

Isolasi dan Karakterisasi Morfologi Aktinomiset Indigenus Asal Tanah Gambut

Eka Astuty

*Program Studi DIII Farmasi, STIKES Muhammadiyah Sidrap, 91611
email: ekarachman@gmail.com*

Abstrak

*Aktinomiset merupakan kelompok mikroorganisme yang tersebar luas di lingkungan darat, air tawar dan laut. Aktinomiset memainkan peran penting dalam dekomposisi bahan organik dan dengan demikian mengisi pasokan nutrisi dalam tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengisolasi dan karakterisasi morfologi aktinomiset indigenus asal tanah gambut. Isolasi aktinomiset dari contoh tanah gambut yang memiliki karakteristik pH 4.7, rasio C/N 38 dan nilai KTK 70.5 asal Tanjung Jabung Barat, Jambi. Isolat yang diperoleh dimurnikan dan diremajakan kembali pada media Yeast Malt Agar (YMA). Isolat aktinomiset yang telah murni ditumbuhkan pada tiga jenis media pertumbuhan yaitu Yeast Malt Agar (YMA), Yeast Starch Agar (YSA), dan Oatmeal Agar (OM) selama ± 10 hari pada suhu ruang. Selanjutnya, dilakukan pengelompokan isolat aktinomiset berdasarkan warna koloninya. Terdapat 80 koloni aktinomiset yang berhasil diisolasi dari contoh tanah gambut, yang tumbuh pada media agar-agar HV dan dimurnikan di media YMA. Hasil seleksi berdasarkan keragaman bentuk koloni dari 80 isolat diperoleh 20 isolat murni yang memiliki beragam morfologi koloni, menghasilkan miselia aerial dan mampu tumbuh baik serta bersporulasi pada umur 7-14 hari. Karakteristik morfologi ini mengindikasikan isolat-isolat tersebut adalah *Streptomyces sp.**

Kata kunci : isolasi aktinomiset, indigenus, tanah gambut

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki areal hutan gambut seluas kurang lebih 19.7 juta hektar yang terutama terdapat di Sumatera 8.3 juta hektar, Kalimantan 6.8 juta hektar dan Irian Jaya 4.6 juta hektar (Page *et al.* 1999). Gambut di Indonesia umumnya merupakan gambut ombrogen yaitu gambut yang pembentukannya dipengaruhi curah hujan. Gambut ini tergolong kurang subur karena terbentuk dari tanaman pepohonan yang kadar kayunya tinggi. Pengaruh pasang surut air sungai atau laut yang tidak mencapai lahan, juga dapat menyebabkan gambut ini memiliki kondisi lahan miskin hara (Radjaguguk 1997). Tanah gambut terbentuk dari akumulasi bahan organik yang dihasilkan dari dekomposisi bahan tanaman yang tidak sempurna, sehingga kandungan bahan organik tanah gambut tinggi dan tidak mudah terdegradasi di alam. Menurut Maltby (1992), akumulasi bahan organik sebagai hasil perombakan tidak sempurna sisa jaringan tanaman yg mati dipacu oleh faktor-faktor lingkungan antara lain suhu rendah, pH rendah, dan pasokan hara yang sedikit sehingga proses perombakan berjalan lambat dan sisa tumbuhan terus menimbun tahun demi tahun dan terjadilah deposit gambut. Beberapa sifat kimia tanah gambut yang berpengaruh terhadap dinamika dan penyediaan hara bagi tanaman

adalah memiliki pH rendah dan kapasitas tukar kation yang tinggi serta kejenuhan basa rendah (Koesnandar *et al.* 2005). Pada kondisi ini ketersediaan nutrisi terutama K, Ca, dan Mg rendah karena berada dalam bentuk yang terikat sehingga sulit untuk dimanfaatkan oleh tanaman.

Selulosa dari sisa tumbuhan dan organisme lain diurai oleh mikroba selulolitik menjadi senyawa sederhana berupa glukosa, CO₂ dan hidrogen yang sangat berguna sebagai zat hara bagi tumbuhan dan organisme tanah lainnya (Nannipieri *et al.* 2003). Nurani *et al.* (2007) melaporkan bahwa perlakuan menggunakan limbah dari industri minyak sawit yang dijadikan lapisan atas pada tanah gambut dan diinokulasi dengan konsorsium mikrob dapat meningkatkan pH dari 3.50 menjadi 5.47, menurunkan kapasitas tukar kation hingga 73% dan meningkatkan kejenuhan basa hingga 40% serta mengoptimalkan rasio C/N.

Aktinomiset merupakan kelompok mikroorganisme yang tersebar luas di lingkungan darat, air tawar dan laut. Menurut Hamedani *et al.* (2012) aktinomiset memainkan peran penting dalam dekomposisi bahan organik dan dengan demikian mengisi pasokan nutrisi dalam tanah. Diantara berbagai genera aktinomiset yang telah diidentifikasi sejauh ini, *Streptomyces* dinilai cukup signifikan mampu mengurai bahan organik dengan memproduksi enzim hidrolitik, seperti selulase dan xilanase.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan dari bulan Januari 2011 sampai dengan Maret 2012. Bertempat di Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas MIPA, Laboratorium Bioteknologi Hewan dan Biomedis, PPSHB-LPPM, Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor.

Isolasi Aktinomiset

Isolasi aktinomiset dari contoh tanah gambut yang memiliki karakteristik pH 4.7, rasio C/N 38 dan nilai KTK 70.5 asal Tanjung Jabung Barat, Jambi, dilakukan dengan terlebih dahulu mengencerkan contoh tanah gambut hingga 10⁻⁵ dan disebar sebanyak 100 µl pada media agar-agar *Humic Vitamin* (HV) yang ditambahkan antibiotik asam nalidiksat sebanyak 4 mL dan 0.05 g *cyclohexamide* kemudian diinkubasi selama tiga minggu pada suhu ruang. Isolat yang diperoleh dimurnikan dan diremajakan kembali pada media *Yeast Malt Agar* (YMA).

Colour Grouping

Isolat aktinomiset yang telah murni ditumbuhkan pada tiga jenis media pertumbuhan yaitu *Yeast Malt Agar* (YMA), *Yeast Starch Agar* (YSA), dan *Oatmeal Agar* (OM) selama ±10 hari pada suhu ruang. Selanjutnya, dilakukan pengelompokan isolat aktinomiset berdasarkan warna koloninya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aktinomiset Asal Tanah Gambut

Terdapat 80 koloni aktinomiset yang berhasil diisolasi dari contoh tanah gambut, yang tumbuh pada media agar-agar HV dan dimurnikan di media YMA. Hasil seleksi berdasarkan keragaman bentuk koloni dari 80 isolat diperoleh 20 isolat murni yang memiliki beragam morfologi koloni, menghasilkan miselia aerial dan mampu tumbuh baik serta bersporulasi pada umur 7-14 hari. Karakteristik morfologi ini mengindikasikan isolat-isolat tersebut adalah *Streptomyces* sp. Zenova *et al.* (2008) menyatakan bahwa karakteristik tanah gambut sebagai habitat yang memiliki penampakan zona anaerob dan aerob serta mampu menahan cadangan air yang besar kemungkinan merupakan

faktor yang mendukung kelompok mikroba pengurai yang bersifat aerob atau mikroaerofilik, termasuk aktinomiset dan genus *Streptomyces* secara alamiah dapat hidup.

Jumlah dan jenis aktinomiset yang terdapat dalam tanah tertentu akan sangat dipengaruhi oleh lokasi geografis seperti letak, suhu, jenis tanah, pH tanah, kandungan bahan organik, budidaya, aerasi dan kadar air. Populasi aktinomiset relatif lebih rendah dari mikroba tanah lain tetapi didominasi *Streptomyces* yang toleran terhadap kondisi asam (Arifuzzaman *et al.* 2010). Tanah kering dengan pH basa cenderung mengandung *Streptomyces* yang lebih sedikit dan lebih banyak dari genera langka seperti *Actinoplanes* dan *Streptosporangium* (Tsujiro *et al.* 2003).

Colour Grouping

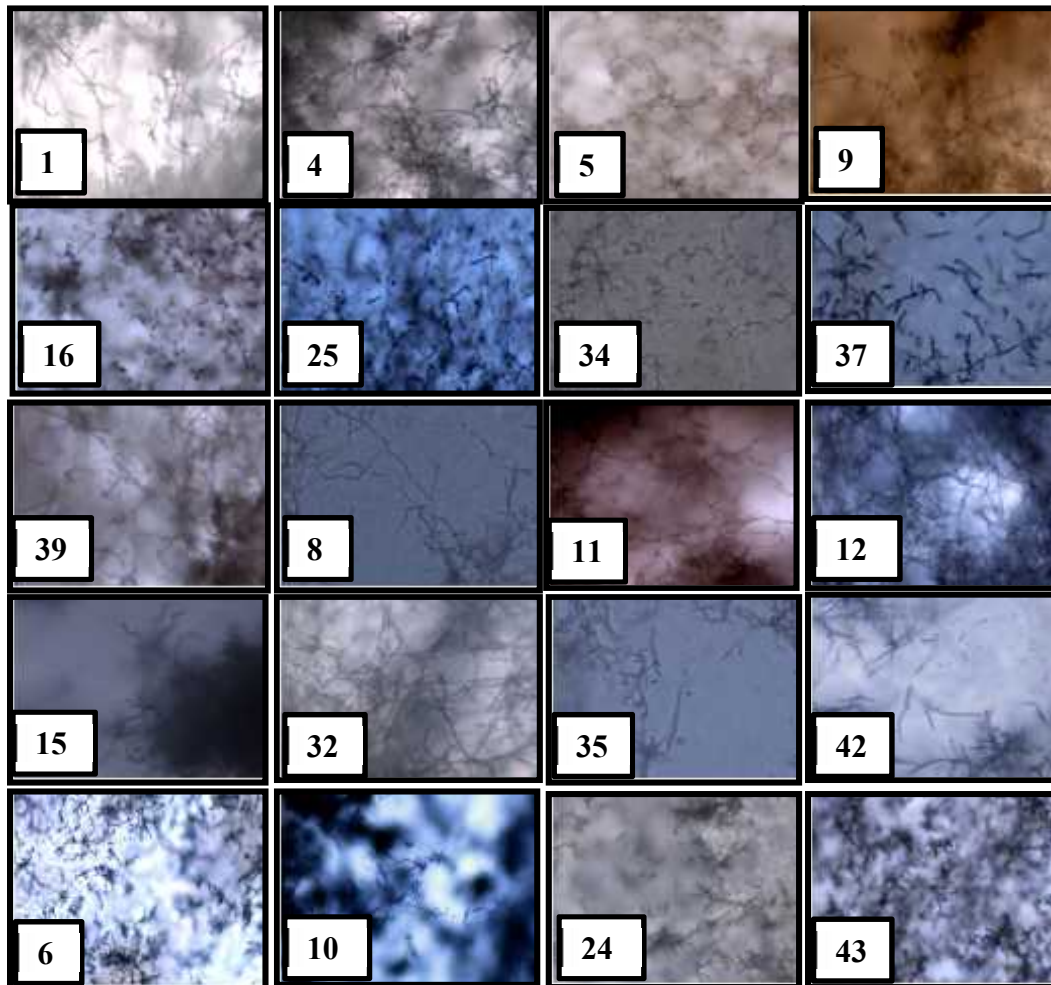
Berdasarkan morfologi koloni pertumbuhan isolat pada media YMA, YSA, dan OM selama 10 hari pada suhu ruang, 20 isolat yang diperoleh dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok warna miselium udara dan sporanya yaitu putih, abu-abu dan coklat. Ambarwati *et al.* (2011) menyatakan bahwa karakteristik *Streptomyces* memiliki hifa vegetatif dan miselium udara, dimana hifa vegetatif (dengan diameter 0.5 hingga 2.0 μm) menghasilkan miselium bercabang luas yang jarang memiliki fragmen. Miselium udara pada fase dewasa membentuk tiga hingga banyak spora (lebih dari 50 spora). Beberapa spesies memiliki rantai spora pendek pada miselium substrat. Spora bersifat nonmotil. Koloni yang muncul relatif halus, tetapi kemudian terjadi perkembangan yang menampakkan miselium udara dalam bentuk *floccose*, butiran bubuk, atau beludru (Korn Wendisch & Kutzner 1992).

Sebagian besar isolat dalam penelitian ini termasuk ke dalam kelompok warna abu-abu, warna putih dan warna coklat (Lampiran 2). Warna-warna ini disebabkan oleh pembentukan metabolit khusus yang disebut pigmen, beberapa pigmen terdiri atas 2 sampai 3 senyawa, sementara yang lain dapat terdiri atas 7 sampai 10 atau bahkan 15 senyawa (Abdulla *et al.* 2008). Data yang tersedia mengenai sifat kimia dari sekitar 200 pigmen aktinomiset telah dibagi ke dalam beberapa produk yaitu senyawa asiklik, senyawa aromatik, quinon, oksigen yang mengandung senyawa heterosiklik, nitrogen yang mengandung senyawa heterosiklik, sidromisin. Setiap jenis pigmen ini dapat memberikan warna tertentu dan dapat digunakan untuk mengklasifikasi *Streptomyces*. Pigmen kehijauan yang dapat mengindikasikan viridomisin dihasilkan oleh *Streptomyces* dengan miselium udara berwarna abu-abu, merah muda, dan kuning-kehijauan. Pigmen yang terkait dengan antibiotik dari jenis rodomisin, griseorodin-rubromisin dan litmosidin diproduksi oleh *Streptomyces* dengan miselium udara berwarna abu-abu juga merah muda (Salvameenal *et al.* 2009).

Warna miselium udara adalah salah satu karakter menonjol dari identifikasi isolat *Streptomyces* di tingkat spesies. *Internasional Streptomyces Project* (ISP) telah merekomendasikan warna miselium udara di media yang berbeda untuk digunakan sebagai karakter taksonomi (Oskay 2009). Karakterisasi morfologi adalah informasi dasar dalam mendeskripsikan aktinomiset yang meliputi pembentukan miselium substrat, miselium udara, dan dihasilkannya pigmen terlarut (Wink 2011).

Berdasarkan pengamatan mikroskopis diketahui bahwa isolat-isolat aktinomiset yang diperoleh dari isolasi tanah gambut ini memiliki 3 tipe penataan rantai spora yang dimiliki genus *Streptomyces* yaitu *rectiflexibiles* (RF), *retinaculiaperti* (RA) dan *spirales* (S). Sebagian besar isolat dalam penelitian ini memiliki tipe penataan rantai spora *spirales*, kemudian *rectiflexibiles* dan terakhir *retinaculiaperti* (Gambar 1). Penataan rantai spora dapat digunakan untuk membedakan morfologi

antar isolat. Beragam spesies yang termasuk genus *Streptomyces* dapat memiliki penataan rantai spora *rectiflexibles* (RF), *retinaculiaperti* (RA) dan *Spirales* (S) (Jeffrey 2008).



Gambar 1 Keragaman penataan rantai spora dari 20 isolat aktinomiset. *Spirales* (isolat 1, 4, 5, 9, 16, 25, 34, 37, 39,), *Rectiflexibles* (isolat 8, 11, 12, 15, 32, 35, 42), dan *Retinaculiaperti* (isolat 6, 10, 24, 43).

KESIMPULAN

Hasil seleksi berdasarkan keragaman bentuk koloni dari 80 isolat diperoleh 20 isolat murni yang memiliki beragam morfologi koloni, menghasilkan miselia aerial dan mampu tumbuh baik serta bersporulasi pada umur 7-14 hari. Karakteristik morfologi ini mengindikasikan isolat-isolat tersebut adalah *Streptomyces sp.*

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulla H, May E, Bahgat M, Dewedar A. 2008. Characterization of actinomycetes isolated from ancient stone and their potential for deterioration. *Polish J Microbiol* 57:213-220.
- Alam MZ, Manchur MA, Anwar MN. 2004. Isolation, purification, characterization of cellulolytic enzymes produced by *Streptomyces omiyaensis*. *J Biol Sci* 10:1647-1653.

- Ambarwati A, Sembiring L, Soegihardjo CJ. 2011. Antibiotic produced by streptomycetes associated with rhizosphere of purple nut sedge (*Cyperus rotundus* L.) in Surakarta, Indonesia. *Afr J Biotechnol* 6:52-52.
- Anindyawati T. 2010. Potensi selulase dalam mendegradasi lignoselulosa limbah pertanian untuk pupuk organik. *Berita selulosa* 45:70-77.
- Arifuzzaman A, Khatun MR, Rahman A. 2010. Isolation and screening of actinomycetes from Sundarbans soil for antibacterial activity. *Afr J Biotechnol* 9:4615-4619.
- Arunachalam R, Wesely EG, George J, Annadurai G. 2010. Novel approach for identification of *Streptomyces noboritoensis* TBG-V20 with cellulase production. *Curr Res Bacteriol* 3:15-26.
- Aziz AA, Husin M, Mokhtar A. 2002. Preparation of cellulose from oil palm empty fruit bunches via ethanol digestion: effect of acid and alkali catalyts. *J Oil Palm Res* 14:9-14.
- Berrocal M, Rodriguez J, Ball AS, Leblic P. 1997. Solubilisation and mineralisation of lignocellulose from wheat straw by *Streptomyces cyaneus* CECT 3335 during growth in solid-state fermentation. *Appl Microbiol Biotechnol* 48:379-384.
- Beguin P, Aubert JP. 1994. The biological degradation of cellulose. *FEMS Microbiol Rev* 13:25-58.
- Bhat MK, Bhat S. 1997. Cellulose degrading enzymes and their potential industrial applications. *Biotechnol Adv* 15:583-620.
- Bibb MJ. 2005. Regulation of secondary metabolism in *Streptomyces*. *Curr Opin Microbiol* 8:208-215.
- Chandel *et al.* 2007. Economics and Environmental impact of Bioetanol Production Technologies : An Appraisal. *Biotechnol Mol Biol Rev* 2:14-32.
- Das SK, Alam MZ, Manchur MA, Anwar MN. Effect of nutrients and cellobiose octaacetate on cellulolytic enzyme productions by *Streptomyces albolongus*. *Bangladesh J Microbiol* 24:70-72.
- Davison A, Blaxter M. 2005. Ancient origin of glycosyl hydrolase family 9 cellulase genes. *Mol Biol Evol* 22:1273-1284.
- Dybkaer R. 2001. Unit “katal” for catalytic activity. *J Pure Appl Chem* 73:927-931.
- Fikrinda, Anas I, Purwadaria T, Santosa DA. 2000. Isolasi dan seleksi bakteri penghasil selulase ekstremofil dari ekosistem air hitam. *J Mikrobiol Ind* 5:48-53.
- Gonzalez SL, Castro C, Perez C, Rubio M, Valdez F. 2002. *bldA*-dependent expression of the *Streptomyces exfoliatus* M11 lipase gene (*lipA*) is mediated by the product of a contiguous gene, *lipR*, encoding a putative transcriptional activator. *J Bacteriol* 179:7816-7826.
- Goto M, Furukawa K, Hayashida S. 1992. An avicel-affinity site in an avicel-digesting exocellulase from a *Trichoderma viride* mutant. *Biosci Biotech Biochem* 56:1523-1528.
- Hartatik W, Idris K, Sabiham S, Djuniwati S, Adiningsih JS. 2004. Di dalam: *Pengaruh pemberian fosfat alam dan SP-36 pada tanah gambut yang diberi bahan amelioran tanah mineral terhadap serapan P dan efisiensi pemupukan P*. Prosiding Kongres Nasional VIII HITI. Universitas Andalas. Padang, 6-11 Juni 2004. hlm 19-37.
- Hamedani K, Soudbakhsh N, Das A, Prashanthi K, Bhattacharya S, Suryan S. 2012. Enzymatic screening, antibacterial potential and molecular characterization of *Streptomyces* isolated from Wayanad District in Kerala, India. *Biol Sci* 2:201-210.

- Hiraishi A, Kamagata Y, Nakamura N. 1995. Polymerase chain reaction amplification and restriction fragment length polymorphism analysis of 16S rRNA genes from methanogens. *J Ferm Bioeng* 79:523-529.
- Holmes S. 2003. Bootstrapping phylogenetic trees: theory and methods. *Stat Sci* 18:241-255.
- Holt *et al.* 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Ed ke-9. Baltimore: Science Publishers, Inc.
- Ibrahim ASS, El Diwany AI. 2007. Isolation and identification of new cellulases producing thermophilic bacteria from an Egyptian hot spring and some properties of the crude enzyme. *Aust J Appl Sci* 1:473-478.
- Immanuel G, Dhanusa R, Prema P, Palavesa A. 2006. Effects of different growth parameters on endoglucanase enzyme activity by bacteria isolated from coir retting effluents of estuarine environment. *Int J Environ Sci Tech* 3:2534.
- Jager *et al.* 2010. Practical screening of purified cellobiohydrolases and endoglucanases with α -cellulose and specification of hydrodynamics. *Biotech Biofuels* 3:18 <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/> [17 Januari 2012]
- Jaradat Z, Dawagreh A, Ababneh Q, Saadoun I. 2008. Influence of culture conditions on cellulase production by *Streptomyces* sp. (Strain J2). *Jordan J Biol Sci* 4:141-146.
- Janda JM, Abbott SL. 2002. Bacterial identification for publication: when is enough enough. *J Clin Microbiol* 40:1887-1891.
- Jeffrey LSH. 2008. Isolation, characterization and identification of actinomycetes from agriculture soils at Semongok, Sarawak. *Afr J Biotechnol* 7:3697-3702.
- Kanti A. 2005. Actinomycetes selulolitik dari tanah hutan Taman Nasional Bukit Duabelas, Jambi. *Biodiversitas* 2:85-89.
- Kim KC, Seung-Soo Y, Oh Young A, Seong-Jun K. 2003. Isolation and characteristics of *Trichoderma harzianum* FJ1 producing cellulases and xylanase. *J Microbiol Biotechnol* 13:1-8.
- Klemm D, Heublein B, Fink HP, Bohn A. 2005. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Chem Inform* 44:3358-3393.
- Klingbeil B, Kroppenstedt RM, Jendrossek D. 1996. Taxonomic identification of *Streptomyces exfoliatus* K10 and characterization of its poly(3-hydroxybutyrate) depolymerase gene. *Res Lett* 142:215-221.
- Koesnandar, Parmiyatni S, Nurani D, Wahyono E. 2006. Government role on research and application of technology for peatland utilization. Di dalam: Koesnandar *et al.*, editor. *National Seminar on peatlands and their problems*; Pontianak, 21 Mar 2006. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- Korn-Wendisch F, Kutzner HJ. 1992. The family Streptomycetaceae. Di dalam: A. Balows HG, Truper M, Dworkin, W. Harder, Karl-Heinz Schleife, editors. *The Prokaryotes. A Handbook on the Biology of Bacteria : Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications*. Second Edition. New York: Springer-Verlag.
- Kukolya *et al.* 2002. *Thermobifida cellulolytica* sp. nov., a novel lignocellulose-decomposing actinomycete. *Int J Syst Evolution Microbiol* 52:1193-1199.

- Li Xianzhen. 1997. *Streptomyces cellulolyticus* sp. nov., a new cellulolytic member of the genus *Streptomyces*. *Int J Syst Bacteriol* 47:443-445.
- Lynd LR, Weimer PJ, Zyl WH, Pretorius IS. 2002. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. *Microbiol Mol Biol Rev* 66:506-577.
- Maki ML, Leung KT, Qin W. 2009. The prospects of cellulase-producing bacteria for the bioconversion of lignocellulosic biomass. *Int J Biol Sci* 5:500-516.
- Maki ML, Broere M, Leung KT, Qin W. 2011. Characterization of some efficient cellulase producing bacteria isolated from paper mill sludges and organic fertilizers. *Int J Biochem Mol Biol* 2:146-154.
- Malherbe S, Cloete TE. 2002. Lignocellulose biodegradation: fundamentals and applications. *Rev Envir Sci Biotechnol* 1:105-114.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2000. *Brock Biology of Microorganisms*. Ed. Ke-9. Upper Saddle River : Prentice Hall.
- Maltby E. 1992. Microbiological changes resulting from human impacts on peat and organic soil horizons. Di dalam: Bragg OM, Hulme PD, Ingram HAP, Robertson RA, editors. *Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment*, Dundee: International Peat Society, Department of Biological Sciences, University of Dundee. hlm 45–58.
- Mehdi D, Miranda M, Leung KT, Mao C, Qin W. 2010. Cellulase activities in biomass conversion: measurement methods and comparison. *Cri Rev Biotechnol* :1-8. <http://www.informahealthcare.com/bty> [17 Januari 2012].
- Meryandini *et al.* 2009. Isolasi bakteri selulolitik dan karakterisasi enzimnya. *Makara Sains* 13:33-38.
- Miller GL. 1959. Dinitrosalicylic assay. *Anal Chem* 31: 426-428.
- Moore TA, Shearer JC. 1997. Evidence of aerobic degradation of Palangka Raya Peat and Implication for its Sustainability. Di dalam: *Proceedings of the international Symposium on Biodiversity, Environmental importance and sustainability of Tropical Peat and Peatlands*; Palangkaraya, 4-8 sept 1997. Palangkaraya, Central Kalimantan, Indonesia.
- Mutalib, A.Aa, J.S. Lim, M.H. Wong and L. Koonvai. 1991. Characterization, distribution and utilization of peat in Malaysia. Di dalam: *Proceedings of International Symposium on tropical peatland*; Kuching, Malaysia, 6-10 May 1991. hlm 267-280.
- Nannipieri *et al.* 2003. Microbial diversity and soil function. *Eur J Soil Sci* 54:655-670.
- Nishiyama Y, Langan P, Chanzy H. 2002. Crystal structure and hydrogen-bonding system in cellulose I β from synchrotron x-ray and neutron fiber diffraction. *J Am Chem Soc* 124:9074-82.
- Nurani D, Parmiyatni S, Purwanta H, Angkoso G, Koesnandar. 2007. Increase In pH of Peat Soil by Microbial Treatment. Di dalam: *Carbon-Climate-Human Interactions on Tropical Peatland: Carbon Pools, Fire, Mitigation, Restoration and Wise Use. Proceedings of the International Symposium and Workshop on Tropical Peatland*; Yogyakarta, 27-29 Agu 2007. Yogyakarta: Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Gadjah Mada University. hlm 86-93.
- Nugroho KG, Gianinazzi, Widjaja A. 1997. *Soil hydraulic properties of Indonesian peat*. Di dalam: Rieley J.O & Page S.E, editor. *Biodiversity and sustainability of tropical peat and peatland*. Cardigan: Samara. hlm 147-156

- Okada G. 1999. A novel concept for the enzymatic degradation mechanism of native cellulose. Di dalam : Ohmiya *et al.*, editor. *Genetics Biochemistry and Ecology of Cellulose Degradation Cel*. Tokyo: Uni Publisher. hlm 76-85.
- Oskay M. 2009. Comparison of *Streptomyces* diversity between agricultural and non-agricultural soils by using various culture media. *Sci Res* 4:997-1005.
- Page SE, Wust, Banks C. 1999. Past and present carbon accumulation and loss in Southeast Asian peatlands. *PAGES News* 18:234-237.
- Page SE, Rieley JO, Boehm HDV, Jaya A, Limin SH. 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61-65.
- Pangastuti A. 2006. Definisi spesies prokaryota berdasarkan urutan basa gen penyandi 16S rRNA dan gen penyandi protein. *Biodiversitas* 7:292-296.
- Perez J, Dorado JM, Rubia T, Martinez J. 2002. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview. *Int Microbiol* 5:53-63.
- Pitcher DG, Saunders NA, Owen RJ. 1989. *Rapid extraction of bacterial genomic DNA with guanidium thiocyanate*. *Lett Appl Microbiol* 8:109-114.
- Radjagukguk B. 1997. Peat soil of Indonesia: Location, classification, and problems for sustainability. Di dalam: *Proceedings of the International Symposium on Biodiversity, Environmental Importance and Sustainability of Tropical Peat and Peatlands*; Palangkaraya, Central Kalimantan 4-8 Sept 1999. Cardigan: Samara Publishing Ltd. hlm 45-54.
- Ramachandra M, Crawford DL, Hertel G. 1988. Characterization of an extracellular lignin peroxidase of the lignocellulolytic Actinomycete *Streptomyces viridosporus*. *Appl Environ Microbiol* 54:3057-3063.
- Selvameenal L, Radhakrishnan M, Balagurunathan R. 2009. Antibiotic pigment from desert soil actinomycetes; biological activity, purification and chemical screening. *Indian J Pharm Sci* 71:499-504.
- Salampak. 1999. Peningkatan produktivitas tanah gambut yang disawahkan dengan pemberian bahan amelioran tanah mineral berkadar besi tinggi [disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Stackebrandt E, Goebel BM. 1995. A place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology. *Int J Syst Bacteriol* 44:846-849.
- Sagiman S. 2001. Peningkatan produksi keelalai di tanah gambut melalui inokulasi *Bradyrhizobium japonicum* asal tanah gambut dan pemanfaatan bahan ameliorant (lumpur dan kapur) [disertasi]. Bogor: Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Swarz, W.H. 2001. The cellulosome and cellulose degradating anaerobic bacteria. *J Appl Microbiol Biotechnol* 56:634-649.
- Seco EM, Cuesta T, Fotso S, Laatsch H, Malpartida F. 2005. Two polyene amides produced by genetically modified *Streptomyces diastaticus* var. 108. *Chem Biol* 12:535-543.
- Semedo LTAS *et al.* 2004. *Streptomyces drozdowiczii* sp. nov., a novel cellulolytic streptomycete from soil in Brazil. *Int J Syst Evol Microbiol* 54:1523-1528.
- Soltis PS, Soltis DE. 2003. Applying the bootstrap in phylogeny reconstruction. *Stat Sci* 18:256-267.
- Sreenath HK, Joseph R. 1982. Purification and properties of extracellular xylan hydrolases of *Streptomyces exfoliatus*. *Folia Microbiol* 27:107-115.

- Tamura T, Hayakawa M, Hatano K. 1997. A new genus of the order *Actinomycetales*, *Spidliplanes* gen. nov., with description of *Spirilliplanes yamanashiensis* sp. nov. *Int J Syst Bacteriol* 47:97-102.
- Tamburini E, Perito B, Mastromei G. 2004. Growth phase-dependent expression of an endoglucanase encoding gene (eglS) in *Streptomyces rochei* A2. *Microbiol Lett* 237:267-272.
- Tomme P, Warren RA, Gilkes NR. 1995. Cellulose hydrolysis by bacteria and fungi. *Adv Microb Physiol* 37:1-81.
- Tsujibo H, Kubota T, Yamamoto M, Miyamoto K, Inamori Y. 2003. Characteristics of chitinase genes from an alkaliphilic actinomycete, *Nocardopsis prasina* OPC-131. *Appl Environ Microbiol* 69:894-900.
- Wink Joachim. 2011. How can actinomycete taxonomy and natural product research work together- The Sanofi-Aventis approach. Under The Microscope. Microbiology Australia. journals.cambridge.com.au [7 Juni 2012].
- Zenova GM, Gryadunova AA, Pozdnyakov AI, Zvyagintsev DG. 2008. Aerobic and microaerophilic actinomycetes of typical agropeat and peat soils. *Eurasian Soil Sci* 41:210-214 [terhubung berkala]. <http://www.springerlink.com> [20 Juni 2012].
- Zhang PYH, Himmel ME, Mielenz JR. *Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies. Biotechnol Adv* 24:452-481.