

KARAKTERISTIK LIMBAH PENGAWET BAMBU PETUNG DAN GEWANG YANG MENGANDUNG BORON DAN *COPPER-CHROME-BORON* SERTA ALTERNATIF PENGELOLAANNYA

Characteristic of Petung Bamboo and Gewang Preservatives Waste Which Contain Boron and Copper Chrome Boron and the Management Alternative

Made Widiadnyana Wardiha¹ dan I Ketut Yogi Pradnyana Dibya²

^{1,2}. Balai Litbang Perumahan Wilayah II Denpasar, Pusat Litbang Perumahan dan Peremukiman
Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Danau Tamblingan No. 49 Sanur - Denpasar

Surel : ¹made.wardiha@rocketmail.com

Diterima : 28 Februari 2017 Disetujui: 30 Juli 2017

Abstrak

Bambu laminasi dan gewang laminasi merupakan dua jenis produk bahan bangunan pengganti kayu. Dalam pemanfaatannya sebagai pengganti kayu, salah satu hal yang harus diperhatikan adalah ketahanan terhadap faktor luar. Upaya untuk meningkatkan ketahanan terhadap faktor luar adalah pengawetan. Bahan pengawet yang sering digunakan adalah Boron dan Copper-Chrome-Boron (CCB) dan diawetkan dengan metode perendaman dingin. Kendala yang dihadapi dalam proses pengawetan ini adalah dihasilkannya limbah bahan pengawet yang tersisa yang perlu dikelola. Namun, agar bisa diketahui alternatif pengelolaannya, perlu diketahui karakteristik limbahnya terlebih dahulu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB dan menganalisa alternatif pengelolaannya. Pengumpulan data karakteristik limbah dilakukan dengan pengujian laboratorium. Data karakteristik direkapitulasi dan dibandingkan dengan baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014. Analisis alternatif pengelolaannya dilakukan dengan kajian referensi hasil-hasil penelitian sebelumnya. Hasil yang diperoleh yaitu: 1) limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB tidak memenuhi baku mutu air limbah, dan kandungan pencemar pada limbah CCB lebih tinggi daripada Boron; 2) pengolahan limbah pengawet yang mengandung Boron dapat dilakukan dengan pengolahan alami. Sedangkan limbah pengawet yang mengandung CCB perlu dilakukan pengolahan secara fisika dan kimia.

Kata Kunci: Limbah pengawet, Boron, Copper-Chrome-Boron, baku mutu, pengelolaan

Abstract

Laminated bamboo and gewang are the two of building material product for wood replacement. For wood replacement, one thing that should be consider is the endurance to outside factors. Preservation is one effort to improve the materials endurance. Preservatives which usually used are Boron and Copper-Chrome-Boron (CCB) and preserved by using cold submersion method. Obstacles encountered in the preservation process is the presence of preservatives waste that should be manage. However, to know the management alternatives, it need to know the characteristics of preservatives waste containing Boron and CCB to analyse the management alternatives. Data collecting for preservatives characteristics conducted by laboratory testing. Characteristics data were summarized and compared with wastewater standard based on Republic Indonesia Minister of Environment Regulation Number 5 of 2014. The analysis about management alternatives conducted by reference study result of previous studies. The result obtained are: 1) preservatives waste containing Boron and CCB unfulfill wastewater standard, and the pollutant contained at CCB waste higher than Boron waste; 2) treatment of preservative waste containing Boron can be done by natural treatment. Meanwhile, preseervative waste containing CCB need to be treated by physics and chemical treatment.

Keywords: Preservatives waste, Boron, Copper-Chrome-Boron, standard, management

PENDAHULUAN

Dewasa ini persediaan kayu dari hutan semakin sedikit dan disertai dengan menurunnya mutu kayu, baik dari kekuatan maupun keawetannya. Walaupun

langka, namun kayu masih diminati sebagian orang untuk bahan konstruksi bangunan. Namun, untuk menanggulangi kelangkaan kayu, maka diperlukan bahan pengganti kayu, diantaranya adalah bambu

dan gawang. Penelitian mengenai bambu dan gawang sebagai pengganti kayu sudah banyak dilakukan termasuk salah satunya oleh Balai Litbang Perumahan Wilayah II Denpasar dalam bentuk bambu laminasi dan panel gawang laminasi (Budiana dan Pranata 2013). Dalam pemanfaatannya sebagai pengganti kayu, salah satu faktor yang perlu diperhatikan adalah ketahanannya terhadap faktor luar seperti ketahanan terhadap organisme perusak seperti rayap, jamur, atau bubuk.

Diperlukan bahan kimia beracun yang dikenal dengan bahan pengawet untuk meningkatkan ketahanan kayu terhadap organisme perusak untuk mengawetkan material tersebut (Abdurrohim 1996). Pengawetan bertujuan untuk menambah umur pakai menjadi lebih lama, terutama material yang dipakai untuk material bangunan atau perabot luar ruangan. Bahan pengawet potensial dikembangkan apabila memiliki daya racun yang efektif terhadap organisme perusak, mudah didapat dan murah. Secara umum terdapat tiga kelompok besar bahan pengawet kayu, yaitu: bahan pengawet berupa minyak, bahan pengawet larut dalam pelarut organik, bahan pengawet larut air (Hunt dan Garrat 1986).

Bahan pengawet yang sering digunakan yaitu Boron dan *Copper-Chrome-Boron* (CCB). Boron merupakan campuran dari boraks dengan Asam Borat. Boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) dan Asam Borat (H_3BO_3) banyak dipilih karena mempunyai toksisitas yang rendah (Yamauchi et al. 2007). Sedangkan CCB atau dalam bahasa Indonesia adalah Tembaga-Kromium-Boron, merupakan campuran antara Tembaga Sulfat ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), Natrium Dichromat ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), serta Asam Borat (H_3BO_3) dengan perbandingan komposisi masing-masing adalah 35% : 40% : 25% (Barly, Lelana, dan Ismanto 2010).

Dalam proses pengawetan, metode pengawetan yang digunakan salah satunya adalah perendaman dingin. Perendaman dingin merupakan metode yang mudah, tidak memerlukan metode khusus sehingga dapat dilakukan oleh siapa saja termasuk industri kecil. Investasi yang dibutuhkan juga sedikit dibanding menggunakan metode rendaman panas dan vakum tekan, namun efektif meningkatkan absorpsi bahan pengawet terhadap kayu (Abdurrohim 2008).

Permasalahan dalam hal perendaman dingin adalah adanya limbah sisa pengawet. Apabila pengawet yang digunakan adalah Boron atau CCB, maka akan dihasilkan limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB. Menggunakan metode perendaman dingin kemungkinan mengakibatkan jumlah limbah cair yang dihasilkan cukup banyak dan memerlukan pengolahan limbah khusus sebelum dibuang ke lingkungan. Selain itu, limbah pengawet yang

mengandung CCB kemungkinan lebih bersifat racun daripada limbah pengawet yang mengandung Boron dan memerlukan penanganan lebih banyak sebelum dibuang ke lingkungan dikarenakan limbah yang mengandung CCB mempunyai toksisitas logam lebih tinggi. Pernyataan ini didasarkan pada beberapa kajian yang menyatakan bahwa kromium dan tembaga memiliki tingkat toksisitas yang cukup tinggi dan sulit terdegradasi (Djohan 2016; Rokmah 2008). Menurut Moore (1991) urutan toksisitas logam dari yang sangat rendah sampai yang sangat tinggi berturut-turut adalah $\text{Sn} < \text{Ni} < \text{Pb} < \text{Cr} < \text{Co} < \text{Cd} < \text{Zn} < \text{Cu} < \text{Ag} < \text{Hg}$. Kromium dan Tembaga memiliki sifat racun yang jika terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan kanker, perubahan genetik, atau gejala keracunan (Yuzelma, Ahmad, dan Novrizal 2013). Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan alternatif pengelolaan bagi limbah pengawet yang dihasilkan. Untuk mengetahui alternatif pengelolannya, perlu diketahui terlebih dahulu karakteristik dari limbah pengawet yang dihasilkan.

Oleh karena itu, pada tahun 2016, Balai Litbang Perumahan Wilayah II Denpasar melakukan penelitian mengenai karakteristik limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB. Limbah tersebut merupakan hasil dari proses pengawetan bambu dan gawang dalam kegiatan penelitian mengenai bambu laminasi dan gawang laminasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB serta menganalisis alternatif pengelolannya.

METODE

Tahapan dalam penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis. Pengumpulan data dilakukan dengan melihat karakteristik limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB yang diperoleh dari hasil pengujian di Laboratorium Analitik Universitas Udayana. Sampel limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB masing-masing diambil sebanyak 2 liter untuk dilakukan pengujian laboratorium. Sampel tersebut merupakan limbah dari proses pengawetan bambu atau bahan organik lain yang dilakukan di laboratorium Balai Litbang Perumahan Wilayah II Denpasar. Parameter yang diuji di laboratorium diantaranya pH, COD, BOD, Kromium, Boron, Tembaga, Sulfida, Amoniak, dan TSS.

Metode pengujian yang digunakan yaitu dengan alat pH meter untuk menguji kandungan pH, titrimetri untuk BOD, COD, dan Sulfida, *Inductively Coupled Plasma Emission* (ICPE) untuk menguji kandungan Tembaga, Boron dan Kromium, Spektrofotometri untuk menguji kandungan Amoniak, dan Gravimetri untuk menguji kandungan TSS.

Data karakteristik limbah pengawet tersebut kemudian akan direkapitulasi dan dibandingkan dengan baku mutu air limbah untuk mengetahui apakah limbah tersebut dapat dibuang ke lingkungan atau tidak. Perbandingan data karakteristik limbah dan baku mutu ditampilkan dalam bentuk tabel.



Gambar 1 Pengumpulan Sampel Limbah Pengawet Boron dan CCB

Data yang telah direkapitulasi dan dikomparasi kemudian dianalisis dengan melihat toksisitas bahan pengawet berdasarkan karakteristiknya kemudian dibandingkan dengan referensi. Metode pengelolaan limbah yang dapat dilakukan dianalisis dengan menggunakan rasio BOD/COD serta kajian referensi dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, dan referensi penelitian sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara prinsip, bahan pengawet merupakan bahan yang beracun /toxic karena tujuan pengawetan adalah untuk memasukkan bahan yang bersifat racun ke dalam suatu bahan. Pengawet tersebut mempunyai aktivitas insektisidal dan menghambat aktivitas serangga pemakan bahan organik yang diawetkan. Senyawa Boron mempunyai aktivitas insektisidal, sedangkan asam borat berfungsi mengganggu proses fisiologis sel serangga. Sementara itu, kandungan tembaga dalam tembaga sulfat bersifat toksik terhadap jamur (Lelana, Barly, dan Ismanto 2011). Selain itu, jika dilihat dari Lampiran III Peraturan Pemerintah Republik

Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, zat pencemar berupa Boron, Tembaga, dan Krom termasuk kategori limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), namun kategori ini berdasarkan pada nilai TCLP yang pada penelitian ini belum dilakukan pengukuran untuk parameter tersebut.

Untuk mengetahui dengan jelas karakteristik limbah pengawet bambu yang mengandung Boron dan CCB, maka hasil pengujian karakteristiknya dibandingkan dengan baku mutu air limbah. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, tidak terdapat baku mutu khusus yang mengatur mengenai limbah pengawet atau bahan pengawet. Oleh karena itu baku mutu yang digunakan adalah baku mutu pada Lampiran XLVII Permen LH RI Nomor 5 Tahun 2014 mengenai baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan yang belum memiliki baku mutu air limbah yang ditetapkan. Perbandingan antara hasil pengujian karakteristik limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB dengan baku mutu dapat dilihat pada Tabel 1.

Baku mutu air limbah berdasarkan Lampiran XLVII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 terdiri dari 2 golongan yaitu golongan I dan II. Baku mutu golongan I digunakan jika kandungan BOD kurang dari 1.500 mg/L dan COD kurang dari 3.000 mg/L pada air limbah sebelum dilakukan pengolahan. Sedangkan jika air limbah sebelum pengolahan nilai BOD lebih dari 1.500 mg/L dan COD lebih dari 3.000 mg/L, maka menggunakan baku mutu golongan II. Oleh karena itu, untuk limbah pengawet yang mengandung Boron menggunakan baku mutu golongan I sedangkan limbah pengawet yang mengandung CCB menggunakan baku mutu golongan II..

Tabel 1 Karakteristik Limbah Pengawet Boron dan CCB

No	Parameter	Metode	Satuan	Hasil		Baku Mutu*	
				Limbah Pengawet Boron	Limbah Pengawet CCB	Lampiran XLVII Gol I	Lampiran XLVII Gol II
1.	pH	pH meter	-	4,96	3,44	6-9	6-9
2.	COD	Titrimetri	mg/L	1229,8	18920,0	100	300
3.	BOD	Titrimetri	mg/L	537,48	734,5	50	150
4.	Kromium (Cr)	ICPE	mg/L	1,174	2105	0,5	1
5.	Boron (B)	ICPE	mg/L	32,4	950		
6.	Tembaga (Cu)	ICPE	mg/L		2230	2	3
7.	Sulfida	Titrimetri	mg/L	5,02	6,24	0,5	1
8.	Amoniak (NH3)	Spektrofotometri	mg/L	34,80	285,9	5	10
9.	TSS	Gravimetri	mg/L	788,03	16114,56	200	400

Keterangan: *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun (2014)

Jika dibandingkan antara karakteristik limbah yang mengandung Boron dan CCB, limbah CCB memiliki kandungan kimia yang jauh lebih tinggi daripada Boron. Oleh karena itu, secara umum dapat dikatakan bahwa pengawet CCB yang digunakan untuk pengawetan bambu dan gewang menghasilkan limbah yang lebih berbahaya bagi lingkungan dibandingkan dengan pengawet Boron. Namun, walaupun begitu, karena limbah pengawet yang mengandung Boron dan CCB sama-sama kandungan kimianya di atas baku mutu, maka harus dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Analisis mengenai metode pengolahan limbah pengawet yang mengandung boron dan CCB yang bisa dilakukan adalah dengan melihat rasio BOD/COD. Untuk limbah pengawet yang mengandung Boron, rasio BOD/COD adalah 0,43. Sedangkan rasio BOD/COD untuk limbah pengawet yang mengandung CCB adalah 0,039. Menurut Samudro dan Mangkoedihardjo (2010) terdapat zonasi yang didasarkan pada rasio BOD/COD yang menentukan apakah suatu limbah tersebut termasuk *biodegradable* atau tidak. Terdapat 3 zona dalam zonasi tersebut yaitu zona beracun (*toxic zone*), zona terdegradasi secara biologis (*biodegradable zone*), dan zona stabil dan/atau dapat diterima (*acceptable and/or stable zone*). Zona beracun adalah situasi yang dimiliki oleh suatu limbah apabila (Samudro dan Mangkoedihardjo 2010):

- maksimum rasio BOD/COD adalah 0,10
- minimum konsentrasi BOD adalah 10 mg/L untuk pengolahan *aquaculture*, 100 mg/L untuk pengolahan secara *microbial* dan *phytotreatment*, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami
- minimum konsentrasi COD adalah 50 mg/L untuk pengolahan *aquaculture*, 500 mg/L untuk

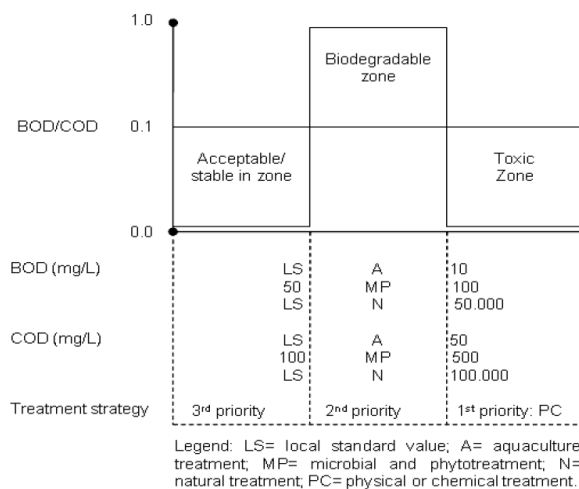
pengolahan secara *mikrobal* dan *phytotreatment*, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami

Sedangkan untuk zona terdegradasi secara biologis memiliki kondisi (Samudro dan Mangkoedihardjo 2010):

- batas rasio BOD/COD antara 0,10 – 1,0.
- maksimum konsentrasi BOD adalah 10 mg/L untuk pengolahan *aquaculture*, 100 mg/L untuk pengolahan secara *microbial* dan *phytotreatment*, 50.000 mg/L untuk pengolahan alami
- maksimum konsentrasi COD adalah 50 mg/L untuk pengolahan *aquaculture*, 500 mg/L untuk pengolahan secara *mikrobal* dan *phytotreatment*, 100.000 mg/L untuk pengolahan alami.

Sedangkan zona stabil merupakan batas suatu material organik dapat dibuang secara aman ke lingkungan tanpa efek signifikan terhadap kualitas lingkungan secara keseluruhan. Zona stabil secara umum dapat dikatakan sebagai zona di bawah zona terdegradasi secara biologi dalam arti lain nilai BOD dan COD sudah memenuhi baku mutu. Ketiga zona tersebut dapat dilihat gambarannya pada Gambar 2.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka berdasarkan rasio BOD/COD, limbah pengawet yang mengandung Boron masuk ke dalam zona terdegradasi secara biologi sedangkan limbah pengawet yang mengandung CCB masuk ke dalam zona beracun. Untuk metode pengolahan, karena kedua limbah pengawet memiliki kandungan BOD diantara 100-50.000 mg/L serta kandungan COD antara 500-100.000 mg/L, maka dapat dilakukan dengan *natural treatment* atau pengolahan alami.



Gambar 2 Pembagian Zona Berdasarkan Rasio BOD/COD

Sumber: (Samudro dan Mangkoedihardjo 2010)

Namun, khusus untuk limbah pengawet CCB, karena secara rasio BOD/COD termasuk ke dalam zona beracun (*toxic zone*), maka sebelum dilakukan pengolahan alami, perlu dilakukan pengolahan secara kimia atau fisika untuk meningkatkan nilai rasio BOD/COD sehingga bisa masuk ke dalam zona terdegradasi secara biologi

Pengolahan secara alami adalah pengolahan yang mendekomposisi material organik secara alami tanpa intervensi manusia misalnya seperti dengan penambahan zat kimia. Proses dekomposisi berjalan mengacu pada waktu detensi selama material tersebut ada di lingkungan. Dalam hal ini, limbah tersebut didiamkan terlebih dahulu dalam waktu lama sehingga terdegradasi secara alami dan apabila konsentrasi BOD dan COD sudah menurun, maka dapat dibuang ke lingkungan. Sebagai contoh, konsentrasi BOD dan COD *leachate* adalah masing-masing 60.000 mg/L dan 100.000 mg/L dengan rasio 0,5-0,8 dan kondisi tersebut menurun hingga di bawah 0,3 selama 14 bulan (El-Fadel, Bou-Zeid, and Chahine 2003).

Sedangkan untuk pengolahan fisika, dapat dilakukan dengan proses pemisahan. Yang umum digunakan adalah ultrafiltrasi menggunakan membran dimana tekanan membran bisa berkisar antara 0,1 – 1,3 MPa (Samudro dan Mangkoedihardjo 2010). Sedangkan untuk pengolahan secara kimia dilakukan dengan penambahan koagulan organik dan anorganik. Contoh koagulan yang dapat digunakan diantaranya Feri klorida, Aluminium *hydrochlorosulphate*, koagulan organik DEC65, atau dengan cara dioksidasi menggunakan oksidator berupa hidrogen peroksida, Natrium hipoklorit, Kalsium hipoklorit (kaporit), Kalium dikromat, atau Kalsium dikromat (Samudro dan Mangkoedihardjo 2010).

Pengolahan lain yang dapat dilakukan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun diantaranya adalah dengan cara termal, atau dengan stabilisasi dan solidifikasi. Bila limbah tersebut tergolong limbah B3, yang memerlukan bukti lebih lanjut, maka terhadap limbah padatnya dapat dilakukan pengolahan secara thermal maupun solidifikasi/stabilisasi. Pengelolaan dengan cara termal biasanya menggunakan insinerator dimana limbah B3 dibakar. Limbah B3 yang bisa dikelola dengan cara ini adalah limbah B3 yang berbentuk padatan. Sedangkan stabilisasi/solidifikasi merupakan proses pengolahan dengan cara mengubah karakteristik fisik dan kimia limbah dengan cara penambahan senyawa pengikat sehingga senyawa-senyawa B3 dapat terhambat dan membentuk ikatan massa monolit dengan struktur yang kuat (Keputusan Kepala Bapeddal No. 3 1995). Bahan aditif yang biasa

digunakan untuk proses stabilisasi/solidifikasi antara lain bahan pencampur seperti gypsum, pasir, lempung, *fly ash*, atau bahan perekat seperti semen, kapur, tanah liat, dan lain-lain. Setelah dilakukan stabilisasi/solidifikasi, limbah B3 tersebut selanjutnya akan ditimbun di tempat penimbunan.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa kandungan kimia limbah pengawet yang mengandung CCB lebih tinggi daripada limbah pengawet yang mengandung Boron sehingga disimpulkan limbah pengawet yang mengandung CCB lebih bersifat racun daripada Boron. Namun, kedua limbah tersebut tidak memenuhi baku mutu air limbah berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun (2014) tentang Baku Mutu Air Limbah sehingga memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan limbah pengawet yang mengandung Boron dapat dilakukan dengan pengolahan alami. Sedangkan limbah pengawet yang mengandung CCB perlu dilakukan pengolahan secara fisika dan kimia untuk memisahkan fasa cair dan padatan dengan cara melakukan pemisahan dengan membran, penambahan koagulan, penambahan oksidator, atau penambahan aditif dalam proses solidifikasi. Hal ini didasari dari rasio BOD/COD dimana limbah pengawet yang mengandung Boron lebih bersifat dapat terdegradasi secara biologi, sedangkan limbah pengawet yang mengandung CCB bersifat racun.

Saran

Perlu dilakukan penelitian mengenai metode pengolahan limbah yang efektif untuk mengurangi kandungan pencemar pada limbah pengawet Boron dan CCB sehingga aman dibuang ke lingkungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Litbang Perumahan Wilayah II Denpasar dalam hal penggunaan data hasil penelitian tahun 2016, serta kepada seluruh anggota tim Kegiatan Inovasi Pengembangan Teknologi Pengawetan Bahan Bangunan Organik atas bantuannya dalam pengumpulan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohim, S. 2008. "Penggunaan Bahan Pengawet Kayu Di Indonesia." *Buletin Hasil Hutan* 14 (2): 107-15.
- Abdurrohim, S. 1996. "Pengawetan Lima Jenis Kayu Secara Pelaburan Memakai Dua Jenis Bahan

- Pengawet." *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 14 (5): 204–10.
- Barly, Neo Endra Lelana, dan Agus Ismanto. 2010. "Keefektifan Campuran Garam Tembaga-Kromium-Boron Terhadap Rayap Dan Jamur Perusak Kayu." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 28 (3): 222–30.
- Budiana, I B Gede Putra, dan Yosafat Aji Pranata. 2013. "Pemodelan Metode Elemen Hingga Nonlinier Dinding Panel Gwang Laminasi 2D Terhadap Beban Lateral (192S)." In *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)*, 209–17.
- Djohan. 2016. "Akumulasi dan Toksisitas Effluen yang Mengandung Kromium pada Ikan Gupi (*Poecilia reticulata*)." *Journal of Biota* 14 (1).
- Hunt, George M, dan G A Garrat. 1986. *Pengawetan Kayu*. Diedit oleh M. Jusuf. *Akademika Pressindo, Edisi Pertama*. Jakarta.
- Keputusan Kepala Bapeddal No. 3. 1995. *Kep_03/Bappedal/09/1995 Tentang Persyaratan Teknis Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Lelana, Neo Endra, Barly, dan Agus Ismanto. 2011. "Toksisitas Bahan Pengawet Boron-Kromium Terhadap Serangga dan Jamur Pelapuk Kayu." *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 29 (2): 142–54.
- Moore, James W. 1991. "Arsenic." In *Inorganic Contaminants of Surface Water*, 20–33. Springer.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5. 2014. *Tentang Baku Mutu Air Limbah*.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 101. 2014. *Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun*.
- Rokhmah, Fatkhiyatur. 2008. "Pengaruh Toksisitas Cu Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi (*Oryza sativa L.*) Serta Upaya Perbaikannya dengan Pupuk Penawar Racun." Institut Pertanian Bogor.
- Samudro, Ganjar, dan Sarwoko Mangkoedihardjo. 2010. "Review on BOD, COD and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable and Stable Levels." *International Journal of Academic Research* 2 (4): 235–39.
- Yamauchi, Shigeru, Yoichi Sakai, Yasuo Watanabe, Michael Kenya Kubo, dan Hideaki Matsue. 2007. "Distribution Boron in Wood Treated with Aqueous and Methanolic Boron Acid Solutions." *Journal of Wood Science* 53 (4). Springer: 324–31.
- Yuzelma, Adrianto Ahmad, dan Novrizal. 2013. "Kajian Toksisitas Limbah Biosludge Yang Berasal Dari IPAL Industri Pulp Dan Kertas Dengan Metode Toxicity Karakteristik Leaching Procedure." *Jurnal Ilmu Lingkungan* 7 (1): 60–67.