

POTENSI KOMBINASI ARANG SEKAM, ZEOLIT, DAN SERASAH PERKEBUNAN KAKAO SEBAGAI PEMBAWA PUPUK HAYATI PAKUWON

THE POTENTIALS OF HUSKS CHARCOAL, ZEOLIT AND COCOA PLANTATION WASTE AS COMBINED CARRIERS OF PAKUWON BIOFERTILIZER

Nendyo Adhi Wibowo dan Bambang Eka Tjahjana

Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar
Jl. Raya Pakuwon – Parungkuda km. 2 Sukabumi, 43357
Telp. (0266) 6542181, Faks. (0266) 6542087
nindya_bios@yahoo.com

ABSTRAK

Pupuk hayati (biofertilizer) adalah bahan penyubur tanah yang mengandung mikroba hidup atau sel hidup yang berfungsi untuk meningkatkan kemampuan akar tanaman dalam menyerap unsur-unsur hara dari dalam tanah guna mendukung pertumbuhannya. Pupuk hayati Pakuwon dirakit melalui metode teknologi mikrobial fertilizer dengan memperhatikan pola interaksi antar strain mikroba dengan bahan pembawa berupa arang sekam, zeolit, dan serasah hasil pengomposan yang mendukung nutrisi pada perbaikan tanaman. Pupuk hayati yang dirakit ini dapat berpotensi dalam mensuplai sebagian unsur hara yang dibutuhkan tanaman yang dilakukan oleh bakteri yang mempunyai kemampuan menambat N dari udara dan mikroba pelarut fosfat yang dapat menambang P di dalam tanah menjadi P-tersedia dalam kombinasi bahan pembawa. Konsorsium mikroba dalam pupuk hayati ini diantaranya *Bacillus* sp, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, dan *Aspergillus niger*.

Kata kunci : Pupuk hayati, mikroba penambat N, mikroba pelarut P, bahan pembawa

ABSTRACT

*Biofertilizer is a soil conditioner material containing living microbes or cells that serve to enhance the ability of plant roots to absorb nutrients from the soil to support growth. Biofertilizer Pakuwon developed through the method of microbial fertilizer technology which took regards on the interaction patterns between microbial strains and carrier materials such as husk charcoal, zeolite, and composted waste to improved plant growth. Biofertilizer developed is able to fix N from the air and phosphate solvent microbial which is capable to modify P into P-available in a combination of carrier materials. Microbial consortium of the biological fertilizer are namely *Bacillus* sp, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, and *Aspergillus niger*.*

Keywords: Biofertilizer, N fastening microbes, microbial P solvent, carriers material

PENDAHULUAN

Pupuk dapat diartikan sebagai bahan yang diberikan pada tanaman dan tanah untuk menambah unsur-unsur hara yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh dan berkembang. Jenis pupuk yang banyak digunakan oleh para petani saat ini adalah pupuk anorganik (kimia), namun penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dan terus menerus dalam pertanian intensif sangat merugikan, karena dapat meninggalkan residu yang dapat mencemari tanah dan lingkungan, serta menyebabkan menurunnya kehidupan biologi di dalam tanah. Menurunnya kadar zat organik dan kehidupan biologi di dalam tanah

yang pada akhirnya akan berdampak pada menurunnya produktivitas lahan. Blanco Canqui dan Alan (2013) menyatakan bahwa pupuk anorganik jika digunakan dalam jangka panjang dapat mengeraskan tanah dan menurunkan stabilitas agregat tanah.

Dalam rangka mengurangi penggunaan pupuk kimia, maka perlu dicari alternatif pupuk yang berkualitas dan bersifat ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan memperbanyak penggunaan pupuk hayati dan pupuk organik yang bersifat ramah lingkungan. Pupuk hayati (biofertilizer) adalah bahan penyubur tanah yang mengandung mikroba hidup atau sel hidup yang berfungsi untuk meningkatkan

kemampuan akar tanaman menyerap unsur-unsur hara dari dalam tanah guna mendukung pertumbuhan tanaman (Mohammad dan Sohrabi 2012; Amutha *et al.* 2014). Mikroba membantu menguraikan unsur-unsur yang ada pada tanah menjadi senyawa yang dapat diserap oleh akar tanaman. Mikroba sebagai bahan aktif pupuk hayati umumnya diformulasi dalam bahan pembawa berbentuk cair, serbuk atau granul. Sebagai bahan pembawa inokulan serbuk dapat digunakan bahan organik seperti gambut, arang sekam dan kompos (Danapriatna dan Simarmata 2011).

Menurut Bhattacharjee dan Dey (2014), beberapa bahan pembawa (pembawa) yang dapat digunakan untuk formulasi produk pupuk hayati bentuk serbuk, padat atau granul adalah mineral tanah liat, tanah diatoma, mineral karbon putih, dedak padi, dedak gandum, tanah gambut, lignite, humus, dan arang kayu. Teknologi proses produksi pupuk hayati perlu dikaji dan dilakukan optimasi untuk mendapatkan produk pupuk hayati yang unggul dan memenuhi persyaratan mutu produk pupuk hayati. Kajian proses produksi meliputi penggunaan isolat mikroba yang unggul, komposisi medium dan kondisi proses produksi yang optimal serta formulasi produk pupuk hayati. Produk pupuk hayati yang dihasilkan perlu dilakukan pengujian aplikasi pada berbagai jenis tanaman dan kondisi lahan untuk mengetahui kualitas dan efektivitas pupuk hayati yang telah diproduksi (Sukmadi, 2016).

Pupuk hayati (biofertilizer) didefinisikan sebagai substans yang mengandung mikroorganisme hidup yang mengkolonisasi rhizosfir atau bagian dalam tanaman dan memacu pertumbuhan tanaman dengan jalan meningkatkan pasokan ketersediaan hara primer dan atau stimulus pertumbuhan tanaman target, bila dipakai pada benih, permukaan tanaman, atau tanah (FNCA Biofertilizer Project Group 2006). Pemanfaatan pupuk hayati dilakukan berdasarkan respon positif terhadap peningkatan efektivitas dan efisiensi pemupukan sehingga dapat menghemat biaya pupuk dan penggunaan tenaga kerja.

Teknologi yang dapat digunakan adalah penerapan pupuk mikroba (*microbial fertilizer*), dalam hal ini suplai sebagian unsur hara yang dibutuhkan tanaman dapat dilakukan oleh bakteri rhizosfer yang mempunyai kemampuan menambat N dari udara dan mikroba pelarut fosfat yang dapat menambang P di dalam tanah menjadi P-tersedia bagi pertumbuhan tanaman, sehingga dapat menghemat penggunaan pupuk kimia (Moelyohadi *et al.*, 2012). Pupuk hayati dapat diproduksi secara tunggal dengan satu agen hayati yang bersimbiosis, atau dapat juga diproduksi melalui agen hayati majemuk.

Mikroba dalam pupuk hayati yang digunakan dalam bentuk inokulan dapat mengandung hanya satu strain tertentu atau monostain tetapi dapat pula mengandung lebih dari satu strain atau multistain. Strain-strain pada inokulan multi strain dapat berasal dari satu kelompok inokulasi silang (*cross-inoculation*) atau lebih. Pada mulanya hanya dikenal inokulan yang hanya mengandung satu kelompok fungsional mikroba (pupuk hayati tunggal), tetapi perkembangan bioteknologi inokulan telah memungkinkan memproduksi inokulan yang mengandung lebih dari satu kelompok fungsional mikroba. Inokulan-inokulan komersial saat ini mengandung lebih dari suatu spesies atau lebih dari satu kelompok fungsional mikroba.

Pupuk hayati Pakuwon mengandung bahan senyawa hidup, umumnya mikroorganisme yang menguntungkan, yang bila diaplikasikan dalam budidaya tanaman dapat berpengaruh pada perbaikan dari tanaman tersebut. Pada dasarnya pengaruh dari inokulasi mikroba pada tanaman tergantung dari sumber mikroba, metoda aplikasi dan kondisi lingkungan tempat aplikasi (Mirwan, 2008). Sedangkan menurut Sharma (2002) dalam Nasahi (2010), peran mikroba pupuk dalam tanah bermanfaat melalui berbagai aktivitasnya, diantaranya:

- Meningkatkan kandungan unsur hara di dalam tanah.
- Meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah dan efisiensi penyerapan unsur hara.

- Menekan mikroba tular tanah patogen melalui interaksi kompetisi.
- Memproduksi zat pengatur tumbuh yang dapat meningkatkan perkembangan sistem perakaran tanaman.
- Meningkatkan aktivitas mikroba tanah heterotrof yang bermanfaat melalui aplikasi bahan organik.

PEMANFAATAN MIKROBIA PUPUK

Mikroba dalam pupuk hayati mampu menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman baik melalui simbiosis mutualistik maupun non simbiosis, misalnya: *Rhizobium* (fiksasi unsur N simbiotik); *Azotobacter* & *Clostridium* (fiksasi unsur N non simbiotik); *Frankia* (fiksasi P simbiotik pada *Casuarina* sp.); Bakteri Pelarut Fosfat (pelarut unsur P simbiotik); Mikoriza (fiksasi P dan unsur-unsur makro maupun mikro esensial lainnya), dan lain lain. Mikroba tanah dapat menguntungkan bila kehadirannya berperan dalam siklus mineral, fiksasi nitrogen, perombakan residu pestisida, proses humifikasi, proses menyuburkan tanah, perombakan limbah berbahaya, biodegradasi, bioremediasi, mineralisasi, dekomposisi, dan lain-lain. Mikroba tanah dapat juga merugikan bila kehadirannya berperan dalam proses denitrifikasi, sebagai jasad penyebab penyakit, dan sebagai jasad pengurai pupuk yang tidak diharapkan (Waluyo, 2009). Pupuk hayati Pakuwon diproduksi dengan bantuan mikroba lignoselulolitik unggul yang tetap bertahan di dalam pupuk dan berperan sebagai agensia hayati pengendali penyakit tanaman.

Pemanfaatan bakteri *Azotobacter* dan *Azospirillum* sebagai mikroba fiksasi N₂ dapat menjadi solusi dalam mengurangi penggunaan pupuk N anorganik. Inokulasi mikroba fiksasi N₂ tersebut memerlukan isolat yang unggul dalam fiksasi N₂ dan viabilitasnya tinggi (Danapriatna, 2016). Sebagaimana yang dikemukakan oleh Akbari *et al.* (2007) bahwa strain indigenus lebih baik dari pada strain introduksi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman karena telah beradaptasi dengan lingkungannya. Umumnya *Azotobacter* yang digunakan sebagai pupuk hayati berasal dari

rhizosfer tanaman lahan kering. *Azotobacter* spp merupakan salah satu genus bakteri non simbiotik yang berperan penting dalam bidang pertanian terkait kemampuannya memfiksasi nitrogen (Waritsatul, 2015).

Umumnya mikroba dalam pupuk hayati dikemas dalam bahan pembawa berbentuk serbuk atau bentuk cairan. Sebagai bahan pembawa inokulan serbuk, dapat digunakan bahan organik seperti gambut, arang, sekam, dan kompos. Berbeda dengan pupuk anorganik maupun organik, pupuk hayati memiliki masa kadaluarsa yang relatif pendek, yaitu 6 sampai 12 bulan (Danapriatna, 2011). Mikroorganisme mampu menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman baik melalui simbiosis mutualistik maupun non simbiosis, misalnya: *Rhizobium* (fiksasi unsur N simbiotik); *Azotobacter* & *Clostridium* (fiksasi unsur N non simbiotik); *Frankia* (fiksasi P simbiotik pada *Casuarina* sp.); Bakteri Pelarut Fosfat (pelarut unsur P simbiotik); Mikoriza (fiksasi P dan unsur-unsur makro maupun mikro esensial lainnya), dll. Agus *et al.*, (2004) menunjukkan bahwa kemampuan mineralisasi N dalam tanah adalah 3-5 kali lipat dibanding yang tersedia didalam tanah. Sementara itu, penggunaan tanaman legum penutup tanah telah mampu menyuplai N sebanyak 9-27 kali lipat dibanding yang tersedia dalam tanah (Agus *et al.* 2003). Pemanfaatan bioteknologi lebih lanjut termasuk artificial & fungsional bio-nano teknologi akan sangat meningkatkan keberhasilan agribisnis berbasis pertanian terpadu.

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). Beberapa jenis mikrobia yang berpotensi dikembangkan secara komersial harus mengacu pada persyaratan

mutu teknis minimal pupuk hayati majemuk yang telah diatur berdasarkan peraturan Menteri Pertanian RI tahun 2011 seperti tertera pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Persyaratan mutu teknis minimal pupuk hayati majemuk (Permentan, 2011)

Table 1. The standard requirements of minimum quality of biofertilizer compound (Permentan, 2011)

PARAMETER	STANDAR MUTU MENURUT JENIS BAHAN PEMBAWA			METODE PENGUJIAN
	Tepung/Serbuk	Granul/Pelet	Cair	
Total sel hidup ^{*)} : a. bakteri	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^7$ cfu/ml	TPC ^{*)}
b. Aktinomiset	$\geq 10^6$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^5$ cfu/g berat kering contoh	$\geq 10^6$ cfu/ml	TPC ^{*)}
c. Fungi	$\geq 10^5$ propagul/g berat kering contoh	$\geq 10^4$ propagul/g berat kering contoh	$\geq 10^4$ propagul/ml	TPC ^{*)}
Contoh : 1. <i>Rhizobium sp</i> + <i>Bacillus sp</i> 2. <i>Azospirillum sp</i> + <i>Pseudomonas sp</i> 3. <i>Azotobacter</i> + <i>Saccharomyces sp</i> + <i>Bacillus</i> 4. <i>Streptomyces</i> + <i>Trichoderma</i> + <i>Bacillus</i>				
Fungsional : a. Penambat N b. Pelarut P c. Penghasil fitohormon d. Perombak bahan organik	Positif Positif >0,0 postif	Positif Positif >0,0 positif	Positif Positif >0,0 positif	Media bebas N Media Pikovskaya Spektrofotometri atau HPLC Media agar CMC/ Avicel atau media agar Guaicol/Indulin
Patogenisitas	Negatif			Infeksi ke daun tembakau
Kontaminan: <i>E. coli</i>	maks 10^3 MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>E. coli</i>
<i>Salmonella sp</i>	maks 10^3 MPN/g atau MPN/ml			MPN-durham dan uji lanjut pada media <i>Salmonella</i>
Logam berat ^{***)} - Pb - Cd - Hg - As	≤ 50 ppm ≤ 2 ppm ≤ 1 ppm ≤ 10 ppm	≤ 50 ppm ≤ 2 ppm ≤ 1 ppm ≤ 10 ppm	≤ 50 ppm ≤ 2 ppm ≤ 1 ppm ≤ 10 ppm	SNI 2803 – 2010
Kadar Air (%) ^{****)}	≤ 35	≤ 20	–	AADB
pH	5,0 – 8,0	5,0 – 8,0	3,0 – 8,0	pH H ₂ O, pH – meter

^{*)} Minimal mengandung dua jenis mikroba

^{**) TPC dilakukan pada media spesifik untuk mikroba tersebut, TPC = Total Plate Count}

^{***)} Khusus untuk pupuk hayati dengan dosis ≥ 50 kg per ha

^{****)} Kadar air atas dasar berat basah; MPN = Most Probable Number

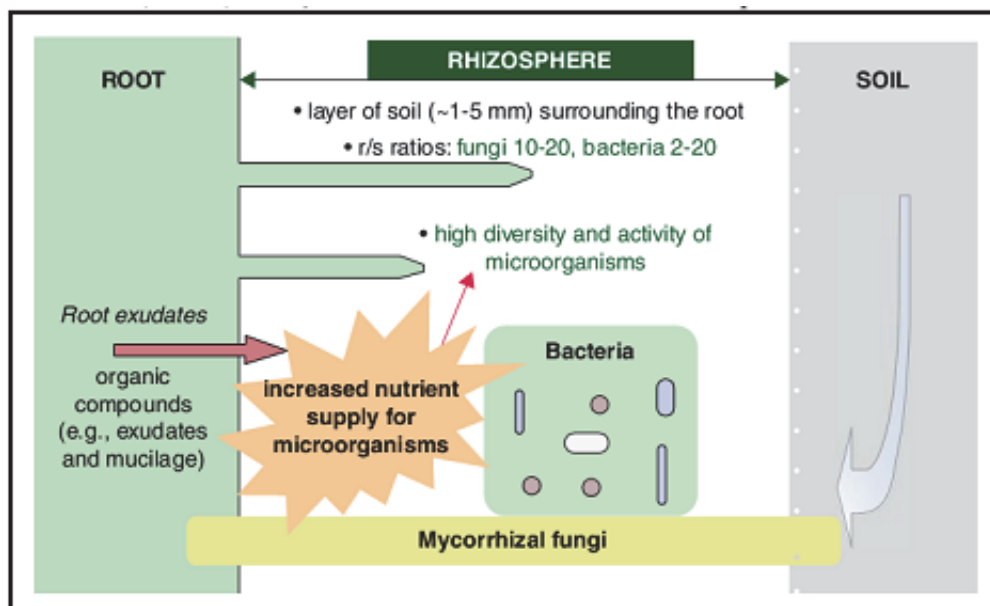
Sedangkan berdasarkan penelitian yang telah berhasil ditemukan oleh para peneliti, terdapat jenis-jenis mikrobia yang sangat

berpotensi dikembangkan secara komersial oleh industri seperti diklasifikasikan menurut Kuhad, *et al*, (2008) pada tabel 2 berikut :

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

Table 2. *Microbes types potentially to be commercialized (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, Rhizoctonia, Trichoderma</i>
Transformer sulfur	<i>Desulfovibrio, Thiobacillus</i>
Transformer zat besi	<i>Ferribacterium, Leptothrix</i>
Produsen fitohormon	<i>Azotobacter, Azospirillum, Pseudomonas, Rhizobium, Bacillus, Flavobacterium, Actinomyces, Nocardia, Fusarium, Gibberella, Aletnaria, 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>



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

Figure 2. The position of soil microbes in root zone as the link between plants and soil

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. Sedangkan pada 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 (Prihastuti, 2016).

PERBANYAKAN SEL BAKTERI PUPUK

A. Perbanyak Inokulum *Aspergillus*, *Bacillus* dan *Pseudomonas*

Proses produksi pupuk hayati diawali dari peremajaan dan perbanyak isolat *Aspergillus* pada media selektif Pikovskaya Agar dan dilakukan perbanyak. Selanjutnya isolat bakteri *Bacillus* dibuat stock kultur pada media *Bacillus Natrium* Agar (NA) dan diperbanyak dengan *Natrium Broth* (NB), sedangkan *Pseudomonas* dalam medium King's B. Kultur selanjutnya dilakukan secara bertingkat pada volume media dengan perbandingan 1:10 pada 50% volume erlenmeyer sampai mendapat volume 1000 ml yang kemudian dilakukan aerasi melalui shaker inkubator selama 3x24 jam.

B. Perbanyak *Azotobacter* dan *Azospirillum*.

Salah satu bakteri tanah yang melimpah adalah anggota genus *Azotobacter* yang merupakan bakteri non simbiotik dan berperan penting dalam bidang agrikultur terkait

kemampuannya dalam memfiksasi nitrogen. *Azotobacter* banyak ditemukan di lahan pertanian, perkebunan, taman, dan perladangan. *Azotobacter* juga mampu memproduksi fitohormon yang bermanfaat untuk tanaman, dan menunjukkan sifat antagonis terhadap patogen (Kizilkaya, 2008). *Azotobacter* juga memiliki potensi mendegradasi beberapa senyawa organik. *Azotobacter chroococcum* mampu mendegradasi senyawa organik volatile, seperti, oxylene (Thakur and Balomajumder, 2012). Aplikasi pupuk hayati penambat nitrogen bebas seperti *Azotobacter sp* dan *Azospirillum sp* mampu menurunkan penggunaan urea, mencegah penurunan bahan organik tanah dan mengurangi polusi. Inokulasi *Azotobacter sp.* dapat menaikkan hasil antara 15 – 100% dan mengurangi penggunaan pupuk buatan hingga 30% pada ekosistem lahan kering (Kader *et al.*, 2002; Sattar *et al.*, 2008; Simarmata, 1994). Katupitiya dan Vlassak (1990) menyimpulkan bahwa *Azospirillum sp* mampu memacu peningkatan hasil pertanian penting 30 sampai 50 % pada kondisi tanah dan iklim yang berbeda pada jangka waktu 20 tahun.

Perbanyak isolat *Azotobacter* diawali dalam kultur medium manitol Ashby(10 g mannitol, 0,2 g K₂HPO₄, 0,2g MgSO₄.7 H₂O, 0,2 g NaCl, 0,1 g K₂SO₄, 5 g CaCO₃, dan 1000 ml air destilasi) dan Okon (5 g Asam malat, 0,6 g K₂HPO₄, 0,4 KH₂PO₄, 0,2 g g MgSO₄, 0,1 g NaCl, 20 mgCaCl₂, 0,5 g Yeast Extract, 16,6 mg FeCl₃.6 H₂O, 2 mg Na₂MoO₄, 3 g NaOH dan 1000ml air destilasi) sedangkan *Azospirillum* ditumbuhkan dalam medium asam malat. Perbanyak selanjutnya dilakukan secara bertingkat pada volume media dengan perbandingan 1:10 pada 50% volume erlenmeyer sampai mendapat volume 1000 ml yang selanjutnya dilakukan aerasi melalui shaker inkubator selama 4x24 jam. Menurut Stella dan Sivasak (2009) penambahan nutrisi seperti sukrosa dan manitol menyebabkan terjadinya peningkatan viabilitas mikroba dalam pupuk hayati. Selanjutnya perbanyak formulasi *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, dan *Azospirillum* di dalam bahan pembawa

ditambahkan agen hayati *Aspergillus niger* yang berperan sebagai agensia pengurai selulosa.

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis mikrobiologi pupuk hayati hasil formulasi konsorsium mikrobial dengan total populasi bakteri aerob dan anaerob lebih besar dari 10^7 cfu/g sampel serbuk pupuk dan total fungi lebih dari 10^5 cfu/g dengan metode total plate count (TPC), serta hasil uji patogenisitas yang negatif dengan metode infeksi pada daun tembakau, maka hal ini menunjukkan secara teknis mutu pupuk hayati Pakuwon sesuai dengan persyaratan mutu teknis minimal pada

Permentan tahun 2011. Secara mutu, Pupuk hayati Pakuwon mampu memfasilitasi ketersediaan hara dan/atau menetralkan logam berat dan unsur lain yang bersifat meracuni tanaman serta mampu memfiksasi N₂ pada bakteri penambat N₂ yang hidup bebas (*Azospirillum*, *Azotobacter*).

Sedangkan perombak bahan organik (lignin dan selulosa) dan pelarut fosfat dapat dilakukan oleh ketersediaan *bacillus* dan *pseudomonas*.

Tabel 3. Hasil analisa mikrobiologi pupuk hayati Pakuwon

Table 3. Analysis result of Pakuwon Biofertilizer

No	Parameter uji	Hasil analisa sampel
1	Total Bakteri aerob (cfu/g)	$2,98 \times 10^9$
2	Total Bakteri anaerob (cfu/g)	$1,62 \times 10^9$
3	Total Fungi (propagul/g)	$2,03 \times 10^8$
4	Uji Patogenisitas	Negatif

Sumber : Dokumen Balittri dari hasil pengujian Balittanah (2015)

Source: Documents of analysis result at Balittanah (2015)

C. Peranan pembawa kombinasi Arang Sekam, zeolit, dan bahan organik serasah.

Pupuk hayati mempunyai kelebihan dibanding dengan pupuk kimia buatan karena bahan-bahannya berasal dari alam sehingga tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Beberapa bahan pembawa yang dapat digunakan untuk formulasi inokulan antara lain gambut, lignite, arang, zeolit, bentonit (Yuwono, 2006).

Kombinasi bahan pembawa yang digunakan dalam perakitan pupuk hayati ini ada tiga macam, yaitu arang sekam steril dengan kadar air 10%, dan Zeolit dengan kehalusan 50-80 mesh dan kadar air kurang 10%-15%. Arang sekam terdiri dari bahan yang sangat ringan dengan struktur mikro-berpori dan rata-rata memiliki density sekitar 0.150 g cm^{-3} . Proses karbonisasi atau pembakaran yang tidak sempurna memiliki dampak positif sebagai media tanam untuk memperbaiki pertukaran udara dalam tanah menjadi lebih baik. Kelebihan arang sekam adalah berubahnya susunan kimiawi sekam mentah melalui

proses pembakaran yang tidak sempurna tersebut menghasilkan peningkatan kandungan mineral Si, Ca, Mg dan juga unsur mikro lainnya seperti Fe, Al, Cu, Zn, Na dan seterusnya. arang sekam meningkatkan pH tanah, sehingga meningkatkan juga ketersediaan fosfor (P). Penambahan arang sekam pada media tanam atau tanah pertanian juga meningkatkan sistem aerasi (pertukaran udara) di zona akar tanaman. Arang sekam juga berfungsi meningkatkan cadangan air tanah juga terjadinya peningkatan kadar pertukaran kalium (K) dan magnesium (Mg). Arang sekam atau sekam bakar juga memiliki kandungan tinggi unsur silikat (Si) dan magnesium (Mg) tetapi rendah pada kandungan kalsium (Ca).

Pengaruh baik yang disebabkan sifat-sifat zeolit adalah mempunyai muatan negatif yang tinggi sehingga dapat mengikat unsur hara dan meloloskannya sedikit demi sedikit, sifat memegang air yang tinggi, menekan unsur yang beracun seperti Al, Fe, Mn, Cd, Pb, Cu dan Zn. Zeolit juga mampu mengikat atau menyimpan pupuk dan melepaskannya kembali sesuai

dengan kebutuhan tanaman sehingga penggunaan pupuk lebih efisien (Harjono, 2004). Salah satu parameter yang menentukan mutu zeolit adalah nilai kapasitas tukar kation (KTK). Mengacu pada SNI KTK zeolit 13-3494-1994, zeolit dinyatakan lolos uji mutu jika memiliki nilai KTK ≥ 100 cmol (+)/kg. Zeolit dapat menjadi pembenah tanah pertanian. Syarat mutu zeolit sebagai pembenah tanah pertanian antara lain adalah kadar zeolit minimum 50%, kadar air maksimum 10%. Makin tinggi nilai KTK zeolit maka kadar zeolitnya lebih dari 50%. Zeolit alam banyak digunakan sebagai imbuhan pakan ternak, imbuhan pupuk atau pembenah tanah, media pengolahan air limbah, media penyaring air bersih, dan penyerap limbah radio aktif (Al-Jabri, 2011).

Salah satu usaha untuk mengurangi kehilangan nitrogen adalah dengan membuat

pupuk tersebut dalam bentuk slow release. Zeolit merupakan salah satu bahan yang dapat mengikat nitrogen sementara. Zeolit memiliki nilai kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi (antara 120-180 me/100g) yang berguna sebagai pengadsorpsi, pengikat dan penukar kation (Suwardi, 2000). Keberhasilan pembuatan pupuk tersedia lambat SRF (*slow release fertilizer*) merupakan faktor yang sangat penting untuk meningkatkan efisiensi pupuk nitrogen dan sekaligus meningkatkan produksi tanaman. Berdasarkan formulasi bahan pembawa selama perakitan pupuk hayati seperti penjelasan penggunaan bahan diatas, maka didapatkan hasil analisa kimia pupuk seperti tertera pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil analisa kimia pupuk hayati Pakuwon
Table 4. Chemical analysis result of Pakuwon Biofertilizer

No	Parameter Uji	P.1022	Satuan	Metode
1	pH H ₂ O (1:5)	8,00	—	Potensiometri/pH Meter
2	Kadar Air	14,52	%	Gravimetri
3	Bahan ikutan	0,00	%	Gravimetri
4	C-Organik	3,13	%	Pengabuan/Gravimetri
5	N-Organik	0,26	%	Destilasi/titrasi
6	N-NH ₄	0,02	%	Destilasi/titrasi
7	N-NO ₃	0,03	%	Destilasi/titrasi
8	N-total	0,31	%	Destilasi/titrasi
9	P ₂ O ₅ -total	0,04	%	HNO ₃ /spektrofometri
10	K ₂ O-total	0,32	%	HNO ₃ /F-AAS
11	Ca-total	0,70	%	HNO ₃ /F-AAS
12	Mg-total	0,36	%	HNO ₃ /F-AAS
13	Zn-total	24,00	ppm	HNO ₃ /F-AAS

Sumber : Dokumen Balittri dari hasil pengujian Balittanah (2015)

Source: Documents of analysis result at Balittanah (2015)

PENGOMPOSAN BAHAN ORGANIK

Bahan organik adalah fraksi bahan mineral yang ditemukan sebagai penyusun tanah, merupakan timbunan di setiap sisa tumbuhan, binatang, jasad mikro baik sebagian atau seluruhnya telah mengalami perubahan (D. Simanjuntak, 2004). Bahan organik berperan dalam menentukan kesuburan dan kekayaan nutrisi di dalam tanah. Dekomposisi bahan organik dalam tanah secara fisika,

kimia, maupun mikrobiologis, berperan dalam penyediaan hara makro dan mikro (Suriadikarta. dan Simanungkalit, 2006). Kandungan bahan organik pada lahan yang diusahakan secara intensif umumnya rendah, sehingga pemberian pupuk organik memegang peranan penting untuk meningkatkan produktivitas lahan. Pada tanah Aluvial, pemberian kotoran sapi atau pupuk hijau dari daun gamal dengan takaran 5-20 ton/ha dapat menggantikan 100-200 kg pupuk urea/ha

(Ruswandi, 2010). Oleh karena itu, peranan utama dari bahan organik bukanlah untuk menambah unsur hara tetapi untuk memperbaiki sifat fisika tanah dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme di dalam tanah (Bachtiar, 2005).

Bahan organik tanah baik dalam bentuk pupuk kandang, pupuk hijau, kompos, sisa tanaman, dan lain sebagainya, merupakan bahan pembenah tanah yang sudah banyak dibuktikan efektivitasnya baik dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, maupun biologi tanah. Oleh karena itu, bila bahan pembenah tanah akan dijadikan suatu kebijakan dalam usaha peningkatan produktivitas lahan pertanian di Indonesia, maka pemilihan bahan pembenah tanah tetap diprioritaskan pada bahan-bahan yang murah, bersifat insitu, dan terbarukan, bahan organik sebenarnya dapat memenuhi persyaratan tersebut. Pengadaan bahan organik baik yang bersifat insitu maupun dengan memanfaatkan sumber-sumber yang ada seperti sampah kota harus digalakkan. Pemanfaatan limbah pertanian dan lain sebagainya juga dapat dilakukan, namun perhatikan kemungkinan adanya kandungan unsur-unsur pencemar dan berbahaya seperti logam berat (Dariah, 2007). Pengomposan adalah dekomposisi dengan menggunakan aktivitas mikroba; oleh karena itu kecepatan dekomposisi dan kualitas kompos tergantung pada keadaan dan jenis mikroba yang aktif selama proses pengomposan. Kondisi optimum bagi aktivitas mikroba perlu diperhatikan selama proses pengomposan, misalnya aerasi, kelembaban, media tumbuh dan sumber makanan bagi mikroba (Yuwono, 2006). Selanjutnya Isroi, (2008) menjelaskan bahwa proses pengomposan dapat dipercepat dengan menggunakan mikroba penghancur (dekomposer) yang berkemampuan tinggi. Penggunaan mikroba dapat mempersingkat proses dekomposisi dari beberapa bulan menjadi beberapa minggu saja.

Penggunaan bahan organik dalam kombinasi bahan pembawa pada perakitan pupuk hayati Pakuwon bertujuan untuk meningkatkan mutu pupuk sekaligus memanfaatkan limbah organik yang tersebar di kebun percobaan. Menurut Supadma dan

Arthagama (2008), limbah pertanian dalam arti luas menghasilkan hasil sampingan berupa limbah, diantaranya sisa-sisa tanaman, limbah ternak ayam, limbah ternak sapi, babi, dan lain-lain. Semua limbah tersebut bila diolah atau diformulasikan lebih lanjut akan dapat menghasilkan pupuk yang mempunyai kualitas lebih baik.

Kompos merupakan hasil perombakan bahan organik oleh mikrobia dengan hasil akhir berupa kompos yang memiliki nisbah C/N yang rendah. Bahan yang ideal untuk dikomposkan memiliki nisbah C/N sekitar 30, sedangkan kompos yang dihasilkan memiliki nisbah C/N < 20. Bahan organik yang memiliki nisbah C/N jauh lebih tinggi di atas 30 akan terombak dalam waktu yang lama, sebaliknya jika nisbah tersebut terlalu rendah akan terjadi kehilangan N karena menguap selama proses perombakan berlangsung. Kompos yang dihasilkan dengan fermentasi menggunakan teknologi mikrobia efektif dikenal dengan nama bokashi. Dengan cara ini proses pembuatan kompos dapat berlangsung lebih singkat dibandingkan cara konvensional (Yuwono, 2006). Menurut Xu dan Hirata (2005), dekomposisi limbah organik merupakan topik yang menarik dikaji guna memahami rangkaian proses untuk mendapatkan produk pengomposan yang baik. Laju dekomposisi tergantung pada kualitas substrat organik, kondisi lingkungan, sifat kimia substrat organik, dan aktivitas mikroorganisme. Kompos yang diproduksi dengan bantuan mikroba lignoselulolitik unggul yang tetap bertahan didalam kompos dan berperan sebagai agensia hayati pengendali penyakit tanaman. Menurut Susanto (2009), penggunaan starter pada pembuatan pupuk organik mempercepat proses pengomposan dan memperkecil nilai rasio C/N. Simanungkalit *et al*, (2006) menyebutkan bahwa pupuk organik adalah nama kolektif untuk semua jenis bahan organik asal tanaman dan hewan yang dapat dirombak menjadi hara tersedia bagi tanaman.

KESIMPULAN

Pupuk hayati adalah produk biologi aktif yang terdiri atas mikroba yang dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, kesuburan, dan kesehatan tanah. Pupuk hayati Pakuwon dirakit berdasarkan formulasi dari konsorsium mikroba pupuk yang dikombinasikan pada bahan pembawa arang sekam, zeolit, dan hasil pengomposan serasah kebun kakao, sehingga memiliki potensi unggul dalam mensuplai sebagian unsur hara yang dibutuhkan tanaman, kemampuan memfiksasi N dari udara, dan potensi adanya mikroba pelarut fosfat yang dapat menambang P di dalam tanah menjadi P-tersedia bagi pertumbuhan tanaman, sehingga dapat menghemat penggunaan pupuk kimia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C., Karyanto, O., Hardiwinoto, S., Haibara, K., Kita, S. and Toda, H. 2003. Legume cover crop as a soil amendment in short rotation plantation of tropical forest. *J. For. Env.* 45(1): 13-19.
- Agus, C., Karyanto, O., Kita, S., Haibara, K., Toda, H., Hardiwinoto, S., Supriyo, H., Na'iem, M., Wardana, W., Sipayung, M., Khomsatun and Wijoyo, S. 2004. Sustainable site productivity and nutrient management in a short rotation *Gmelina arborea* plantation in East Kalimantan, Indonesia. *New Forest J.* 28: 277-285
- Akbari et al. (2007). Isolation and selection of indigenous *Azospirillum* spp. and the IAA of superior strains effects on wheat roots. *World J. Agric. Sci.* 3(4) : 523 – 529
- Al-Jabri, M. (2011). Inovasi Teknologi Pembenh Tanah Zeolit Untuk Memperbaiki Lahan Pertanian Terdegradasi. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Amutha R, Karunakaran S, Dhanasekaran S, Hemalatha K, Monika R, Shanmugapriya P, Sornalatha T (2014) Isolation and mass production of biofertilizer (*Azotobacter* and *Phosphobacter*). *Int J Latest Res Sci Technol* 3:79-81
- Bachtiar. E. H. 2005. Ilmu Tanah. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Bhattacharjee R, Dey U (2014) Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *Afr J Microbiol Res* 8:2332-2342. doi: 10.5897/AJMR2013.6374
- Blanco-Canqui H, Alan JS (2013) Implications of inorganic fertilization of irrigated corn on soil properties: Lessons learned after 50 years. *J Environ Quality* 42:861-164
- D.A Suriadikarta. dan R.D.M. Simanungkalit,. Pupuk organik dan pupuk hayati. *J. Litbang Pertanian*, 26, 1-10.
- D.Simanjuntak, 2004. “Manfaat Pupuk Organik Kascing dan Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) pada Tanah dan Tanaman”. *Jurnal Penelitian Bidang Ilmu Pertanian* Vol 1 (2004) 1-3
- Danapriatna N, Simarmata T (2011) Viabilitas pupuk hayati penambat nitrogen (*Azotobacter* dan *Azospirillum*) ekosistem padi sawah pada berbagai formulasi bahan pembawa. *J agribisnis Pengemb Wil* 3:1-10
- Danapriatna, 2016 Penjaringan *Azotobacter* Sp Dan *Azospirillum* Sp Dari Ekosistem Lahan Sawah Sebagai Sumber Isolat Pupuk Hayati Penambat Nitrogen,, *Jurnal Agrotek Indonesia* 1 (2) : 115 – 122 (2016)
- Danapriatna, N. (2011). Fenomena Kelangkaan Pupuk Kimia dan Alternatif Solusinya. *Jurnal FAPERTA: CEFARS*, 1(01).

- Dariah, A. 2007. Bahan Pembenh Tanah: Prospek dan Kendala Pemanfaatannya . Sinar Tani. Edisi 16 - 22 Mei 2007.
- FNCA Biofertilizer Project Group. 2006. Biofertilizer Manual. Forum for Nuclear Cooperation in Asia (FNCA). Japan Atomic Industrial Forum, Tokyo.
- Harjono. 2004. Zeolit, Bahan Pembenh Tanah.
- 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.
- Isroi. 2008. Kompos. Makalah. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor. Wikipedia Indonesia.
- Isroi. 2011. Bioteknologi Mikroba untuk Pertanian Organik. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia. Lembaga Riset Perkebunan Indonesia. Bogor.
- Kader et al., 2002; Kader, M.A, M.H. Mian and M.S. Hoque. 2002. Effect of Azotobacter inoculant on yield and nitrogen uptake by wheat. OnLine J.Bio. Sci.2 : 259 -251. Melalui <http://docsdrive.com/pdfs/ansinet/jbs/2002/259-261.pdf> [05/08/2010].
- Katupitya, S., and K. Vlassak. 1990. Colonization of wheat roots by *Azospirillum brasilense*. In: Organic recycling in Asia and the Pacific. Rapa Bull. 6:8.
- 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.
- Menteri Pertanian (2011) Peraturan Menteri Pertanian Nomor 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk organik, pupuk hayati dan pembenh tanah. <http://perundangan.pertanian.go.id/admin/file/Permentan-70-11.pdf>.
- Mirwan, M. (2008). Optimasi pengomposan sampah kebun dengan variasi aerasi dan penambahan kotoran sapi sebagai bioaktivator. Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan. Vol 4(1): 61-66.
- Moelyohadi, Y., Harun, M. U., Hayati, R., & Gofar, N. (2012). Pemanfaatan Berbagai Jenis Pupuk Hayati pada Budidaya Tanaman Jagung (*Zea mays*. L) Efisien Hara di Lahan Kering Marginal. *Jurnal Lahan Suboptimal*, 1(1).
- Mohammadi K, Sohrabi Y (2012) Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: A review. *ARNP J Agr Biol Sci* 7:307-316
- Nasahi (2010). Peran mikroba dalam pertanian organik. Bandung: Jurusan Hama dan Penyakit Tumbuhan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran.
- P.B. Thakur and C. Balomajumder, 2012 P.B. Thakur and C. Balomajumder. "Biodegradation of O-Xylene by *Azotobacter chroococcum*". *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* Vol 3 (2012) 502-508.
- Perotto S. and P. Bonfante. 1997. Bacterial associations with mycorrhizal fungi: close and distant friends in the rhizosphere. *Trends Microbiol.* 5: 496-501
- Prihastuti, P. (2016). Prospek Komersialisasi Produk Mikroba Di Bidang Pertanian. *El-Hayah*, 5(4), 159-167.
- R. Kizilkaya, 2008 "Nitrogen Fixation Capacity of *Azotobacter* spp. Strains Isolated from

- Soils in Different Ecosystems and Relationship Between Them and The Microbiological Properties of Soils". *Journal of Environmental Biology* Vol 30 (2008) 73-28
- Ruswandi, A. 2010. Pengkajian Pengembangan Model Pabrikasi Pupuk Organik Studi Kasus di kota tasikmalaya, Jawa Barat. *Jurnal Agrikultura*. 21(1): 68-76.
- 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.
- Sattar, M.A., M.F. Rahman, D.K. Das, and T.M.A. Choudhury. 2008. Propects of using Azotobacter, Azospirillum and cyanobacteria as supplements of urea nitrogen for rice production in Bangladesh.
- Sharma, A. K. (2002). *Organic farming*. Central Arid Zone Research Institute Jodhpur. Agrobios. India
- Simanungkalit et al, (2006), *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati (Organic Fertilizer and Biofertilizer)*, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Balibang Pertanian, Bogor.
- Simarmata, T. 1994. Prospek Pemanfaatan Bioteknologi Tanah (Azotobacter sp. dengan Pupuk Kandang) dalam Meningkatkan Produktivitas Lahan Marginal Ultisol dengan Indikator Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum*). *Jurnal Agrikultura* 5 (1) : 60 – 74.
- Stella, D. and P. Sivasakthivelan. 2009. Effect of different organic amendments addition into Azospirillum bioinoculant with lignite as carrier material. *Bot. Res. Intl.* 2(4) :229 – 232.
- Sukmadi et al, 2016, Kajian Proses Produksi Pupuk Hayati Bio-Srf Dan Pengujian Efektivitasnya Pada Tanaman Bawang Merah, *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia* Vol 3 nomor 1 Juni 2016
- Supadma, AAN dan DM Arthagama. 2008. Uji formulasi kualitas pupuk kompos yang bersumber dari sampah organik dengan penambahan limbah ternak ayam, sapi, babi dan tanaman pahitan. *Jurnal Bumi Lestari*, Vol. 8 No. 2, Agustus 2008. hal. 113-121
- Susanto, 2009. Membuat kompos dengan mudah dan Murah. *Gula Indonesia*/Vol. XXXIII/No.1/Maret-April 2009
- Suwardi, 2000. Prospek zeolit sebagai bahan untuk meningkatkan peroduksi pangan di Indonesia. *Prosiding Kongres Nasional VII HITI*. Bandung, 2-4 November 1999. *Jurnal Agrikultura* 14 : 139-144
- Waluyo, L. 2009. *Mikrobiologi Lingkungan*. UMM Press. Malang.
- Waritsatul et al, 2015. "Potensi Azotobacter spp. sebagai Pendegradasi Karbohidrat." *Jurnal Sains dan Seni ITS* 4.1 : E5-E6.
- Xu., X. Dan E. Hirata. 2005. *Decomposition patterns of leaf litter of seven common canopy species in a subtropical forest : N and P dynamics*. *Plant Soil*. 273: 279-289
- Yuwono. T. 2006. Kecepatan dekomposisi dan kualitas kompos sampah organik. *Jurnal Inovasi Pertanian*. 4 (2): 116-123.