subur di kawasan penambangan emas rakyat di Desa Talawaan-Tatelu. Namun tumbuhan paku belum dapat dikategorikan tumbuhan hiperakumulator logam berat merkuri karena masih membutuhkan data tambahan tentang kandungan merkuri di akar dan batang untuk memenuhi kriteria tumbuhan hiperakumulator yaitu mampu mengakumulasi logam dengan konsentrasi tinggi pada jaringan akar dan tajuknya, sehingga bersifat hiperakumulator.

Data penelitian kandungan merkuri pada tumbuhan paku tidak lagi mengandung merkuri, hal tersebut menunjukkan terjadinya penurunan pencemaran merkuri di lokasi penambangan emas di Talawaan-Tatelu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.2009. *UU No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta
- Alfian, Z. 2006. Merkuri : Antara Manfaat dan Efek Penggunaannya Bagi Kesehatan Manusia dan Lingkungan.[Skripsi]. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Ashraf, M., Ozturk, M., S.A Ahmad. 2010. *Plant Adaptation and Phytoremediation*. Springer Dordrecht Heidelberg. New York.
- Connell, D.W. 1995. *Bioakumulasi Senyawa Xenobiotik*. UI-Press. Jakarta.
- Chaney, R.L . 1995. Potential use of metal hyperaccumulators [Skripsi]. Mining Environ Manage.
- Chaney, R.L. 1997. *Phytoremediation of soil metals*. Curr Opini Biotechnol 8:279-284.
- Campbell, N.A., Reece J.B., Mitchell, L.G. 2000. *Biologi Jilid II Edisi kelima*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta.
- Darmono. 2006. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran: Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*. UI-Press. Jakarta.
- Hidayati, N. 2005. Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati*. 12 (1):35-40.
- Hardiani, H. 2008. Pemulihan Lahan Terkontaminasi Limbah B3 dari Proses Deinking Industri Kertas Secara Fitoremediasi. *Riset Industri*. (2):64-75.
- Hardiani, H. 2009. Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas. *BS*. 44(1): 27-40.
- Inswiasri. 2008. Paradigma Kejadian Penyakit Paparan Merkuri (Hg). *Ekologi Kesehatan*. 7 (2): 775-785.
- Juhaeti, T., Fauzia, Syarif.2009. Potensi *Centroca pubescence*, *Calopogonium mucunoides*, dan *Micania cordata* dalam Membersihkan Logam Kontaminan pada Limbah Penambangan Emas. *Biodiversitas*. 7 (1): 4-6.
- Kinho, J. 2011. Keanekaragaman Jenis Tumbuhan Paku di Taman Nasional Aketajawe-Lolobata. Balai Penelitian Kehutanan Manado.[Skripsi].Manado.
- Lakitan, B. 2001. *Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan*. Raja Grafindo. Persada. Jakarta.
- Leksono, A.S.2007. Ekologi Pendekatan Deskriptif dan Kuantitatif. [Skripsi].Bayumedia. Malang.
- Manik, K.E.S. 2003. *Pengelolaan Lingkungan*. Djambatan. Jakarta.
- Meagher, R. B. 2000. Phytoremediation of Toxic Elemental and Organic Pollutants. Department of Genetics. [Skripsi]. University of Georgia,s. Athens.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineke Cipta. Jakarta.
- Rompas, R.M., M. Karouw, N.J. Kawung.1994. Determinasi Pencemaran Logam Berat di Lingkungan Perairan Sulawesi Utara. [Skripsi].UNSRAT. Manado.
- Rondonuwu, S.B., D.W. Santosa, Suprihaatin. 2012. Uji Aktivitas Bakteri Merkuri Asal PESK Talawaan-Tatelu, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara. *Forum Pascasarjana IPB*. Bogor. 35(3):167-177.

- Sastrapradja, S., J.J. Afriastini, D. Darnaedi, E.A Widjaja.2002. Jenis Paku Indonesia.Lembaga Biologi Nasional. [Skripsi].LIPI. Bogor. 129p.
- Setiabudi, T.B., 2005. Penyebaran Merkuri Akibat Usaha Pertambangan Emas di Daerah Sangon, Kabupaten Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Kolokium Hasil Lapangan. *DIM*. 61 (1-17).
- Tulalessy A.H. 2005. Studi Pencemaran Merkuri pada Kawasan Penambangan Emas Rakyat Tatelu Sulawesi Utara [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor
- Wardhana, W.A. 2004.*Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi. Yogyakarta
- Widhiyatna, D.2005. Pendataan Penyebaran Merkuri Akibat Pertambangan Emas di Daerah Tasikmalaya Propinsi Jawa Barat. [Skripsi].Jawa Barat.
- Widyati, 2011. Potensi Tumbuhan Bawah Sebagai Akumulator Logam Berat Untuk Membantu Rehabilitasi Lahan Bekas Tambang. *Mitra Hutan Tanaman*. 6 (2): 46 – 56.