



Website : <http://ejournal.forda-mof.org/ejournal-litbang/index.php/JPKS>

Jurnal Penelitian Kehutanan Sumatrana

Jurnal Penelitian Kehutanan Sumatrana. Vol. 2. No. 1. (2018) 47 - 56

eISSN 2581-270X pISSN 2598-0572



Manfaat Besar dibalik Penampilan Kecil

(*Big benefit on a microbial scale*)

Asep Hidayat^{1*} dan Maman Turjaman¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan, Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi
Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Jl. Raya Gunung Batu No. 5 Bogor Indonesia 16610

*Email: ashephidayat12@gmail.com

Article History:

Received 23 February 2018; Received in revised form 27 April 2018;

Accepted 25 Mei 2018; Available online since 31 December 2018

ABSTRAK

Kekayaan sumber daya alam Indonesia yang besar terbentang mulai dari tegakan hutan hujan tropis yang luas sampai dengan beragam mikroba yang tidak kasat mata. Mereka memerlukan fungsi yang saling bertautan untuk menyeimbangkan kondisi lingkungan yang ideal. Namun, fungsi yang menguntungkan dari mikroba akan hilang bersama fungsi lainnya saat kondisi lingkungan hutan mendapatkan tekanan, seperti oleh aktivitas *illegal logging*, kebakaran, konversi dan eksploitasi yang berlebihan. Sejalan dengan perkembangan teknologi, peran dan fungsi mikroba semakin meningkat dengan cepat baik dari segi nilai ekonomi ataupun perannya terhadap lingkungan. Tulisan ini menjelaskan tentang beberapa bioprospeksi pemanfaatan mikroba hutan untuk kesehatan (*bio-health*), lingkungan (*bioremediasi, bioplastik*), energi (*bio-energy*), dan kehutanan (pemicu pertumbuhan). Dengan mengetahui manfaat tersebut diharapkan program perlindungan hutan dan reforestasi dapat dilakukan dengan sungguh-sungguh dengan mempertimbangkan kelestarian sumber daya mikroba yang ada di dalamnya. Di antara upaya pelestarian mikroba hutan adalah dilakukannya kegiatan isolasi, identifikasi dan bioprospeksi untuk berbagai kemanfaatannya, dan hal tersebut harus dilakukan secepat mungkin berlomba dengan tingginya laju kepunahan hutan.

Kata Kunci: kehutani, bioprospeksi, mikroba, hutan tropis

ABSTRACT

The huge diversity of Indonesian biological resources stands from the vast tropical rainforest to the invisible microbes. They work in harmony to keep system in balance condition. However, the beneficial function of the microbes will disappear when external disturbance, such as illegal logging, forest fires, conversion and exploitation occurred. As technologies are being developed, the finding on the uses of microbes are escalating rapidly both in their economic valuations and also environmental impacts. This review described about some utilization of Tropical Forest Microbes, i.e bio-health, bio-degradation, bio-plastics, bio-energy, and bio-fertilizer. Revealing their benefits, forest protection and reforestation programs should be carried out by considering the sustainability of the forest microbes. Among those of preserving forest microbes are isolation, identification, and bio-prospecting of the forest microbes utilization which is need to be carried out as soon as possible against the alarming rate in forest loss.

Keywords: biodiversity, bio-prospect, microbes, tropical forest

I. PENDAHULUAN

Kekayaan alam Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi dan sudah sejak lama diakui, sehingga Indonesia dikenal dengan julukan *megabiodiversity*

country. Salah satu kekayaan alam yang dimiliki Indonesia tersimpan dalam bentuk hutan tropis. Clarck (2007) dan Laurance (1999) menyatakan bahwa hutan tropis Indonesia (HTI) merupakan pusat keanekaragaman

hayati (kehati) dunia, sekaligus tempat sirkulasi karbon dunia. Secara umum, kehati dapat dipisahkan berdasarkan tipe ekosistem, jenis dan genetik. Keanekaragaman mereka menjadi sangat unik dan tinggi karena Indonesia berada di kawasan *Sundaland* dan *Wallaceae, the world's most biodiversity hotspots*.

Kekayaan HTI didominasi (95%) oleh hasil hutan bukan kayu (HHBK) dan jasa lingkungan. Manfaat dari kekayaan HTI yang besar tersebut masih terabaikan dan belum dimanfaatkan secara maksimal. Sampai dengan saat ini, pemanfaatan HTI masih difokuskan pada pemanfaatan kayu “crown of the forest”, namun nilai manfaat tersebut hanya sisanya (5%) dari kekayaan HTI. Dalam pemanfaatan kayu, pemberian ijin konsesi lahan hutan marak dilakukan untuk kegiatan eksploitasi. Selama kurang lebih 30 tahun, kehati merosot tajam, nilai HBBK dan jasa lingkungan menjadi terancam dan tiada. Selain itu, acaman kebakaran hutan yang tinggi, *illegal logging* dan *biopiracy* yang sulit dicegah menjadi penyebab lain di mana kehati terus mendapat tekanan.

Contoh kecil atas kehati adalah tersimpannya “mikroba hutan tropis Indonesia (MHTI)” sebagai salah satu sumber *bioresources*. MHTI memiliki manfaat yang besar untuk mendukung pembangunan ekonomi dan lingkungan hidup, seperti: 1) pemanfaatan tanaman hutan (bakteri penambat nitrogen, fungi mikoriza, dan lain-lain); 2) jamur penginduksi biosintesis gaharu (majoritas merupakan genus *Fusarium*); 3) mikroba lignoselulolitik, agen bioremediasi; 4) fungi *Phlebiopsis* sp. dan *Cerrena* sp. yang berpotensi sebagai pengendali biologis untuk penyakit busuk akar yang disebabkan oleh *Ganoderma* sp; 5) sumber pangan alternatif dan obat-obatan; 6) sumber energi alternatif (sumber gas hidrogen (H_2) dan metan (CH_4) dan bioplastik). Oleh karena itu, tulisan ini memberikan ulasan singkat tentang potensi dan pemanfaatan mikroba hutan untuk bidang kehutanan, lingkungan, kesehatan dan energi sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas bahwa bioprospeksi dari mereka

sangat penting untuk kehidupan manusia dan pengendali kualitas lingkungan hidup.

II. AGEN BIOREFORESTASI SEBAGAI PEMACU PERTUMBUHAN POHON HUTAN TROPIS

Mikroba simbiotik merupakan salah satu agen penting dalam menghutankan kembali hutan-hutan yang terdegradasi (Tawaraya & Turjaman, 2014). Berbagai jenis pohon hutan tropis dapat diproduksi di tingkat semai dengan dibekali proses inokulasi fungi mikoriza yang mampu membantu penyerapan nutrisi makro maupun mikro untuk memacu pertumbuhan pohon yang ditanam di lapangan. Ada dua kelompok fungi mikoriza yaitu fungi ektomikoriza dan fungi mikoriza arbuskula. Fungi ektomikoriza lebih spesifik pada keluarga Pinaceae, Myrtaceae, Dipterocarpaceae, Fagaceae, dan Gnetaceae. Uji coba aplikasi tablet spora ektomikoriza *Pisolithus arhizus* dan *Scleroderma columnare* telah dilakukan pada jenis-jenis meranti seperti *Shorea pinanga* (Turjaman et al., 2005), *Shorea seminis* (Turjaman et al., 2006), dan *Shorea balangeran* (Graham et al., 2013; Turjaman et al., 2011). Uji coba pada jenis *Shorea balangeran* lebih lengkap karena dilanjutkan dengan kegiatan penanaman di hutan rawa gambut. Sementara Tata et al., (2009) melaporkan *Shorea selanica* dan *S. lamellata* yang diinokulasi oleh fungi ektomikoriza menghasilkan pertumbuhan yang agak terhambat bila ditanam dengan pola agroforestry dengan tanaman karet (*Hevea brasiliensis*). Banyak faktor yang mempengaruhi, seperti: historis tempat tumbuh pohon karet, historis aplikasi pupuk kimia, faktor cahaya, dan faktor dominasi fungi mikoriza arbuskular yang bersimbiosis dengan pohon karet dapat mengganggu eksistensi fungi ektomikoriza yang diintroduksi melalui kedua jenis *Shorea* tersebut.

Selama ini hutan tropis tidak pernah dipupuk, dan mikoriza berperan merombak nutrisi tersedia bagi tanaman. Oleh karena itu agen bioreforestasi menjadi penting

apabila hutan tropis Indonesia ingin segera dipulihkan. Lahan pasca tambang yang telah dirusak dapat dipulihkan dengan adanya agen bioreforestasi, sehingga lahan tambang yang statusnya pinjam pakai, dapat dipulihkan dengan menggunakan teknologi yang ramah lingkungan ini (Turjaman et al., 2005). Saat ini kegiatan bioreforestasi dengan menggunakan jenis-jenis pohon lokal pada ekosistem hutan, dan aplikasi fungi mikoriza sangat diperlukan untuk menghasilkan bibit tanaman hutan yang berkualitas (Tawaraya & Turjaman, 2016). Badan Litbang dan Inovasi (BLI), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dapat membantu membangun penyediaan produksi inokulan mikoriza untuk memproduksi bibit tanaman hutan dalam skalamassal, sehingga pada akhirnya laju deforestasi dapat diminimalisir. Keengganan para pemegang kebijakan kehutanan menyebabkan teknologi ini diabaikan, mereka menggunakan teknologi pupuk kimia untuk memproduksi bibit tanaman hutan yang tidak ramah terhadap lingkungan.

III. AGEN BIOINDUKSI SEBAGAI FORMASI PEMBENTUKAN GUBAL GAHARU

Peranan mikroba tidak terbatas untuk memacu pertumbuhan pohon, tetapi beberapa jenis jamur endofit yang tumbuh di sel-sel hidup kayu turut membantu berkontribusi dalam pembentukan formasi gubal gaharu pada pohon-pohon famili Thymelaeaceae, diantaranya adalah *Fusarium solani* (Turjaman et al., 2016). Faizal et al. (2017) melaporkan peran *F. solani* dalam proses awal pembentukan gaharu mengeluarkan bahan aktif penentu aroma gaharu pada jenis *Aquilaria malaccensis*. Demikian pula Maharani et al. (2016) telah menganalisis kandungan fitokimia dari *A. malaccensis* untuk bahan alami mencegah jus apel berwarna coklat.

Selama ini ekspor produk gaharu dari dua genera yaitu *Aquilaria* dan *Gyrinops* dibatasi oleh *The Convention on International Trade in Endangered Species* (CITES). Untuk itu usaha budidaya pohon penghasil gaharu sudah dimulai tahun 2000-an. Dari hasil inventarisasi

pohon penghasil gaharu budidaya, diperoleh data bahwa lebih dari 3,2 juta pohon gaharu telah ditanam di 21 provinsi (Turjaman & Hidayat, 2017). Gaharu yang bernilai ekonomi tinggi semakin sulit diproduksi secara alami. Meskipun banyak pohon penghasil gaharu tumbuh dan dibudidayakan, tetapi belum tentu mengandung glubal gaharu di dalam batang pohon (Sitepu et al., 2011). Oleh karena itu, peneliti BLI telah melakukan riset yang panjang, dan menemukan bahwa jamur adalah kunci yang mampu membantu terbentuknya gaharu melalui proses inokulasi. Kualitas gaharu hasil inokulasi sudah diterima pasar sesuai dengan grade yang dihasilkan. Melalui agen bioinduksi, produksi gaharu akan meningkat dan lestari melalui proses budidaya. Pada akhirnya eksplotasi pohon penghasil gaharu di alam dapat ditekan. Disisi lain, pihak Pemerintah Kabupaten/Provinsi yang berminat daerahnya dijadikan "sentra gaharu" harus membuat cluster produksi gaharu yang berbasis pemanfaatan mikroba, agar produksi gaharu budidaya dapat diproduksi secara lestari (Turjaman, 2016). Perangkat-perangkat standarisasi gaharu budidaya harus disiapkan, misalnya pemanfaat barcode DNA dapat dimanfaatkan untuk membedakan gaharu budidaya dan alam dapat dideteksi melalui biologi molekuler (Lee et al., 2016).

IV. AGEN BIOREMEDIASI SEBAGAI PENETRALISIR PENCEMARAN

Bioremediasi merupakan sebuah konsep penguraian secara biologis untuk lahan terkontaminasi oleh senyawa berbahaya (polutan). Bioremediasi menjadi sangat menarik Bioremediasi menjadi sangat menarik karena meskipun beberapa polutan dapat terabsorbsi, terurai, dan ter-photolisis, namun proses penguraian secara biologis mendominasi proses tersebut terjadi secara alami, efisien (murah), ramah dan aman. Sangat berbeda bila proses penguraian dilakukan secara konvensional, secara fisik (pembakaran, pencucian), dan kimia (ekstraksi, reaksi kimia, pengenceran); berbiaya mahal

dan hanya memindahkan polutan dari satu phase/tempat ke phase/tempat yang lain.

Mikroba, baik bakteri dan atau jamur, mampu mengurai polutan organik. Pada ekosistem, jamur sangat berperan sebagai agen dekomposer utama polimer dari sampah tanaman, misalnya selulosa, hemiselulosa dan lignin. Jamur juga memiliki catatan keberhasilan mengurai senyawa fenol, petroleum hidrokarbon, polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), poliklorinasi aromatik, zat pewarna, polimer dan beberapa substrat lainnya (Singh, 2006). Jamur non-ligninolitik menghasilkan senyawa metabolismik melalui reaksi enzimatis *cytochrome P450 monooxygenases*, *epoxide hydrolases* dan *dioxygenases* (Sutherland et al., 1995), sementara jamur ligninolitik menggunakan dua tipe enzim ligninolitik, peroksidase dan lakase, melalui oksidasi radikal tidak spesifik (Hammel et al., 1992).

Studi kasus untuk jamur *Fusarium* sp. F092 (Hidayat et al., 2012), *chrysene* sebuah PAH yang memiliki 4 cincin benzene dapat terurai sebesar 48% dari konsentrasi awal 125 mg/L selama 30 hari masa inkubasi. Jalur degradasi diungkap melalui identifikasi senyawa metabolismik dan evaluasi aktivitas enzim yang dihasilkan selama proses penguraian berlangsung. Senyawa metabolismik yang teridentifikasi antara lain: *chrysene 1,2-oxide*, *chrysene trans-1,2-dihydrodiol*, *1-hydroxy 2-naphtoic acid* dan *catechol*. Hal ini menunjukkan bahwa *Fusarium* sp. F092 benar adanya memiliki kemampuan mengurai *chrysene* menjadi bentuk yang lebih sederhana dan aman terhadap lingkungan. Enzim yang berperan aktif selama proses penguraian tersebut adalah 1,2- and 2,3-*dioxygenase*, dimana enzim tersebut sejalan dengan *Fusarium* sp F092 yang tergolong jamur non-ligninolitik. Degradasi *phenanthrene*, senyawa PAH yang memiliki 3 cincin benzene, oleh jamur *Trametes* sp. RT10 menunjukkan bahwa *phenanthrene* dapat terurai sebesar 72% selama 15 hari masa inkubasi (Hidayat & Tachibana, 2014). *Trametes* sp. RT10 adalah jamur pelapuk kayu yang memproduksi

enzim ligninolitik, namun reaksi enzimatik diawali oleh peran *P-450 monooxygenase* menghasilkan *phenanthrene dihydriodiol*, dan ekstraselular peroxidase, misal lakase berperan dalam proses dekomposisi lebih lanjut.

IV. SUMBER OBAT-OBATAN, TAXOL OBAT ANTI KANKER

Paclitaxel (*Taxol* ®) merupakan senyawa kelompok *Taxanes* yang aktif melawan penyakit kanker melalui penghambatan mitosis. *Taxol* dan *docetaxel* adalah senyawa anti kanker pertama yang memiliki peran sebagai agen penstabil mikrotubula (*microtubule-stabilizing-agent* (MSA)). Kedua senyawa tersebut oleh *Food and Drug Administration* (FDA) yang secara klinis direkomendasikan untuk penyembuhan kanker payudara, ovarium, prostat dan *non-small-cell lung carcinoma* (Onrubia et al., 2013). *Taxol* pertama kali diperoleh dari ekstraksi kulit batang *Taxus brevifolia* (*Pacific yew*) yang hidup di pegunungan North Western, Amerika Serikat dan Western Canada (Farrar, 1995). Selang beberapa tahun setelahnya, antara tahun 1963 – 1971 struktur kimia *Taxol* ditemukan.

Saat ini ketercukupan antara permintaan dan ketersediaan *Taxol* tidak seimbang. Beberapa faktor yang menyebabkan hal tersebut terjadi antara lain: 1) jumlah bahan aktif (*Taxol*) yang terbatas dengan rendemen produk yang sangat rendah 0.01-0.05% (Suffness, 1993); 2) pertumbuhan tanaman (genus *Taxus*) yang sangat lambat (Garyali, 2013); 3) terlokalisasinya *Taxol* pada bagian organ yang spesifik (Frense, 2007); dan 4) keterancaman kelestarian genus *Taxus* karena kegiatan pemanenan yang berlebihan dan alih fungsi lahan hutan (IUCN, 2014). Padahal di lain pihak, satu pasien penderita kanker paling tidak membutuhkan sekitar 2-2.5 g *Taxol* atau setara kurang lebih 6-8 pohon *Taxus* yang berumur minimal 60 tahun (Malik et al., 2011). Untuk alasan itulah, beberapa penelitian dan usaha untuk mencari alternatif-alternatif baru untuk memproduksi *Taxol* adalah langkah dan kunci terpenting untuk menjaga

kelestarian genus, dan menyeimbangkan suplai/permintaan *Taxol* yang jauh dari keseimbangan. Program domestikasi *Taxus* bukan satu-satunya jalan yang efektif untuk memproduksi *Taxol*. Perlu ketersediaan teknologi yang mampu memproduksi *Taxol* lebih efisien. Ilmuwan terus bergerak pada penelitian-penelitian dasar berbasis bioteknologi untuk menciptakan mekanisme produksi *Taxol*, melalui sintesis total secara kimiawi (Masters *et al.*, 1995), semi-sintesis (biologi – kimia, Yuan *et al.*, 2006), kultur sel/kalus (Vongpaseuth & Roberts, 2007) dan fermentasi mikroba (Zhou *et al.*, 2010; Frense, 2007; Jalgaonwala *et al.*, 2011).

Ketertarikan ilmuwan untuk memproduksi *Taxol* melalui perantaraan agen mikroba fermentasi berasal dari penelitian yang dilakukan oleh Stierle *et al.*, (1993). *Taxomyces andeanae*, jamur endofitik yang diisolasi dari kulit luar *T. brevifolia* dideteksi menghasilkan *Taxol* dengan konsentrasi 24-25 ng/L. Pengembangan dan pemanfaatan jamur endofitik jamur penghasil *Taxol* terus bergerak secara signifikan. Hal ini didasarkan pada kenyataan bahwa pertumbuhan jamur endofitik yang sangat cepat dan proses fermentasi yang sangat mudah (Lin *et al.*, 2003). Jika penerapan bioteknologi terbukti dapat menjamin peningkatan produksi *Taxol* oleh jamur endofitik (rendemen bisa mencapai > 1 mg/L), maka pengembangan produksi *Taxol* skala besar akan sangat prospektif. Hal ini bukan hanya akan menekan biaya dan meningkatkan suplai *Taxol*, namun juga hal penting lainnya adalah pelestarian pohon *Taxus* yang terancam keberadaannya di alam. Upaya peningkatan produksi *Taxol* melalui fermentasi jamur dapat dilakukan melalui serangkaian penelitian dasar yang difokuskan pada skrining dan isolasi jamur endofit yang secara alami terbukti mampu menghasilkan kandungan *Taxol* yang tinggi, seleksi strain jamur endofitik melalui mekanisme bioteknologi modern (proses mutasi baik secara fisik dan genetik), dan manipulasi media fermentasi (suhu, pH, jumlah inokulum, media, dan lama waktu fermentasi, Zhou *et al.*, 2010).

VI. SUMBER ENERGI ALTERNATIF, BIOGAS CH₄

Sampah adalah barang buangan yang dianggap tidak penting, namun volumenya terus meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Berdasarkan perhitungan dalam buku infrastruktur Indonesia pada tahun 1995, perkiraan timbunan sampah di Indonesia sebesar 22,5 juta ton dan akan terus meningkat sampai tahun 2020 menjadi 53,7 juta ton (Fitria, 2013). Di Indonesia sampah yang paling dominan berasal dari sampah rumah tangga. Jumlah tumpukan sampah rumah tangga di kota-kota besar diperkirakan sebesar 500-1.300 ton/hari. Sampah plastik berkontribusi sebesar 14%, kertas 9% dan sisanya adalah material lain. Dari keseluruhan sampah yang dihasilkan, volume sampah yang diangkut ke- dan dibuang ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) hanya sebesar 4,2%, volume sampah yang dibakar sebesar 37,6%, volume yang dibuang ke sungai 4,9% dan volume sampah yang tidak tertangani menempati urutan terbesar yaitu 53,3% (Nahadi, 2010).

Besarnya timbunan sampah tidak terolah akan menyebabkan berbagai permasalahan bagi masyarakat baik secara langsung ataupun tidak. Dampak langsung yaitu timbulnya berbagai penyakit menular, penyakit kulit dan gangguan pernafasan. Dampak tidak langsung di antaranya adalah timbulnya bahaya banjir yang disebabkan oleh terhambatnya arus air di sungai yang terhalang timbunan sampah. Usaha pengolahan sampah juga sudah dilakukan di TPA, seperti daur ulang, dan komposting. Dari semua kerumitan yang timbul akibat sampah, sampah masih menyimpan manfaat yang besar yaitu sebagai sumber energi alternatif.

Sejalan dengan permasalahan sampah dengan volume buang yang makin tinggi per-harinya, Indonesia juga dihinggapi permasalahan yang sejajar lainnya yaitu kebutuhan energi. Indonesia membutuhkan pasokan energi yang besar dan pasokan energi tersebut selama ini dipenuhi berasal dari energi fosil (94.3%) dan hanya 5.7% dari energi yang diperlukan dipasok dari

energi baru terbarukan (EBT) (Dirjen EBT dan Konservasi Energi, 2014). Pasokan energi fosil memiliki banyak permasalahan salah satunya adalah menurunnya sumber cadangan energi dengan harga yang terus meningkat sehingga pemerintah harus memberikan suntikan dana dalam membiayai subsidi energi yang mencapai 299,6 Trillun di tahun 2013 (Dirjen EBT dan Konvensi Energi, 2014). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Kementerian ESDM (2013) memberikan 4 kebijakan utama untuk Ketahanan Energi Nasional, salah satu diantaranya adalah mendorong secara masif pengembangan energi baru terbarukan dengan memanfaatkan berbagai sumber energi.

Sampah rumah tangga atau organik sebagai sumber alternatif energi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas dan energi listrik. Konversi sampah menjadi biogas terjadi melalui proses "fermentasi oleh mikroba". Selama proses fermentasi berlangsung, biogas berupa gas metana (CH_4) dihasilkan. Gas CH_4 yang diperoleh tidak lepas dari peran serta mikroba, oleh karenanya maka pengelolaan sampah dengan aplikasi mikroba sebagai sumber biogas energi baru terbarukan harus mendapat perhatian dan penanganan yang serius agar ketermanfaatannya dapat segera dirasakan.

Konversi limbah organik menjadi CH_4 dan CO_2 terjadi melalui kerjasama dari empat kelompok mikroba, yaitu bakteri fermentasi (hidrolisis), sintrophic, asetogenik, dan metanogen. Mikroba tersebut terdapat dan ditemukan di lingkungan, dan menjalankan fungsinya selama proses dekomposisi limbah secara anaerobik (Conrad, 1999). Bakteri metanogen adalah kelompok mikroba penting karena memiliki kemampuan mengkonversi bahan organik menjadi CH_4 . Tanpa kehadiran bakteri ini, metana tidak akan dihasilkan selama proses dekomposisi. Bakteri ini ditemukan pada lingkungan yang anaerobik seperti: tundra, rawa, sawah, lahan tandus berpasir, lumpur limbah, dan tempat pembuangan sampah (Bryant, 1979; Smith, 1966; Zeikus, 1977).

VII. SUMBER BIOPLASTIK

Plastik telah menjadi produk yang paling banyak digunakan untuk berbagai macam penggunaan. Produksi plastik diperkirakan mencapai lebih dari 300 juta ton/tahun (Halden, 2010) dengan peningkatan produksi tahunan sekitar 9% (Chanprateep, 2010). Produksi plastik digunakan untuk pembungkus, konstruksi, perabotan, kelistrikan, alat angkut, kesehatan dan yang lainnya. Volume produksi dan penggunaan yang sangat tinggi tersebut akan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Dampak negatif tersebut terutama disebabkan karena material plastik yang sulit terurai, bersifat toksik, dan mengotori lingkungan (Barnes et al., 1998).

Dilihat dari sifatnya, plastik konvensional merupakan molekul hidrokarbon yang tidak larut dalam air, sulit masuk ke dalam jaringan mikroba pengurai atau dengan kata lain sulit terurai secara biologis. Saat plastik tersebut menjadi sampah (limbah) maka proses pengolahan dilakukan melalui kegiatan *landfill*. Jika limbah plastik dibakar maka akumulasi *polychlorinated biphenyl* (PCBs) dan PAHs meningkat, bersifat karsinogenik dan merusak sistem endokrin (hormonal) (Barnes et al., 1998; North & Halden, 2013). Di lain pihak, sumber plastik (petroleum hidrokarbon/minyak mentah) yang terus menurun dan meningkatnya dampak negatif terhadap lingkungan mendorong penelitian-penelitian tentang produksi plastik yang berasal dari polimer biologis (bio-plastik).

Bio-plastik adalah plastik dengan bahan dasar baik secara keseluruhan atau sebagian berasal dari bahan yang dapat diperbarui. Sementara, bio-plastik yang bersifat mudah terurai (biodegradable) adalah plastik dengan karakteristik dapat terdegradasi secara alami/biologis, terurai sempurna menjadi CO_2 dan H_2O . Karakter degradasi bio-plastik sangat berkaitan erat dengan kelarutan molekul penyusun plastik dalam air (European Bioplastics Fact Sheet, 2017). Hanya bioplastik yang bersifat mudah terurai akan menjadi produk

substitusi yang sangat prospektif di masa datang. Saat ini, terdapat beberapa contoh bioplastik yang menjadi trend, seperti (Khanna & Srivastava, 2005): 1) *Polyhydroxyalkanoates* (PHAs), bioplastik yang diproduksi langsung oleh mikroba melalui proses fermentasi; 2) Bio-PE (*Bio-polyethylen*) dan bio-PP (*bio-polypropylene*), bioplastik yang dihasilkan melalui tahapan proses fermentasi oleh mikroba dan proses kimiawi; 3) Chitin adalah biopolymer alami terdapat pada hewan seperti udang dan kepiting. Chitin sangat mudah diubah menjadi chitosan, yang merupakan salah satu bahan dasar dalam pembuatan bio-plastik. PHAs merupakan bioplastik yang *biodegradable*, meskipun saat ini biaya produksinya sangat mahal. Terdapat lebih 300 mikroba yang diketahui mampu memproduksi PHAs (Berlanga et al., 2006; Keshavarz & Roy., 2010). Hanya sedikit mikroba, khususnya bakteri yang memproduksi PHAs dalam jumlah yang tinggi (Brandl et al., 1988; Kim et al., 1992). Bakteri potensial akan mengakumulasi PHAs, dan nutrisi menjadi kunci di mana PHAs dapat dihasilkan. Berdasarkan keberadaan nutrisi, bakteri akan memproduksi PHAs jika nutrisi terbatas (misalnya: *Cupriavidus necator*, *Protomonas extorquens* dan *Protomonas oleovorans*, Chee et al., 2010), dan nutrisi berlebih (misalnya: *Alcaligenes latus* (Wang & Lee, 1997; Grothe et al., 1999).

VIII. PENUTUP

Keanekaragaman hayati merupakan komponen kunci dalam pengelolaan hutan tropis di Indonesia. Mikroba adalah faktor penting dalam keanekaragam hayati dengan fungsinya untuk menjaga, memperbaiki dan menyeimbangkan kondisi lingkungan. Menilik fungsi mikroba yang spesifik dan beragam, mikroba selalu menyimpan teka-teki untuk diungkap lebih mendalam oleh para *mikrobiologist*. Dengan penguasaan teknologi mikroba yang ada saat ini, aplikasi mikroba lokal Indonesia dalam usaha mempertahankan dan meningkatkan kelestarian hutan, kesehatan, energi dan lingkungan untuk

berbagai tujuan bagi kemaslahatan umat di muka bumi harus terus ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. & Barlaz, M. (1998). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, 1985–1998.
- Berlanga, M., Montero, M.T., Fernandez-Borrell, J. & Guerrero, R. (2006). Rapid spectrofluorometric screening of polyhydroxyalkanoate-producing bacteria from microbial mats. *International Microbiology*, 95–102.
- Brandl, H., Gross, R.A., Lenz, R.W. & Fuller, R.C. (1998). *Pseudomonas oleovorans* as a source of poly(beta-hydroxyalkanoates) for potential applications as biodegradable polyesters. *Appl Environ Microbiol*, 54, 1977– 1982.
- Bryant, M. (1979). Microbial methane production: theoretical aspects. *Journal of Animal Science*, 48, 193–201.
- Chee, J.Y., Yoga, S.S., Lau, N., Ling, S., Abed, R.M.M. & Sudesh, K. (2010). Bacterially produced polyhydroxyalkanoate (PHA): converting renewable resources into bioplastics. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 1395–1404.
- Clarck, D.A. (2007). Detecting tropical forests responses to global climatic changes and atmospheric change: current challenges and a way forward, *Biotropica*, 39, 4-19.
- Conrad, R. (1999). Contribution of hydrogen to methane production and control of hydrogen concentrations in methanogenic soils and sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 28, 193–202.
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2014). Kebijakan Kementerian ESDM dalam Mengembangkan Energi Baru Terbarukan (EBT). *Suara Bumi, Informatif dan Inspiratif*. Pusat Pengelolaan Ekoregion Sumatera, Kementerian Lingkungan Hidup. X/Edisi 3, Juli-September, 2014.
- ESDM, Menteri ESDM (2013). Keputusan Menteri ESDM Republik Indonesia Nomor 4051 K/07/MEM/2013 tentang Penetapan Catur Dharma Energi.
- European Bioplastic Fact Sheet. Packing. <http://www.european-bioplastics.org/>

- multimedia. Diakses pada tanggal 17 April 2017.
- Faizal, A., Esyanti, R.R., Aulinisa, E.N., Irawati, Santoso, E. & Turjaman, M. (2017). Formation of agarwood from *Aquilaria malaccensis* in response to inoculation of local strains of *Fusarium solani*. *Tree*, 31, 189-197.
- Farrar, J.L. (1995). Trees in Canada. Canadian Forest Service and Fitzhenry & Whiteside Ltd. Markham ON. P. 502.
- Fitria, R. (2013). Pemanfaatan sampah organik menjadi sumber energi. <https://retnifitria.wordpress.com/2013/04/03/pemanfaatan-sampah-organik-menjadi-sumber-energi-3/>. Diakses tanggal 17 Pebruari 2015.
- Frense, D. (2007). Taxanes: perspectives for biotechnological production. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73, 1233-1240.
- Garyali, S., Kumar, A. & Reddy, M.S. (2013). Taxol Production by an Endophytic Fungus, *Fusarium redolens*, Isolated from Himalayan Yew. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 1372-1380.
- Graham, L.L.B, Turjaman, M. & Page, S.E. (2013). Shorea balangeran and Dyera polyphyla (syn. *Dyera lowii*) as tropical peat swamp forest restoration transplant species: effects of mycorrhizae and level of disturbance. *Wetlands and Ecology Management*, 21, 307-321.
- Grothe, E., Moo-Young, M. & Chisti, Y. (1999). Fermentation optimization for the production of poly(beta-hydroxybutyric acid) microbial thermoplastic. *Enzyme and Microbial Technology*, 25, 132-41.
- Halden, R. U. 2010. Plastics and Health Risks. *Annual Review of Public Health*, 31: 179-94.
- Hammel, K.E., Gai, W.Z., Green, B., Moen, M.A. 1992. Oxidative degradation of phenanthrene by the ligninolytic fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Applied and Environmental Microbiology*, 58: 1832-1838.
- Hidayat, A. & Tachibana, S. (2014). Decolorization of azo dyes and mineralization of phenanthrene by *Trametes* sp. RT10 Isolated from Indonesian mangrove forest. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 1, 67-75.
- Hidayat, A., Tachibana, S. & Itoh, K. (2012). Determination of chrysene degradation under saline conditions by *Fusarium* sp. F092, a fungus screened from nature. *Fungal Biology*, 116, 706-714.
- IUCN.2014.TheIUCNRedListofThreatened Species.
- Jalgaonwala, R.E., Mohite, B.V. & Mahajan, R.T. (2011). A review: Natural products from plant associated endophytic fungi. *Journal of Microbial Biotechnology*. 1, 21-32.
- Karlina, L., Putri, N., Turjaman, M., Wahyudi, I. & Nandika, D. (2016). Moisture content effect on sound wave velocity and acoustic tomogram in agarwood trees (*Aquilaria malaccensis* Lamk.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. DOI:10.3906/Tar-1511-74.
- Karlina, L., Uar, N.I., Kusumo, H.T., Santoso, E., Turjaman, M. & Nandika D. (2015). Propagation of sonic and ultrasonic waves in agarwood trees (*Aquilaria microcarpa*) inoculated with *Fusarium* spp. *Journal of Tropical Forest Science*, 27, 351-356.
- Keshavarz, T. & Roy, I. (2010). Polyhydroxyalkanoates: bioplastics with a green agenda. *Current Opinion in Microbiology*, 13, 321-326.
- Khanna, S. & Srivastava, A.K. (2005). Recent advances in microbial polyhydroxyalkanoates. *Process Biochemistry*, 40, 607-619.
- Kim, B.S., Lee, S.Y. & Chang, H.N. (1992). Production of poly-beta-hydroxy- butyrate by fed-batch culture of recombinant *Escherichia coli*. *Biotechnology Letter*, 14, 811-816.
- Laurance, W.F. (1999). Reflection on the tropical deforestation crisis. *Biological Conservation*, 91, 109-117.
- Lee, S.Y., Ng, W.L., Mahat, M.N., Nazre, M. & Mohamed, R. (2016). DNA barcoding of the endangered *Aquilaria* (Thymelaeaceae) and its application in species authentication of agarwood products traded in the market *Plos One*, 1-21.
- Lin, F.C., Liu, X.H., Wang, H.K. & Zhang, C.L. (2003). Recent research and prospect on Taxol and its producing fungi. *Acta Microbiologica Sinica*, 43, 534-538.
- Maharani, R., Fernandes, A., Turjaman, M., Lukmandaru, G. & Kuspradini, H. (2016). The characterization of phytochemical and GC-MS analysis on Borneo Agarwood (*Aquilaria malaccensis* Lamk) Leaves and its utilization as an anti-browning in apple juice. *International Journal*

- of Pharmacognosy and Phytochemical Research, 8, 1576-1582.
- Malik, S., Cusidó R.M., Mirjalili, M.H., Mayona, E., Palzon, J. & Bonfill, M. (2011). Production of the anticancer drug taxol in *Taxus baccata* suspension cultures: A review. *Process Biochemistry*, 46, 23–34.
- Masters, J.J., Link, J.T., Snyder, L.B., Young, W.B. & Danishefsky, S.J. (1995). A total synthesis of taxol. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, 34, 1723–1726
- Nahadi. (2010). Program pengelolaan sampah melalui pemanfaatan teknologi komposting berbasis masyarakat. <http://jurnal.upi.edu/file/Nahadi2.pdf>. Diakses pada tanggal 17 Pebruari 2015.
- North, E.J., Halden, R.U. (2013). Plastics and Environmental Health: The Road Ahead. *Reviews on Environmental Health*, 28, 1–8.
- Onrubia, M., Cusidó, R.M., Ramirez, K., Hernández-Vázquez, L., Moyano, E., Bonfill, M. & Palazon J. (2013). Bioprocessing of Plant In Vitro Systems for the Mass Production of Pharmaceutically Important Metabolites: Paclitaxel and its Derivatives. *Current Medicinal Chemistry*, 20, 880-891.
- Saharan, B.S., Ankita, Sharma, D. (2012). Bioplastics-For Sustainable Development: A Review. *International Journal of Microbial Resource Technology*, 1, 11-23.
- Singh, H. (2006). *Mycoremediation:Fungal Bioremediation*. John Wiley & Sons, Inc. United State of America. p. 115-148.
- Sitepu, I.R., Santoso, E., Siran, S.A. & Turjaman, M. (2011). Fragrant wood gaharu: when the wild can no longer provide. (Indonesia-Bogor :ITTO PD425/06 Rev.1.). *R&D Center for Forest Conservation and Rehabilitation*, p 67.
- Smith, P. (1966). The microbial ecology of sludge methanogenesis. *Developments in Industrial Microbiology*, 7, 156–161.
- Stierle, A., Strobel, G. & Stierle, D. (1993). *Taxol and taxane production by Taxomyces andreanae, an endophytic fungus of Pacific yew*. *Science*, 260, 214-216.
- Suffness, M.V. 1995. *Taxol: science and applications*. USA: CRC Press. p. 426.
- Suriyamongkol, P., Weselake, R., Narine, S., Moloney, M., Shah, S. (2007). *Biotechnological approaches for the production of polyhydroxyalkanoates in microorganisms and plants -A review*. *Biotechnology Advances*, 25, 148-175.
- Sutherland, J.B., Rafii, F., Khan, A.A., & Cerniglia, C.E. 1995. Mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbon degradation. In: Young, L.L., Cerniglia, C.E. (Ed) *Microbial Transformation and Degradation of Toxic Organic Chemicals*. New York: Wiley-Liss. pp. 269–300.
- Tata, H.L., van Noordwijk, M., Summerbell, R. & Werger, M.J.S. (2009). Limited response to nursery-stage mycorrhiza inoculation Shorea seedlings planted in rubber agroforest in Jambi, Indonesia. *New Forests*, 39, 51-74.
- Tawaraya, K. & Turjaman, M. (2016). Mycorrhizal in Peatland. In: M. Osaki, N. Tsuji (Eds.), *Tropical Peatland Ecosystems*, Springer. pp.237-244.
- Tawaraya, K. & Turjaman, M. 2014. Use of arbuscular mycorrhizal fungi for reforestation of degraded tropical forests. Eds. Z.M. Solaeman, L.K. Abbot, and A. Varrma. In : *Mycorrhizal fungi: Use in sustainable agriculture and land restoration*. Springer. 357-373p.
- Turjaman M., Hidayat A., Santoso E. 2016. Development of agarwood induction technology using endophytic fungi. In: M.Rozi (Ed.), *Agarwood: Science Behind the Fragrance*. Springer. 57-71p.
- Turjaman, M. (2016). *Pengembangan cluster produksi gaharu berbasis teknologi mikroba*. FORDA PRESS. 74 Hal.
- Turjaman, M. & Hidayat, A. (2017) Agarwood-Planted tree inventory in Indonesia. IOP Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 54, 012062.
- Turjaman, M., Santoso, E., Sitepu, I.R., Tawaraya, K., Purnomo, E., Tambunan, R. & Osaka, M. (2009). Mycorrhizal fungi increased early growth of tropical tree seedlings in adverse soil. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 6, 17-25.
- Turjaman, M., Santoso, E., Susanto, A., Gaman, S., Limin, S.H., Tamai, Y., Osaki, M. & Tawaraya, K. (2011). Ectomycorrhizal fungi promote growth of *Shorea balangeran* in degraded peat swamp forests. *Wetlands Ecology and Management*, 19, 331-339.
- Turjaman, M., Tamai, Y., Segah, H., Limin, S.H., Cha, J. Y., Osaki M. & Tawaraya, K. (2005). Inoculation with the ectomycorrhizal fungi *Pisolithus arhizus* and *Scleroderma* sp. improve the early growth of *Shorea pinanga* nursery seedlings. *New Forests*, 30, 67-73.

- Turjaman, M., Tamai, Y., Segah, H., Limin, S.H., Cha, J.Y., Osaki, M. & Tawaraya, K. (2006). Increase in early growth and nutrient uptake of *Shorea seminis* seedlings inoculated with two Ectomycorrhizal fungi. *Journal of Tropical Forest Science*, 18, 166-172.
- Vongpaseuth, K. & Roberts, S.C. (2007). Advancements in the understanding of Paclitaxel metabolism in tissue culture. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 8, 219–36.
- Wang, F. & Lee, S.Y. (1997). Poly(3-hydroxybutyrate) production with high productivity and high polymer content by a fed-batch culture of *Alcaligenes latus* under nitrogen limitation. *Applied and Environmental Microbiology*, 63, 3703–3706.
- Yuan, J.I., BI, J-N., YAN, B. & ZHU, X-D. (2006). Taxol-producing Fungi: A New Approach to Industrial Production of Taxol. *Chinese Journal of Biotechnology*, 22, 1–6.
- Zeikus, J.G. (1977). The biology of methanogenic bacteria. *Bacteriological Reviews*, 41, 514–541.
- Zhou, X., Zhu, H., Lu, L., Lin, J. & Tang, K. (2010). A review: recent advances and future prospects of taxol-producing endophytic fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 86, 1707–1717.