

PERBANDINGAN KUALITAS KOMPOS DARI LIMBAH PULP DENGAN LIMBAH PULP DAN KERTAS MENGGUNAKAN BIODEKOMPOSER KOMBINASI *P. oxalicum* DAN *P. citrinum*

Siti Wahyuningsih

Research and Development Centre for Forest Plant Fibres Technology

sitiwahyuningsih02@gmail.com

Abstract

Pulp and paper sludge management by dumping pollutes the environment. Composting those sludge will reduce the volume in landfills. This study aims to compare the quality of compost from both pulp and paper's sludge by using a biodecomposer combination of *P. citrinum* and *P. oxalicum*. The pulp sludge was obtained from pulp company in North Sumatra and pulp and paper sludge was from pulp and paper's company in Riau Province. Before composting, those sludge were dried under the sun, until the water content reached 60-70%. Biodecomposer consists of *P. citrinum* and *P. oxalicum* was isolated from the previous study. The composting was held by added 30 ml sterile water contains isolates spores with a density of 10^7 (spores/ml) to 3 kg sludge. After incubated for a month, laboratory analysis was carried out to measure macro, micro and heavy metals content of the sludge. Compost of pulp and paper's sludge was better in providing macro and micronutrients than of the pulp sludge. However, the heavy metals content (Pb and Cd) of the pulp compost were lower than of the pulp and paper compost.

Keywords: pulp's sludge, pulp and paper's sludge, *P. citrinum*, *P. oxalicum*, compost

PENDAHULUAN

Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri yang berperan dalam perekonomian Indonesia (Afriyandi, 2017). Pada tahun 2017, industri pulp dan kertas mampu memberikan PDB hingga 0,71 % dan devisa negara 5,7 milyar USD (Gareta dan Galiantha, 2018). Saat ini terdapat 84 perusahaan pulp dan kertas di Indonesia dan mampu menyerap 250 ribu tenaga kerja langsung dan 1,1 juta tenaga kerja tidak langsung (Deny, 2017). Sementara itu, kapasitas produksi nasional untuk pulp dan kertas berturut-turut sebesar 79,3 juta ton/tahun dan 12,98 huta ton/tahun (May, 2018). Seiring dengan peningkatan produksi pulp dan kertas, produksi limbah dari industri tersebut pun meningkat. Menurut Bajpai, 2015, produksi satu ton kertas menghasilkan 40-50 kg limbah yang terdiri dari 70% *primary sludge* dan 30% *secondary sludge*. *Primary sludge* adalah limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan pulp dan kertas yang terikut sedimentasi. Sedangkan *secondary sludge* adalah limbah yang dihasilkan dari pengolahan biologi *primary sludge* (Leao et al., 2012).

Limbah pulp dan kertas dengan kadar bahan organik 20% berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pembenah tanah (Kuokkanen et al., 2008). Umumnya, limbah pulp dan kertas terdiri dari air, bahan organik (selulosa) dan bahan anorganik (CaCO_3 dan kalsium) (Aslandazeh et al., 2017). Aplikasi limbah pulp dan kertas secara langsung di lahan pertanian dapat meningkatkan sifat fisik tanah, namun imobilisasi N, P dan S oleh karbonat dapat mengurangi produksi tanaman (Camberato et al., 2006). Limbah pulp dan kertas dapat menghasilkan kompos yang stabil dan matang meski suhu kompos tetap berfluktuasi pada suhu ruangan (Evanylo et al., 1999). Menurut Eikelboom et al., 2017, pengomposan merupakan teknologi yang paling sesuai untuk mendaur ulang limbah organik digester dari proses kraft karena berbiaya rendah dan aman bagi lingkungan jika diaplikasikan di lahan.

Beberapa mikroba diketahui dapat mendekomposisi bahan organik. *Penicillium oxalicum* termasuk salah satu mikroba yang memiliki aktivitas selulase tinggi (Khokhar et



(Han et al., 2012). Sementara itu, berdasar Han et al., 2017, *P. oxalicum* yang ditumbuhkan dalam media *brown liquor* dapat meningkatkan produksi FPase hingga 0.66 U/mg. Sedangkan *Penicillium citrinum*, selain menghasilkan citrinin juga enzim perombak sellulosa berupa sellulase, endoglucanase dan xylanase (Khan, 2008). Pada penelitian sebelumnya, penambahan isolate *P. oxalicum* saja atau *P. citrinum* saja ke dalam limbah pulp dan kertas belum secara optimal meningkatkan kadar hara sekaligus menurunkan kadar logam berat dari limbah. Penelitian ini bertujuan untuk memperbandingkan kualitas kompos yang dihasilkan dari limbah pulp dan limbah pulp dan kertas setelah diinokulasi kombinasi isolat *P. oxalicum* dan *P. citrinum* dan diinkubasi satu bulan.

METODE

Bahan kompos

Limbah pulp dan limbah pulp dan kertas secara berturut-turut diperoleh dari perusahaan pulp di Sumatera Utara dan perusahaan pulp dan kertas di Propinsi Riau. Limbah yang diperoleh sama-sama berwarna hitam, mengandung banyak air dan berbau busuk. Sebelum dikomposkan, kedua limbah tersebut dikeringkan dibawah sinar matahari sehingga kadar airnya mencapai 60-70%.

Biodekomposer

Isolat *P. oxalicum* dan *P. citrinum* diperoleh dari penelitian sebelumnya. Masing-masing isolat tersebut ditumbuhkan dalam medium agar dan setelah berumur 6 hari digunakan sebagai decomposer limbah. Isolat dipanen dari permukaan agar lalu dilarutkan dalam 15 ml aquades steril dan dihitung kerapatannya dengan menggunakan *haemocytometer* hingga mencapai 10^7 (spora/ml).

Pengomposan

Pengomposan dilakukan dengan menambahkan 15 ml air steril yang mengandung kombinasi isolate *P. oxalicum* dan *P. citrinum* ke dalam masing-masing 3 kg limbah. Lalu, kontainer yang berisi limbah tersebut ditutup dengan plastik untuk menjaga suhunya. Inkubasi dilakukan selama satu bulan. Selama inkubasi, kelembaban limbah dijaga dengan menambahkan air steril.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah pulp dan limbah pulp dan kertas memiliki pH dan kadar C organik yang sama. Namun, nisbah CN dari limbah pulp lebih tinggi daripada limbah pulp dan kertas. Tingginya CN rasio dari limbah pulp disebabkan oleh kadar nitrogen yang rendah. Kayu yang digunakan oleh industri penghasil limbah pulp dalam penelitian ini adalah *Eucalyptus spp* dan kayu campuran (Simangunsong, 2014). Jenis *Eucalyptus spp* tersebut yaitu *E. urophylla*, *E. deglupta*, *E. grandis*; *E. saligna* (Latifah, 2004). Sedangkan penghasil limbah pulp dan kertas menggunakan kayu yang berasal dari tanaman *Acacia mangium*, *Acacia crassicarpa* dan *Pinus sylvestris* (Panjaitan, 2016). Kadar nitrogen dalam limbah pulp maupun pulp dan kertas dapat berasal dari kayu yang digunakan dalam proses produksi. Berdasar Pfautsch et al., 2009, *Acacia spp* dalam pertumbuhannya bersosiasi dengan rhizobium yang mampu mengikat nitrogen dari udara dengan membentuk nodul akar. Sementara itu, *Acacia crassicarpa* diketahui dapat berasosiasi dengan berbagai jenis rhizobia, terutama *native rhizobia* (Leuseur dan Duponnois, 2005). Kemampuan *Acacia spp* bersimbiosis dengan rhizobium dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen. Pada akhirnya, akumulasi nitrogen dalam kayu akasia meningkat. Namun, pada *Pinus sylvestri* akumulasi nitrogen pada daun, ranting dan batang dipengaruhi oleh ketersediaan nitrogen dalam tanah (Nordin et al., 2001). Sedangkan *Eucalyptus spp* merupakan fast growing species yang dapat memiliki biomassa tinggi meski penyerapan nutrisi rendah (Ali et al., 2017). Efisiensi nutrisi oleh *Eucalyptus* terjadi saat ketersediaan



nutrisi dalam tanah berkurang atau rendah (FAO, 2011). Kemampuan *Eucalyptus spp* untuk beradaptasi dengan kondisi tanah miskin hara menyebabkan kadar hara dalam biomassa kayu, termasuk nitrogen menjadi rendah.

Selain memiliki kadar N tinggi, limbah pulp dan kertas juga memiliki kadar hara P dan Mg lebih tinggi daripada limbah pulp. *A. mangium* sebagai salah satu bahan baku pulp dan kertas diketahui dapat bersimbiosis dengan vesicular-arbuscular mikoriza yang dapat meningkatkan serapan P, Zn, Cu, NH_4^+ , NO_3^- , NO_4^- dan K bagi tanaman (Reddel dan Warren, 1987). Sementara itu Bohlool et al., 1992 menemukan *A. mangium* yang bersimbiosis dengan rhizobium dan vasikular-arbuskular mikoriza dapat meningkatkan serapan nitrogen delapan hingga 25 kali. Hal ini dapat dilihat pada limbah pulp dan kertas yang menggunakan bahan baku *A. mangium* menunjukkan kadar hara N dan P yang tinggi. *Eucalyptus spp* diketahui juga dapat bersimbiosis dengan arbuscular mikoriza dan ektomikroiza, namun persentase kolonisasi akar oleh arbuscular mikoriza lebih sedikit dibanding pada *A. mangium* dan kolonisasi akar oleh ektomikoriza mencapai maksimum setelah 48 bulan tanam (Cardosa et al., 2007). Sedangkan kadar Mg yang tinggi pada limbah pulp dan kertas kemungkinan karena metabolisme pertumbuhan yang cepat dari tanaman akasia muda untuk memproduksi biomassa. Mineral seperti Mg, Ca dan Si tidak dikehendaki dalam proses produksi karena dapat menyebabkan endapan pada peralatan produksi terutama saat evaporasi limbah cair atau pembakaran limbah padat (Gomes et al., 2015).

Meski limbah pulp memiliki kadar N dan P rendah, namun kadar K dan KTK lebih tinggi daripada limbah pulp dan kertas. Pada *E. grandis*, kalium diperlukan untuk meningkatkan biomassa melalui perluasan area daun (Fromm, 2010). Kemungkinan kadar kalium yang tinggi pada limbah industri pulp karena *Eucalyptus* mengoptimalkan luas area daun untuk fotosintesa akibat rendahnya kadar nitrogen dalam tanah. Sedangkan KTK yang lebih tinggi pada limbah pulp mengindikasikan ketersediaan kation Ca, Mg, Na dan K bagi tanaman dibanding dari limbah pulp dan kertas. Selain itu, limbah pulp juga mengandung timbal dengan kadar yang lebih sedikit. Berdasar beberapa penelitian, *Eucalyptus* dengan jenis *camaldunensis* dapat menyerap Pb dalam kadar tinggi (Nawaz et al., 2016). Sedangkan *E. deglupta*, *E. urophylla* atau *E. grandis*, yang digunakan sebagai bahan baku pulp dalam penelitian ini kemungkinan tidak mengakumulasi Pb dalam jumlah yang signifikan. Di lain pihak, berdasar Majid et al., 2012, *A. mangium* yang digunakan sebagai bahan baku pulp dan kertas mengakumulasi Pb pada batang tanaman dan berpotensi sebagai tanaman phytoremediasi untuk logam berat Pb, Zn, Cd, Cr dan Cu.

Tabel 1. Hasil analisis laboratorium limbah industri pulp dan limbah pulp dan kertas

Jenis limbah	pH	N		C/N		P_2O_5 %	K_2O %	Ca	Mg	KTK (NH Asetat 1 N) me/100 gram
	H_2O (1:2,5)	C org %	Total %	ratio						
limbah pulp	7,2	39,52	0,63	62,7	0,26	1,62	0,39	0,21	47,33	
limbah pulp dan kertas	7,67	38,01	1,04	36,7	1,04	1,11	0,37	0,41	37,71	

Tabel 2. Kadar hara mikro Zn dan logam berat limbah pulp dan limbah pulp dan kertas

No	Jenis limbah	Unsur mikro			Logam Berat	
		Zn ppm	Pb ppm	Cd ppm		
1	Limbah pulp	26,3	4,8	2,6		
2	Limbah pulp dan kertas	122,47	8,23	1,1		



Pengomposan limbah pulp dan kertas dengan menggunakan kombinasi isolat *P. citrinum* dan *P. oxalicum* secara signifikan meningkatkan kadar hara makro dan mikro serta menurunkan kadar logam berat. Sedangkan pengomposan limbah pulp dengan menggunakan isolat yang sama meningkatkan kadar hara N, P, Mg dan Zn serta mengurangi kadar logam berat Pb dan Cd. Dekomposisi C organik dari limbah pulp maupun pulp dan kertas oleh kombinasi isolate *P. citrinum* dan *P. oxalicum* terlihat dari semakin menurunnya kadar C/N setelah inokulasi. Kadar nitrogen yang rendah dari kedua limbah memacu kedua isolate tadi untuk mendekomposisi bahan organik. Menurut Dutta et al., 2008, *P. citrinum* yang ditumbuhkan pada media *wheat bran* menghasilkan *endoglucanase* optimal pada pH 5,5, suhu 65^o C dan pH 8, suhu 60^o C. Sedangkan FPase dihasilkan secara optimal pada suhu 60^o C, pH 5,5 dan 8,5. Dari hasil studi Dutta et al. tersebut diketahui bahwa *P. citrinum* mampu memproduksi *endoglucanase* dan FPase pada pH masam hingga alkali dan suhu tinggi. Sementara itu, *P. oxalicum* mampu memproduksi berbagai enzim yang dapat mendegradasi hemisellulose (Liao et al., 2014). Sedangkan menurut Doughari, 2011, *P. citrinum* dan *P. oxalicum* mampu memproduksi β -glukosidase yang dapat mendegradasi *glucan* untuk memproduksi *D-glucan* sebagai sumber karbon.

Pada limbah pulp, pengomposan menyebabkan KTK menjadi lebih rendah. Kemungkinan penurunan KTK tersebut disebabkan oleh kadar kalium dan kalsium yang semakin berkurang setelah pengomposan. Kadar nitrogen yang rendah yaitu 0,63% pada limbah pulp menyebabkan isolate jamur mengkonsumsi hara lainnya dalam jumlah tinggi, seperti kalium dan kalsium. Namun, meski kadar kalium dan kalsium berkurang, kadar nitrogen dan phosphor meningkat setelah pengomposan. Selain itu, pengomposan limbah pulp juga meningkatkan kadar C organik. Kemungkinan peningkatan tersebut berkaitan dengan kemampuan isolate jamur dalam mengurai lignin dari limbah pulp. Menurut Islam dan Borthakur, 2011, *P. citrinum* memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi lignin pada jerami. Sementara itu, *P. oxalicum* mensekresikan asam oksalat yang dapat meningkatkan kelarutan phosphor anorganik sekaligus dapat mengimobilisasi Pb dalam bentuk Pb-oksalat (Tian et al., 2018). Penurunan pH limbah pulp setelah pengomposan menunjukkan adanya sekresi asam organik oleh isolat jamur.

3. Hasil analisis laboratorium kompos dari limbah pulp dan limbah pulp dan kertas

Bahan kompos	pH H ₂ O	C org	N Total	C/N ratio	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	KTK (NH Asetat 1 N) me/100 gram
	(1:2,5)	%	%		%	%			
limbah pulp	6,7	43,85	1,09	40,2	1,08	1,08	0,26	0,29	46,81
limbah pulp dan kertas	7.2	33,975	1,64	20,75	2,16	3,22	0,46	0,53	50,66

4. Kadar unsur mikro Zn dan logam berat kompos dari limbah pulp dan limbah pulp dan kertas

No	Bahan kompos	Unsur mikro Zn ppm	Logam Berat Pb ppm	Cd ppm
1	Limbah pulp	360.4	1.1	0.9
2	Limbah pulp dan kertas	172.7	2.15	0.15

Pengomposan limbah pulp dan kertas menunjukkan peningkatan kadar hara makro dan mikro. Nisbah C/N limbah pulp dan kertas sebesar 36,7 menunjukkan ketersediaan nitrogen yang memadai bagi isolate jamur untuk dekomposisi C organik. Setelah pengomposan, kadar hara P meningkat hampir dua kali, sementara kadar K meningkat



hampir tiga kali dibanding semula. Persentase Ca dan Mg juga meningkat sehingga jumlah kation yang dapat dipertukarkan juga meningkat. Dengan semakin meningkatnya nilai KTK maka hara semakin tersedia bagi tanaman jika kompos tersebut diaplikasikan pada tanaman. Inokulasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum* pada limbah pulp dan kertas juga mengurangi kadar Pb hingga hampir 75%. Selain *P. oxalicum*, *P. citrinum* juga diketahui mampu mengabsorpsi Pb (Wahab et al., 2017). Lebih lanjut Wahab et al., 2017 menjelaskan penyerapan Pb oleh *P. citrinum* optimal pada konsentrasi 400 mg/l yaitu sebesar $329 \pm 33.4 \text{ mg g}^{-1}$ pada pH 7 dan suhu 30°C .

KESIMPULAN

Limbah pulp dan limbah pulp dan kertas mengandung hara makro dan mikro yang diperlukan oleh tanaman. Namun, aplikasi langsung limbah tersebut pada tanaman dapat merugikan baik bagi tanaman sendiri atau lingkungan karena nisbah C/N dan kadar logam berat yang tinggi. Penambahan isolate kombinasi *P. citrinum* dan *P. oxalicum* pada kedua limbah tersebut dapat meningkatkan kadar hara makro dan mikro serta mengurangi kadar logam beratnya. Namun, pada limbah pulp, penambahan isolate jamur belum mampu meningkatkan kadar hara makro secara optimal akibat nisbah C/N yang terlalu tinggi. Penambahan pupuk N pada limbah tersebut sebelum pengomposan dapat menurunkan nisbah C/N dan meningkatkan ketersediaan N bagi isolate. Sedangkan pengomposan limbah pulp dan kertas meningkatkan kadar hara makro, mikro dan juga KTK. Pada penelitian selanjutnya, aplikasi kompos dari limbah pulp dan limbah pulp dan kertas tersebut dapat dilakukan untuk mengetahui kemampuannya dalam menyediakan hara bagi tanaman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada Ramiduk Nainggolan dan Minal Aminin yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan, penerbitan, atau yang telah membantu penelitian ini.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Republik Indonesia.
1. Wahab, A., D. 2017. Peran industri pulp dan kertas dalam perekonomian RI. <https://www.liputan6.com/bisnis/read/3194955/peran-industri-pulp-dan-kertas-dalam-perekonomian-ri>. Diakses 25 oktober 2018.
2. Sazandeh, S., Kemal, R, A dan Priowo, A, Y. 2017. Strategies for characterizing composition of industrial pulp and apper sludge. *International Conference on Chemistry and Material Science 2017*.
3. P. (2015). Management of Pulp and Paper Mill Waste. *Springer*. 197p.
4. B., B., Ladha, J, K., Garrity, D, P., dang eroge, T. 1992. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: A perspective. *Plant and Soil* 141: 1-11.
5. Liberato, J, J., Gagnon, B., Angers, D, A., Chantigny, M, H., dan Pan, W, L. 2017. Pulp and paper mill by-products as soil amendmets and plant nutrient sources. *Canadian Journal of Soil Science*. DOI: 10.4141/S05-120.
6. E, J, B, N., Nogueira, M, A dan Zangaro, W. 2017. Importance of mycorrhizae in tropical soils. *Diversity and benefits of microorganisms from tropics* (pp.245-267). Springer International Publishing, AG.
7. S. 2017. Industri kertas mampu serap tenaga kerja hingga 1,1 juta orang. <https://www.liputan6.com/bisnis/read/2842006/industri-kertas-mampu-serap-tenaga-kerja-hingga-1-1-juta-orang>. Diakses 25 Oktober 2018.
8. ggari, J., H. (2011). Production of -glucanase enzyme from *Penicillium oxalicum* and *Penicillium citrinum*. *African Journal of Biotechnology*, 10(47), 9657-9660. doi:10.5897/ajb07.484



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penerbitan, atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak memperbolehkan untuk tujuan komersial, atau untuk tujuan lainnya.
2. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.
- Putta, T., Sahoo, R., Sengupta, R., Ray, S. S., Bhattacharjee, A., & Ghosh, S. (2008). Novel cellulases from an extremophilic filamentous fungi *Penicillium citrinum*: production and characterization. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 35(4), 275-282. doi:10.1007/s10295-008-0304-2
- Rekelboom, M., Lopes, A., Silva, C. M., Rodrigues, F. A., Zanuncio, A. J. V., & Zanuncio, J. C. (2018). A multi-criteria decision analysis of management alternatives for anaerobically digested kraft pulp mill sludge. *PLoS One*, 13(1), e0188732. doi:10.1371/journal.pone.0188732
- Shanley, G.K. and Daniels, W.L. (1999) Paper mill sludge composting and compost utilization. *Compost Science and Utilization*, 7, 30-39.
- FAO (2011). Eucalyptus in east africa, socio-economic and environmental issues. In G. Dessie & T. Erkossa (Eds.), *Planted forests and trees working paper 46/E, forest management team, forest management division*. Rome: FAO.
- Promi, J. (2010). Wood formation of trees in relation to potassium and calcium nutrition. *Tree Physiol*, 30(9), 1140-1147. doi:10.1093/treephys/tpq024
- Setiawan, S, P dan Galiartha, G. 2018. Kinerja ekspor bikin indutrsi pulp dan kertas Indonesia berpotensi terbesar dunia. <https://www.antaranews.com/berita/707059/kinerja-ekspor-bikin-industri-pulp-dan-kertas-indonesia-berpotensi-jadi-terbesar-dunia>. Diakses 25 Oktober 2018.
- Tomé, F. J. B., Colodette, J. L., Burnet, A., Batalha, L. A. R., Santos, F. A., & Demuner, I. F. (2015). Thorough Characterization of Brazilian New Generation of Eucalypt Clones and Grass for Pulp Production. *International Journal of Forestry Research*, 2015, 1-10. doi:10.1155/2015/814071
- Wang, X., Liu, G., Song W., Qin, Y, dan Qu, Y. 2017. Continous feeding of spent ammonium sulphite liquor improves the production and saccharification performance of cellulase by *P. oxalicum*. *Bioresource Technology* 245: 984-992.
- Widhiyanti, NF., dan Borthakur, S, K. 2011. Study of associated with decomposition of rice stubble and their role in degradation of lignin and holocellulose. *Mycosphere*. DOI 10.5943/mycosphere/2/6/3.
- Wu, S, A., Hamayun, M., Yoon, H., Kim, H., Suh, S., Hwang, S., Kim, J., Lee, I., Choo, Y., Yoon, U., Kong, W., Lee, B., dan Kim, J. 20008. Plant growth promotion and *Penicillium citrinum*. *BMC microbiology* 8: 231.
- Yusuf, I., Haider, M, S., Mushtaq, S., dan Mukhtar, I. 2012. Isolation and screening of highly cellulolytic filamentous fungi. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*. 16(3): 223-226.
- Zakaria, N., Nurmesniemi, H., Poykio, R., Kujala, K., Kaakinen, J., dan Kuokkanen, M. 2008. Chemical and leaching properties of paper mill sludge. *Chemical Specifiation and Bioavaibility* 20(2).
- Zakaria, S., 2004. Pertumbuhan dan Hasil Tegakan *Eucalyptus grandis* di Hutan Tanaman Industri. Universitas Sumatra Utara. Sumatera Utara
- Zhang, L, A., Cherian, B, M., de Souza, S, F., Sain, M., Narine, S., Caldeira, M, S., dan Toledo, M, A, S. 2012. Use of primary sludge from pulp and paper mills from nanocomposites. *Mol. Cryst. Liq. Cryst*. 56: 254-263.
- Zhang, D dan Duponnois, R. 2005. Relations between rhizobial nodulation and root colonization of *Acacia crassicarpa* provenances by an arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus intraradices* Schenk and Smith or an ectomycorrhizal fungus, *Pisolithus tinctorius* Coker & Couch. *Annals of Forest Science* 62(5): 467-474.
- Zhang, H., Li, S., Wei, Z., Shen, Q., & Xu, Y. (2014). Insight into high-efficiency lignocellulolytic enxyme production by *P oxalicum*. *Biotechnology for Biofuels*, 7(162).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penerbitan kritikan atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.

- May, E. 2018. Bagaimana potensi saham sector kertas saat ini. Balai Besar Penelitian Kertas. Kementerian Perindustrian. http://bbpk.go.id/berita_tampil.php?id=UgU9G7nPwrh5_Aibc9DWa-yYxnZJFJHhIW IBM-4fx0,. Diakses 25 Oktober 2018.
- Awaz, M, F., Gul, S., Tanvir, M, A., Akhtar, J., Chuandary, S., dan Ahmad, I. 2016. Influence of NACL-salinity on pB-uptake behaviour and growth of River Red gum tree (*Eucalyptus camaldunensis* Dehnh). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 40: 425-432.
- Ordin, A., Uggla, C, dan Nashlom, T. 2001. Nitrogen forms in bark, wood and foliage of nitrogen-fertilized *Pinus sylvestris*. *Tree Pschylogi* 21: 59-64.
- Ranjanan, R, A. 2016. Perencanaan peawatan mesin electric motor menggunakan metode RCM (Reliability Center Maintenance dan FTA (Fault Tree Analysis). Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- Pfaus, Ch., S., Rennenberg, H., Bell, T, L dan Adams, M, A. 2009. Nitrogen uptake by *Eucalyptus reganans* and *Acacia spp.*-preferences, resources overlap and energetic costs. *Tree Physchology* 29: 389-399.
- Reddy, P dan Warren, R. 1987. Inoculation of acacias with mycorrhizal fungi: potential benefits. *Proceedings of an international workshop held at Forestry Training Centre, Gympie, Qld, Australia*, 4-7 August 1986.
- Sumanungsong, E., R. (2014). Pengendalian Persediaan Bahan Baku Kimia: Studi Kasus di PT Toba Pulp Lestari Tbk, Porsea, Sumatera Utara. *Skripsi*.
- Wang, D., Wang, W., Su, M., Zheng, J., Wu, Y., Wang, S., . . . Hu, S. (2018). Remediation of lead-contaminated water by geological fluorapatite and fungus *Penicillium oxalicum*. *Environ Sci Pollut Res Int*. doi:10.1007/s11356-018-2243-4.
- Yahya, AA., Awang, A, S,A, H., Azham, Z., Tay, M, G., dan Adeyemi, F, M. 2017. Biosorption of lead (ii) ion using *Penicillium citrinum* KR706304 isolated from mangrove soil environment of southeast Borneo. *African journal* 19 (2).

