
PROSPEK KOMERSIALISASI PRODUK MIKROBA DI BIDANG PERTANIAN**PRIHASTUTI**

Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jalan Raya Kendal Payak, Kotak Pos 66, Malang
Email; tutikprihastutik@yahoo.com

ABSTRACT

A microbial product commercialized is the final of a series of integrated research. This project started from a laboratory research, semi-field (greenhouse) into the field, to scale factories. The research procedures must be achieved, to maintain the quality of the microbial products. This paper raised the status and prospects for a microbial product commercialized in agriculture that can be developed and marketed, including the microbe that are active in the supply of nutrients, producing a substance in promoting plant growth and pest control. Technology of microbial commercialized covers: discovery, microbial strain development, greenhouse and field testing, formulation and implementation of products, regulatory, consumer response and market share. An economical aspect of soil microbial technology is determined by reference to the identification and quantification of financial research, processing time require, price of product, market share and return on investment.

Keywords: *Commercialization, Microbial product, Prospects*

PENDAHULUAN

Kemajuan di bidang bioteknologi pertanian diawali dengan perhatian yang tinggi terhadap mikroba-mikroba yang bermanfaat bagi tanaman maupun penataan lingkungan. Bakteri, jamur, mikroalgae dan bahkan virus telah banyak diteliti dan ditingkatkan potensi kegunaannya untuk meningkatkan hasil panen.

Keberhasilan di tingkat penelitian yang mengupayakan efektivitas kemampuan mikroba menjadikan kegiatan ini berkembang ke arah komersialisasi. Tentu saja perjalanan kegiatan ini tidaklah mudah, tantangan dalam teknologi dan ekonomi pasar perlu dipadukan untuk mencapai keberhasilannya. Penguasaan teknologi untuk memproduksi, formulasi dan penyimpanan harus mampu menjamin daya tahan hidup dan aktivitas mikroba (Prihastuti dan Harsono, 2012). Selain itu, mampukah produk mikroba yang dihasilkan untuk bersaing dengan bahan-bahan sintetis yang lebih banyak terdapat di pasaran dan yang telah lama dikenal oleh kalangan pengguna.

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran singkat mengenai status dan prospek komersialisasi mikroba tanah di bidang pertanian, meliputi teknologi produksi hingga tantangan yang dihadapi dalam pengembangannya. Guna melengkapi paparan,

perlu ditampilkan beberapa hasil produk mikroba, baik dari dalam maupun luar negeri.

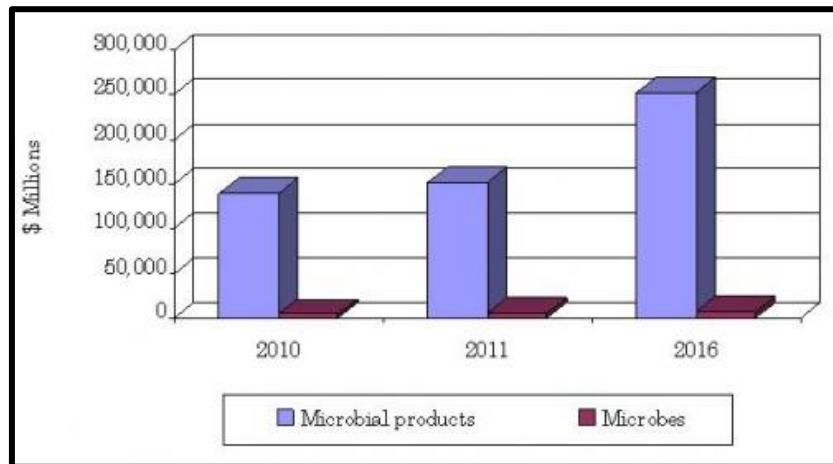
ARUS PASAR JENIS MIKROBA DALAM BIDANG PERTANIAN

Penelitian untuk eksplorasi jenis-jenis mikroba, selain bertujuan untuk pemanfaatannya, pada akhirnya akan berujung pada komersialisasi. Banyak lembaga kelas internasional bergerak pada penyimpanan dan pemeliharaan mikroba-mikroba yang terstruktur dengan baik (Tabel 1). Dilengkapi dengan suatu katalog jenis-jenis mikroba yang tersedia, lembaga ini melayani dunia dalam menyediakan isolat-isolat mikroba untuk banyak keperluan, baik penelitian, proses industri atau keperluan lainnya.

Tabel 1. Lembaga internasional yang menyediakan isolat-isolat mikroba.

Singkatan	Nama Lembaga	Lokasi
ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>	Rockville, MD, US
CBS	<i>Centraalbureau voor Schimmelen Culturen</i>	Baarn, The Netherlands
CDDA	<i>Canadian Department of Agriculture</i>	Ottawa, Canada
CMI	<i>Commonwealth Mycological Institute</i>	Kew, United Kingdom
FAT	<i>Faculty of Agriculture, Tokyo University</i>	Tokyo, Japan
IAM	<i>Institute of Applied Microbiology, University of Tokyo</i>	Tokyo, Japan
NCIB	<i>National Collection of Industrial Bacteria</i>	Aberdeen, Scotland
NCTC	<i>National Collection of Type Cultures</i>	London, United Kingdom
NRRL	<i>Northern Regional Research Laboratory</i>	Peoria, IL, United States
PCC	<i>Pasteur Culture Collection</i>	Paris, France

<http://www.google.co.id>



(BCC Research, 2012)

Gambar 1. Trend pasar global mikroba dan produk mikroba tahun 2010-2016.

Berbagai jenis mikroba tanah yang berguna dalam bidang pertanian ditemukan dan dikembangkan. Produk mikroba tanah yang berpotensi untuk dikomersialisasikan antara lain: (1) mikroba penyedia hara tanaman, (2) agen pengendali hayati, (3) pemacu tumbuh tanaman, dan (4) mikroba yang aktif dalam biodegradasi dan bioremediasi (Hopkins and Dungait, 2010). Nilai jual mikroba tanah terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan produktivitas tanaman, baik melalui perbaikan

sifat tanah, kontrol biotik, ataupun pemacu tumbuh (Sandhu, *et al.*, 2010). Prospek pasar jenis-jenis mikroba ini cukup besar, karena sejalan dengan program pemerintah dalam swasembada pangan dan kelestarian lingkungan. Di pasar dunia pun, kebutuhan akan mikroba dan produk mikroba semakin meningkat dan diperkirakan akan semakin meningkat lagi pada tahun mendatang (Gambar 1).

Tabel 2. Jenis-jenis mikroba yang berpotensi untuk dikomersialisasikan (Kuhad, *et al.*, 2008)

Nilai jual mikroba sebagai	Jenis-jenis mikroba
Dekomposer bahan organik	<i>Tricoderma, Fusarium, Bacillus, Streptomyces, Clostridium</i>
Penambat nitrogen simbiotik	<i>Rhizobium, Bradyrhizobium, Frankia, Anabaena</i>
Penambat nitrogen non simbiotik	<i>Azotobacter, Beijerinckia, Aerobacter, Chlorobium, Nostoc</i>
Mineralisasi nitrogen	<i>Bacillus, Pseudomonas, Serratia</i>
Nitrifikasi	<i>Nitrobacter, Nitrosomonas</i>
Denitrifikasi	<i>Achromobacter, Pseudomonas</i>
Pelarut fosfat	<i>Azotobacter, Enterobacter, Bacillus, Aspergillus, Penicillium,</i>

	<i>Rhizoctonia, Trichoderma</i>
Transformer sulfur	<i>Desulfovibrio, Thiobacillus</i>
Transformer zat besi	<i>Ferribacterium, Leptothrix</i>
Produsen fitohormon	<i>Azotobacter, Azospirillum, Pseudomonas, Rhizobium, Bacillus, Flavobac-terium, Actinomyces, Nocardia, Fusarium, Gibberella, Aletrnaria, Penicillium</i>
Produsen siderofor	<i>Neurospora, Trichoderma, Agaricus, Fusarium, Penicillium, mikoriza ericoid, Nocardia, Pseudomonas, Bacillus, Aeromonas, Erwinia</i>
Kontrol biotik	<i>Pseudomonas, Bacillus, Streptomyces</i>

Tabel 2 menunjukkan jenis-jenis mikroba yang berpotensi untuk dikembangkan dan dikomersialisasikan. Ragamnya jenis mikroba-mikroba tersebut menuntut para peneliti untuk dapat memelihara dan mengembangkan masing-masing jenis sesuai karakter dan sifat-sifat yang dimilikinya. Beberapa peneliti berpendapat untuk dapat memadukan kemampuan beberapa jenis mikroba dalam satu bentuk formulasi. Keadaan ini memang menunjang kebutuhan pasar dari nilai jual mikroba itu sendiri. Formulasi mikroba sebagai pupuk hayati yang telah

banyak dikomersialkan sudah cukup banyak (Tabel 3). Namun demikian apakah dapat diwujudkan keinginan pasar untuk menyediakan suatu bentuk formulasi mikroba yang berdaya guna rangkap dalam suatu kemasan? Melalui pemahaman yang baik tentang sifat dan karakter masing-masing isolat mikroba, maka dimungkinkan saja untuk menyediakan pupuk hayati yang mengandung banyak jenis mikroba bermanfaat dalam suatu kemasan.

Tabel 3. Beberapa merk pupuk hayati komersial di Indonesia ([http:// www.google.co.id](http://www.google.co.id) (Prihastuti, 2008))

No.	Merk dagang	Komponen biologi	Produsen
1	M-Bio	Bakteri pelarut P, <i>Lactobacillus</i> sp, yeast dan <i>Azospirillum</i>	PT. Hayati Lestari, Tasikmalaya
2	OST-Rajawali	<i>Azotobacter, Agrobacterium, Aspergillus, Azospirillum, Rhizobium, Mycorrhiza</i>	PT. Rajawali Phara Jaya, Jakarta
3	ABG-Bios	Penambat N non-simbiotik, dan bakteri pelarut P	ABG-Team, Bangkit Pertanian Organik Indonesia
4	Emas	<i>Azospirillum lipoverum, Azotobacter beijerinckii, Aeromonas punctata</i> dan <i>Aspergillus niger</i>	PT. Bioindustri Nusantara, Purwakarta
5	Agrobost	Mikroba <i>indigenus</i> , <i>Azotobacter, Azospirillum</i> , mikroba pelarut P, <i>Lactobacillus</i> , mikroba selulolitik	CV. Agrindo Cipta Mandiri
6	Nodulin-Plus	<i>Azospirillum</i> , cendawan pelarut P	Balai Penelitian Bioteknologi Tanaman Pangan
7	Spora Jamur Mikoriza	Spora mikoriza <i>Gigaspora margarita</i>	Pusat Penelitian Perkebunan Jember
8	Technofert 2000	Mikoriza vesikular-arbuskular	BPP Teknologi, Serpong
9	Legin	Rhizobium	Fakultas Pertanian, UGM
10	Biofosfat	Jamur pelarut P <i>Aspergillus niger</i>	Fakultas Pertanian, UGM
11	Bio P2000Z	Mikroba selulolitik, <i>Lactobacillus</i> sp, <i>Pseudomonas</i> sp, mikroba heterotrof, <i>Azotobacter</i> sp, yeast, <i>Streptomyces</i> sp	PT. Alam Lestari maju Indonesia
12	Effective-microorganisms	<i>Lactobacillus</i> sp, <i>Streptomyces</i> sp, yeast	PT. Songgolangit Persada, Jakarta

Tabel 4. Jenis-jenis bio-starter kompos yang sudah bersifat komersial ([http:// www.google.co.id](http://www.google.co.id)).

No.	Nama produk bio-starter kompos	Produsen
1.	Green Phosko (GP-1)	Jl. Pungkur 115 B, Bandung
2.	Starbio dan Stardec	PT. Lembah Hijau Multifarm, Solo
3.	Ragi Kompos	CV. Agro Mandiri Sejahtera, Klaten
4.	Agro Rama	CV. Prima Adi Perkasa, Bandung
5.	Ultradec	CV. Bumi Lestari Sejahtera, Surabaya
6.	Decomposer Andalan	PT. ACI, Jakarta Selatan
7.	Bio Super Active-decomposer	PT. Satya Jasa Caraka, Jakarta Selatan
8.	Superdec dan Orgadec	Balit Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor
9.	EM4	PT. Songgolangit Persada, Denpasar
10.	Bicom plus	PT. Bio Industri Nusantara, Bandung

Selain pupuk hayati, mikroba tanah yang aktif dalam biodegradasi bahan organik atau pengomposan juga berpotensi untuk dikomersialisasikan. Tabel 4 menunjukkan beberapa merk dagang bio-starter kompos yang sudah tidak asing lagi di pasaran. Bio-

starter kompos merupakan produk hayati yang komponen utamanya adalah mikroba (baik bakteri ataupun jamur) yang aktif dalam degradasi bahan organik yang tersusun oleh bahan-bahan yang mengandung selulosa dan lignin.

Tabel 5. Beberapa merk dagang agen pengendali hayati komersial ([http:// www.google.co.id](http://www.google.co.id))

Merk dagang	Bahan aktif	Agen Pengendali
Bacillin WP	<i>Bacillus thuringiensis</i> varietas Aizawai: 16.000 IU/mg	<i>Plutella xylostella</i> dan <i>Crociodolomia binotalis</i>
Bactospeine WP	<i>B. thuringiensis</i> Berliner varietas Kurstaki serotype 3a/3b H. 14: 16.000 IU/mg	<i>Plutella xylostella</i>
Bactospeine ULV	<i>B. thuringiensis</i> Berliner varietas Kurstaki serotype 3A/3B strain H.14: 13.000 IU/mg.	<i>Plutella xylostella</i> .
C Condor WP	Delta endotoksin dari <i>B. thuringiensis</i> varietas Kurstaki strain EG 2348 : 10%.	<i>Plutella xylostella</i> .
C Costar OF	<i>B. thuringiensis</i> varietas Kurstaki serotype 3a, 3b, strain SA 12: 36.000 IU/mg	<i>Plutella xylostella</i> .
Cutlass WP	Delta endotoksin dari <i>B. thuringiensis</i> varietas Kurstaki strain EG 237: 10 %	<i>Plutella xylostella</i> .
Delfin WDG	<i>B.thuringiensis</i> Berliner varietas Kurstaki serotype 3a, 3b strain SA-11: 6,4%	<i>Spodopetra exigua</i>
Dipel WP	<i>B. B. thuringiensis</i> varietas Kurstaki strain HD-7: 16.000 IU/mg	<i>Plutella xylostella</i> dan <i>Helicoverpa armigera</i>
Saco P	<i>Trichoderma koningii</i> , minimal 5.000.000 spora/gram	<i>Fusarium</i> sp.
Ganodium P	<i>Gliocladium</i> spp. minimal 15x10 ⁶ spora/gram	<i>Sclerotium rolfsii</i>

Pemanfaatan mikroba sebagai agen biokontrol sudah berkembang sejak seratus tahun yang lalu, tetapi perkembangan produk-produk pengendali tanaman tidak sebesar produk hayati lainnya di pasaran. Awal kegiatan ini dengan ditemukannya bakteri entomopatogenik, jamur, virus dan nematoda yang bermanfaat sebagai agen biokontrol (van

Bruggen and Termorshuizer, 2003). Beberapa jenis agen pengendali hayati yang berkembang di pasaran lokal tertera pada Tabel 5. Sumber biologi untuk pengendalian hama dan penyakit tanaman merupakan alternatif potensial yang penting sebagai pengganti pestisida dan sering dianjurkan untuk mengganti cara pengendalian berbasis kimia terhadap penyakit atau untuk

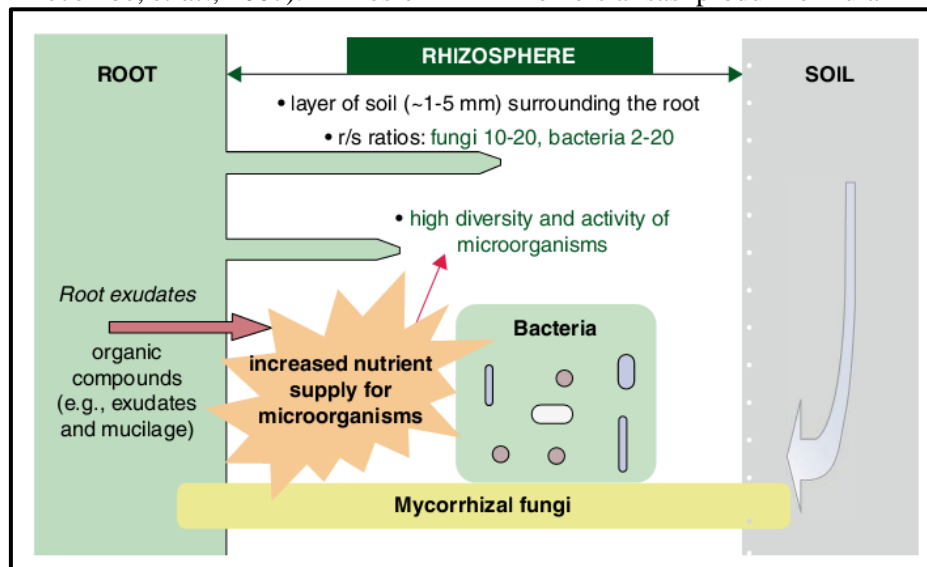
mengendalikan penyakit yang jika dikendalikan dengan bahan kimia tidak ekonomis (Fravel, 2005). Salah satu pertimbangan dalam memilih agen pengendali hayati berupa kemampuan biopestisida dapat bertahan dalam waktu lama dan tidak memerlukan tempat penyimpanan khusus. Strategi untuk seleksi strain mikroba berdasarkan kepada kriteria kemampuan kolonisasi, kompetisi dan menyesuaikan diri di lingkungan tumbuhnya (McQuilken, *et al.*, 1998).

LANGKAH MENUJU KOMERSIALISASI PRODUK MIKROBA

Pemahaman filosofis terhadap obyek tanah sebagai bagian yang hidup, mendasari para ahli mikrobiologi dalam mengembangkan jenis-jenis mikroba yang bermanfaat (*beneficial microbe*) di bidang pertanian. Daerah perakaran (rhizosfer) dipandang sebagai *hotspot* bagi kegiatan mikroba tanah, baik yang berfungsi sebagai penyedia hara, penghasil senyawa organik ataupun proses lainnya yang mempengaruhi kehidupan tanaman (Brimecombe, *et al.*, 2007). Rhizosfer

sebagai lingkungan tumbuh mikroba dengan keanekaragaman yang cukup tinggi, merupakan media untuk berlangsungnya efek proses umpan balik aktivitas mikroba terhadap perkembangan akar dan pertumbuhan tanaman di atasnya (Lynch, 1990).

Gambar 2 menunjukkan kedudukan mikroba tanah dalam sistem perakaran tanaman. Adanya keanekaragaman jenis yang tinggi secara tidak langsung menunjukkan adanya kompetisi untuk sumber nutrisi yang sangat tinggi. Masing-masing jenis mikroba yang berbeda akan mengembangkan strategi yang berbeda dalam mempertahankan hidupnya, sehingga menimbulkan berbagai interaksi sinergistik antagonistik dalam hubungannya dengan sesama mikroba dan dengan tanaman (Perotto and Bonfante, 1997). Bentuk keragaman yang sangat tinggi dari interaksi ini dapat diasumsikan atas dasar keragaman yang luar biasa dalam hubungan mikroba, tanah dan tanaman. Pemahaman dasar-dasar interaksi ini sangat penting untuk dapat memanfaatkan aktivitas mikroba tanah, yang dapat menunjang keberhasilan dalam komersialisasi produk formulasi mikroba.



Gambar 2. Kedudukan mikroba tanah pada daerah perakaran sebagai penghubung antara tanaman dan tanah (Richardson, *et al.*, 2009)

Memperhatikan peliknya kedudukan mikroba tanah dalam lingkungan alaminya, memberikan gambaran yang tidak mudah pula untuk dapat memeliharanya di laboratorium, hingga mengembangkannya sebagai produk yang bermanfaat. Secara ringkas langkah-langkah untuk mendapatkan mikroba tanah yang bermanfaat (*beneficial microbe*) dan mengembangkannya hingga dapat menjadi

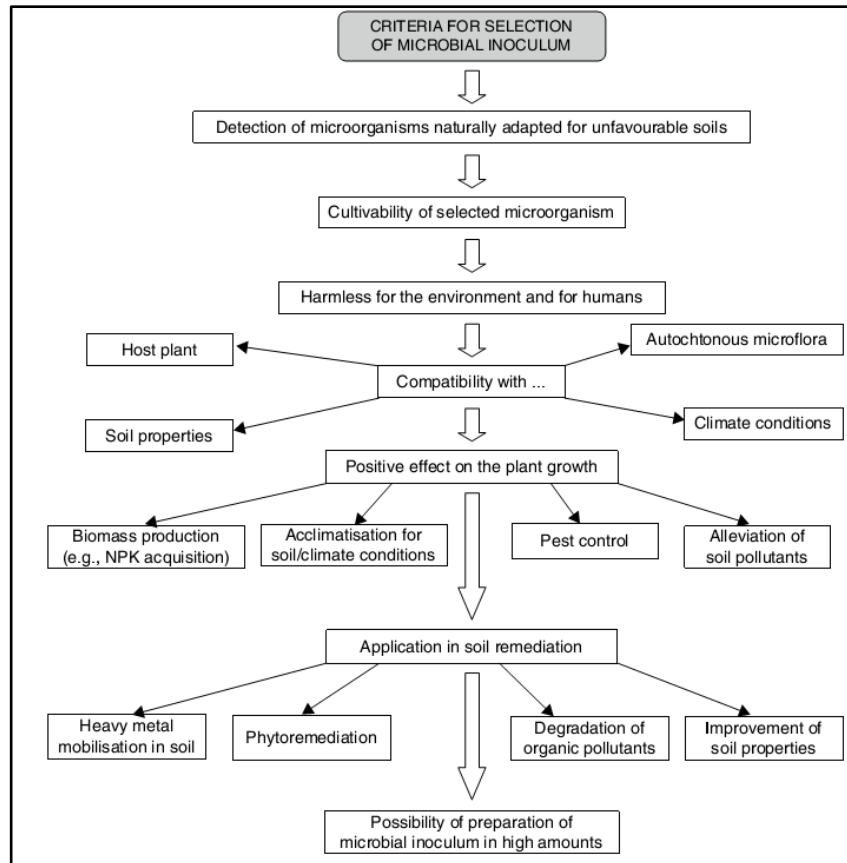
produk mikroba yang mempunyai nilai jual adalah sebagai berikut:

1. Penemuan

Merupakan kegiatan penelitian untuk isolasi, seleksi dan identifikasi mikroba dari berbagai sumber. Pada tahap ini, sumber mikroba diambil dari tanah pada bagian perakaran tanaman, karena pada posisi ini

keberadaannya sangat tinggi, baik densitas ataupun keragaman jenisnya. Morgan, *et al.* (2005) menyatakan keberadaan jamur mencapai 10 - 20 kali dan kelimpahan bakteri mencapai 2 - 20 kali lebih tinggi di rhizosfer dari pada di bagian tanah lainnya yang tidak ditumbuhi tanaman.

Uji skala laboratoris perlu dilakukan untuk mengetahui aktivitas dan sifat-sifat karakteristiknya. Hryniewicz and Baum (2011), memberikan gambaran awal untuk mendapatkan isolat mikroba tanah yang bermanfaat secara rinci (Gambar 3.).



Gambar 3. Alur kegiatan seleksi mikroba tanah (Hryniewicz and Baum 2011)

Tahap penemuan isolat mikroba merupakan tahap awal dan penentu untuk mendapatkan preparat mikroba yang dimaksud sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan, meliputi jenis mikroba (bakteri, jamur, aktinomisetes, yeast atau yang lainnya), manfaat mikroba (sebagai penyedia hara, biokontrol, penghasil fitohormon, bioremediasi atau yang lainnya), karakteristik mikroba (hidup bersimbiosis, soliter, antagonistik, sinergistik, atau yang lainnya) dan sifat-sifat lainnya baik morfologi maupun fisiologis.

2. Pengembangan strain mikroba

Dari isolat-isolat mikroba yang telah diperoleh dan sudah dimurnikan, diuji kemampuan dan aktivitasnya pada skala laboratorium. Bila perlu, isolat mikroba yang telah diperoleh ditingkatkan kemampuannya

melalui manipulasi kondisi laboratorium. Cara sederhana dapat dilakukan dengan mutasi dan seleksi, sedangkan cara yang lebih modern dengan rekayasa genetik.

Dalam lain hal, inokulum mikroba harus bersifat ekonomis untuk diproduksi secara massal, sehingga dapat diformulasikan menjadi produk hemat biaya dan mudah diterapkan untuk tujuan komersialisasi (Bashan, 1998). Inokulum mikroba diupayakan untuk bersifat umum pada berbagai jenis tanaman dan tanah, sehingga efektivitasnya harus relatif lebih mudah untuk dievaluasi pada skala standar. Semua tingkat hierarki metodologis sangat penting untuk digunakan dalam mendeteksi dan mengendalikan proses interaksi antara tanaman dan mikroba tanah yang saling terkait (Read, 2002).

3. Uji lapang

Guna meyakinkan kemampuan mikroba terpilih, perlu dilakukan uji di lapang atau rumah kaca. Prinsip yang mendasari kegiatan ini adalah pemahaman tentang kompleksitas interaksi antara tanaman, mikroba dan tanah sebagai lingkungan tumbuhnya. Dalam hal ini uji aktivitas mikroba dilakukan pada banyak perlakuan yang beragam, mulai dari jenis tanah, dosis pemakaian, maupun komoditas untuk mendapatkan kondisi ekologi yang beragam (Wenzel, 2009). Banyak laporan menyatakan bahwa mikroba yang sudah terseleksi dan dinilai efektif secara laboratorium, setelah diaplikasikan di lapang dapat saja menunjukkan *performance* yang berbeda dari yang diharapkan (Quan, *et al.*, 2003 dan Singer, *et al.*, 2005). Kemungkinan dapat terjadi adanya mikroba terseleksi yang diaplikasikan ke lapang, ternyata tidak mampu bersaing dengan mikroba *indigenous* yang sudah terdapat di dalam tanah (Bouchez, *et al.*, 2000; Das and Mukherjee, 2007; Mohanty dan Mukherji, 2008). Efisiensi kinerja mikroba merupakan fungsi dari kemampuan mikroba terseleksi yang diaplikasikan ke lapang untuk tetap aktif dalam lingkungan alami. *Scaling up* terhadap proses interaksi yang melibatkan tanaman-tanah-mikroba merupakan salah satu tantangan yang harus dipecahkan dan sangat penting dalam keberlanjutan proses produksi dan komersialisasi produk mikroba di bidang pertanian (Standing, *et al.*, 2007).

4. Pengaturan dan standarisasi.

Dalam perakitan produk bioteknologi yang berbahan baku mikroba, selain uji mutu dan kualitas produk yang diutamakan, juga pengenalan terhadap segmen pasar perlu mendapatkan perhatian, agar invensi yang diciptakan mampu secara potensial memiliki pasar utama (*captive market*). Untuk itu diperlukan strategi mengamankan pasar produk mikroba melalui keterkaitan yang erat antara produsen dan konsumen (Goenadi, 2001).

Pada dasarnya sebuah invensi bioteknologi merupakan suatu ide atau solusi untuk suatu masalah teknis, yang sangat penting untuk mendapatkan perlindungan hukum sebelum melangkah ke tahap komersialisasi. Pada tahap ini diperlukan suatu penelitian lanjutan, sebelum dapat diwujudkan dalam bentuk produk yang dapat dipasarkan atau proses yang dapat diterapkan dalam

produksi komersial. Penelitian lanjut terhadap hasil penelitian produk mikroba memberikan manfaat dalam menentukan keyakinan pihak investor dalam mengkomersialisasikan teknologi yang dihasilkan dan juga keyakinan pihak pengguna sebagai konsumen dari produk biologi ini.

Secara umum produk mikroba memerlukan penelitian yang berkesinambungan untuk mengkaji karakterisasi produk, test toksikologi, dampak lingkungan dan register penjualan (Doraisamy, *et al.*, 2001). Saraswati dan Sumarno (2008), menyarankan agar produk teknologi mikroba bermanfaat perlu distandardisasi mutunya dan disertai pengawasan mutu oleh instansi yang memiliki kompetensi. Melalui uji efikasi, produk mikroba perlu mendapatkan sertifikat layak edar, sebagaimana halnya produk kimia sintesis. Melalui kebijakan pemerintah tersebut diharapkan penggunaan produk mikroba dapat berkembang di masa yang akan datang. Penggunaan produk mikroba sangat sejalan dengan gerakan pertanian ramah lingkungan dan berkelanjutan, yang sudah digalakkan sejak awal abad XXI.

PENUTUP

Dalam upaya mendukung terciptanya era pertanian berkelanjutan, maka pemanfaatan mikroba tanah di bidang pertanian semakin besar untuk dilakukan. Aktivitas mikroba dalam rhizosfer memberikan kontribusi signifikan terhadap keberlanjutan pertanian, melalui penyediaan hara tanaman, produksi fitohormon, agen biokontrol dan bioremediasi tanah-tanah yang telah mengalami kerusakan. Diperlukan pemahaman mendasar dari interaksi mikroba secara kompleks dalam rhizosfer tersebut dan dampaknya terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman di atasnya.

Dengan tetap mengutamakan tujuan pemanfaatan mikroba di bidang pertanian, perlu dikembangkan kearah komersialisasi produk-produk formulasi mikroba bermanfaat tersebut. Kegiatan ini diawali dengan penemuan dan pengembangan strain mikroba, uji kinerja mikroba pada skala lapang, *scaling up* produksi sel mikroba dan formulasi produk, serta standarisasi. Komersialisasi produk-produk formulasi mikroba di bidang pertanian cukup prospektif dalam mendukung program peningkatan produktivitas dan pemeliharaan lingkungan pertanian.

Menyongsong terwujudnya sistem pertanian yang berkelanjutan, prospek komersialisasi mikroba dan produk mikroba di bidang pertanian sangat terbuka lebar. Mengiringi terciptanya produk-produk mikroba tersebut, maka perlu adanya peran Pemerintah dalam mengatur mutu produk untuk menjaga keamanan dan keberlanjutan produksi, serta meningkatkan keyakinan petani untuk menggunakannya.

5 DAFTAR PUSTAKA

- Bashan, Y. 1998. Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture. *Biotechnol Adv.* 16: 729-770.
- BCC Research. 2012. Global market for microbes and microbial products to grow to \$259 billion by 2016. *RSS Feeds-Biotechnology*. Diakses pada tanggal 20 Oktober 2012.
- Bouchez, T., D. Patureau, P. Dabert, S. Juretschko, J. Dorés, P. Delgenes, R. Moletta and M. Wagner. 2000. Ecological study of a bioaugmentation failure. *Environ Microbiol.* 2: 179-190.
- Brimecombe, M. J., F. A. A. M. De Leij and J. M. Lynch. 2007. Rhizodeposition and microbial populations. In: R Pinton, Z Varanini, P Nannipieri (eds) *The rhizosphere: biochemistry and organic sub-stances at the soil-plant interface*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, pp 73-109.
- Das K. and A. K. Mukherjee. 2007. Comparison of lipopeptide biosurfactants production by *Bacillus subtilis* strains in submerged and solid state fermentation systems using a cheap carbon source: Some industrial applications of biosurfactants. *Process Biochem.* 42: 1191-1199.
- Doraisamy, S., S. Nakkeeran and Chandrasekar, G. 2001. Trichoderma – bioarsenal in plant disease management and its scope for commercialization. In proceedings of Indian Phytopathological Society, Southern Zone Meeting, 10-12 Dec. 2001., Indian Institute of Spice Research, Calicut, kerala. Pp. 43-55.
- Fravel, R. D. 2005. Commercialization and implementation of biocontrol. *Annual Review Phytopathology.* 43: 337-359.
- Goenadi, D. H. 2001. Pengalaman Pemasaran Temuan Bernilai Komersial. Makalah TOT Pengelola Gugus HaKI. Hotel Wisata Internasional. Jakarta. 26 September 2001.
- Hopkins, D. W. and J. A. J. Dungait. 2010. Soil microbiology and nutrient cycling. In: Dixon, G. R. and E. L. Tilson. (Eds). *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York. Pp. 59-80.
- Hrynkiewicz, K., and C. Baum. 2011. The Potential of Rhizosphere Microorganisms to Promote the Plant Growth in Disturbed Soils. In A. Malik, E. Grohmann (eds.), *Environmental Protection Strategies for Sustainable Development, Strategies for Sustainability*, DOI 10.1007/978-94-007-1591-2_2, © Springer Science+Business Media B.V. pp. 35-64.
- Kuhad, R. C., D. M. Kothamasi, K. K. Tripathi and A. Singh. 2008. Diversity and functions of soil microflora in development of plants. In: *Plant Surface Microbiology*. Ajit, V., L. Abbott, D. Werner and R. Hampp (Eds.). pp. 71-81. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lynch, J. M. 1990. Introduction: some cosequences of microbial rhizosphere competence for plant and soil. In JM Lynch (ed) *The rhizosphere*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, p 1.
- McQuilken, M. P., H.G. Powell, S.P. Budge and J. M. Whipps. 1998. Effect of storage on the survival and biocontrol activity of *Pythium oligandrum* in pelleted sugar beet seed. *Biocontrol Science and Technology.* (8): 237-241.
- Mohanty, G. dan S. Mukherji. 2008. Biodegradation rate of diesel range n-alkanes by bacterial cultures *Exiguobacterium aurantiacum* and

- Burkholderia cepacia. *Int Biodeterior Biodegrad.* 61: 240-250.
- Morgan, J. A.W, G. D. Bending and P. J. White. 2005. Biological costs and benefits to plant-microbe interactions in the rhizosphere. *J Exp Bot.* 56: 1729-1739.
- Perotto S. and P. Bonfante. 1997. Bacterial associations with mycorrhizal fungi: close and distant friends in the rhizosphere. *Trends Microbiol.* 5: 496-501.
- Prihastuti. 2008. Adopsi pupuk hayati di Indonesia: Antara Harapan dan Realita. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian, Surakarta 7 Agustus 2008, Kerjasama Balai Penelitian Tanaman Kacang-Kacangan dan Umbi-Umbian dengan Fakultas Pertanian/Pascasarjana Agronomi Universitas Sebelas Maret Surakarta dan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jawa Tengah. Hal: 76-81.
- Prihastuti dan A. Harsono. 2012. Kemunduran kualitas pupuk hayati Rhizobium. *J. Sains and Mat.* (1): 1-5.
- Quan, X, H. Shi, J. Wang and Y. Qian. 2003. Biodegradation of 2,4 dichlorophenol in sequencing batch reactors augmented with immobilized mixed culture. *Chemosphere.* 50: 1069-1074.
- Read, D. J. 2002. Towards ecological relevance-progress and pitfalls in the path towards an understanding of mycorrhizal functions in nature. In: van der Heijden MGA, Sanders IR (eds) *Mycorrhizal ecology.* Springer, Berlin, pp 3-29.
- Richardson, A. E., J. M. Barea, A. M. McNeill and C. Prigent-Combaret. 2009. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant Soil.* 321: 305-339.
- Sandhu, H. S., V. V. S. R. Gupta and S. D. Wratten. 2010. Evaluating the economic and social impact of soil microbes. In Dixon, G. R. and E. L. Tilson. (Eds). *Soil Microbiology and Sustainable Crop Production.* Springer Dordrecht Heidelberg London New York. Pp. 59-80.
- Saraswati, R. dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan Mikroba Penyubur Tanah sebagai Komponen Teknologi Pertanian. *Iptek Tanaman Pangan.* 3 (1): 41-58.
- Singer, A. C, C. J. van der Gast and I. P. Thompson. 2005. Perspectives and vision for strain selection in bioaugmentation. *Trends Biotechnol.* 23: 74-77.
- Standing, D., E. M. Baggs, M. Wattenbach, P. Smith and K. Killham. 2007. Meeting the challenge of scaling up processes in the plant-soil-microbe system. *Biol Fert Soil.* 44: 245-257.
- van Bruggen, A. H. C. and A. J. Termorshuizen. 2003. Integrated approaches to root disease management in organic farming systems. *Australasian Plant Pathology.* 32: 141-156.
- Wenzel, W. W. 2009. Rhizosphere processes and management in plant-assisted bioremediation (phytoremediation) of soils. *Plant Soil.* 321: 385-408.