

# PEMULUK HAYATI

TEKNOLOGI PEMULUKAN

## dari Cawan Petri ke Lahan Petani



# PUPUK & TEKNOLOGI PEMUPUKAN BERBASIS HAYATI

DARI CAWAN PETRI KE LAHAN PETANI

**MILIK / KOLEKSI**

POLITEKNIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA  
(PEPI)

**Didiek Hadjar Goenadi**

**tgl. Terima** : 6 - 08 - 2024

**No. Induk** : 2315-monograf-PEPI.08-24

**Asal Bahan Pustaka** : (~~Beli/Tukar~~/Hadiah)

**Dari** : Biro Sekjen Kemendagri

**2006**



## PT. BIO INDUSTRI NUSANTARA (BIONUSA)



**PRODUSEN PIONER PRODUK-PRODUK SAPRODI BERBASIS HAYATI**

Jl. Ir. H. Juanda No. 107, Bandung 40132  
Telp. 022-2530580, Fax. 022-2530591, <http://www.bionusa.com>

**kami bawa kepada  
petani**



## PT. PIJAR NUSA PASIFIK

Klampis Megah A/36 Jl. Klampis Jaya – Surabaya  
Telp. 031-5925239, Fax. 031-5925387



- **Hemat 50% dosis pupuk kimia tunggal**
- **Hemat biaya pupuk 20 - 40%**
- **Perbaiki kesuburan biologi tanah**
- **Ramah lingkungan**
- **Untuk semua jenis tanah & tanaman**

SOLUSI PROBLEM BETON

# JHC

CV. JOHN HI-TECH CONTRINDO

PRODUSEN KIMIA KONSTRUKSI

## J-Produk

ADMIXTURE • GROUTS • BONDING • EPOXY • REPAIR

### SPECIALISASI PEKERJAAN:

- AUDIT BUILDING
- CONCRETE REPAIR
- FLOORING
- FLOOR HARDENER
- WATERPROOFING
- GROUTING
- ULTRASONIC
- COREDRILL

Alamat

Jl. Rawa Bambu Raya No. 17A  
Pasar Minggu, Jakarta 12520

Telp

021-7827947

021-7827966

Fax 021-7827966

Email [jbg@cbn.net.id](mailto:jbg@cbn.net.id)

# DAFTAR ISI

|                                                                                       | Halaman       |
|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| DAFTAR ISI .....                                                                      | v             |
| KATA PENGANTAR .....                                                                  | xi            |
| <br><b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....                                                   | <br><b>1</b>  |
| 1.1. Revolusi Hijau dan Dampak Lingkungan .....                                       | 1             |
| 1.2. Upaya Menggeser Kimia Buatan ke Hayati .....                                     | 2             |
| 1.3. Sistematika Materi .....                                                         | 3             |
| <br><b>BAB 2. TEKNOLOGI PUPUK DAN PEMUPUKAN DALAM ABAD XXI</b> .....                  | <br><b>6</b>  |
| 2.1. Prospek Pupuk dan Teknologi Pemupukan .....                                      | 6             |
| 2.1.1. Preferensi Konsumen Pupuk .....                                                | 6             |
| 2.1.2. Produksi dan Konsumsi .....                                                    | 7             |
| 2.1.3. Perkembangan Jenis Pupuk .....                                                 | 10            |
| 2.1.4. Teknologi Pupuk dan Pemupukan .....                                            | 11            |
| 2.1.5. Efisiensi Pemupukan .....                                                      | 13            |
| 2.1.6. Arah Teknologi Pemupukan Tahun 2025 .....                                      | 14            |
| 2.2. Teknologi untuk Peningkatan Efisiensi Penggunaan Pupuk di Indonesia .....        | 15            |
| 2.2.1. Peran Pupuk dan Kecenderungan Dunia .....                                      | 15            |
| 2.2.2. Produksi dan Konsumsi Nasional . .....                                         | 16            |
| 2.2.3. Upaya Peningkatan Efisiensi Penggunaan Pupuk melalui Inovasi Teknologi .....   | 17            |
| 2.2.4. Filosofi Kebutuhan Hara Spesifik menurut Jenis Tanaman, Tanah, dan Iklim ..... | 18            |
| 2.2.5. Aplikasi Kompos untuk Efisiensi Pemupukan .....                                | 19            |
| 2.2.6. Modifikasi Produk Pupuk .....                                                  | 23            |
| <br><b>BAB 3. PERAN MIKROBA DALAM PENGELOLAAN TANAH PERKEBUNAN</b> .....              | <br><b>24</b> |
| 3.1. Potensi Aplikasi Mikroba .....                                                   | 24            |
| 3.1.1. Tanah sebagai Habitat bagi Mikroba .....                                       | 25            |
| 3.1.2. Mikroba Tanah yang Menguntungkan .....                                         | 26            |
| 3.2. Kemampuan Melarutkan Fosfat Beberapa Isolat Mikroba Asli Indonesia .....         | 31            |
| 3.2.1. Bakteri Asal Tanah dan Pupuk Kandang .....                                     | 31            |
| 3.2.2. Fungi Asal Tanah dan Pupuk Kandang Sapi .....                                  | 37            |

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BAB 4. TEKNOLOGI BIO-SUPERPHOSPHATE .....</b>                                                            | <b>43</b> |
| 4.1. Peluang Pemanfaatan Mikroba Pelarut Fosfat dalam<br>Teknologi Pembuatan Pupuk P Alternatif .....       | 43        |
| 4.1.1. Mekanisme Pelepasan Fosfat oleh Mikroba .....                                                        | 43        |
| 4.1.2. Penelitian Mikroba Pelarut Fosfat di Puslit Biotek<br>Perkebunan .....                               | 44        |
| 4.1.3. Peluang Pemanfaatan Mikroba Pelarut Fosfat untuk<br>Aktivasi Batuan Fosfat Mutu Rendah .....         | 45        |
| 4.2. Prospek Pengembangan Produk Bio-Super Phosphate<br>(Bio-SP) .....                                      | 46        |
| 4.2.1. Hasil Riset Terdahulu .....                                                                          | 47        |
| 4.2.2. Karakterisasi Bahan Baku .....                                                                       | 48        |
| 4.2.3. Pengukuran Aktivitas Enzim Fosfatase untuk Menetap-<br>kan Waktu Inkubasi Optimum Produksi SKC ..... | 50        |
| 4.2.4. Optimasi Konsentrasi Karbon dan Nitrogen dalam<br>Medium Pikovskaya .....                            | 51        |
| 4.2.5. Optimasi Konsentrasi P dalam Medium Pikovskaya .....                                                 | 52        |
| 4.2.6. Klarifikasi Peran Enzim Fosfatase dalam Kelarutan<br>P-FA .....                                      | 54        |
| 4.2.7. Formulasi Proses Produksi dan Mutu Produk .....                                                      | 56        |
| 4.3. Perakitan Teknologi Produksi Pupuk Bio-SP .....                                                        | 57        |
| 4.3.1. Kerangka Pikir .....                                                                                 | 57        |
| 4.3.2. Deskripsi Prospek Teknologi .....                                                                    | 58        |
| 4.3.2.1. Deposit Batuan Fosfat .....                                                                        | 58        |
| 4.3.2.2. Teknologi Produksi Bio-SP Skala Pilot .....                                                        | 60        |
| 4.3.3. Studi Kelayakan Pembangunan Pabrik Bio-super-<br>fosfat .....                                        | 61        |
| 4.3.3.1. Justifikasi Awal .....                                                                             | 61        |
| 4.3.3.2. Analisis Pasar Pupuk P .....                                                                       | 61        |
| 4.3.3.3. Peluang Pasar .....                                                                                | 63        |
| 4.3.3.4. Strategi Pemasaran .....                                                                           | 64        |
| 4.3.3.5. Pembangunan Pabrik .....                                                                           | 64        |
| 4.3.3.6. Manajemen dan Tenaga Kerja .....                                                                   | 65        |
| 4.3.3.7. Aspek Finansial .....                                                                              | 66        |
| 4.3.3.8. Penanganan Dampak Lingkungan .....                                                                 | 72        |
| 4.3.3.9. Kesimpulan Studi Kelayakan Pembangunan<br>Pabrik Bio-superfosfat .....                             | 73        |
| 4.3.4. Penutup .....                                                                                        | 74        |
| <b>BAB 5. TEKNOLOGI PUPUK HAYATI (BIOFERTILIZER)<br/>MIKROBA PELARUT HARA .....</b>                         | <b>75</b> |
| 5.1. Introduksi Mikroba pada Tanah Marginal .....                                                           | 75        |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2. Efisiensi Pemupukan .....                                                                             | 76  |
| 5.2.1. Upaya Ameliorasi Tanah secara Biologi .....                                                         | 77  |
| 5.2.2. Mikroba Penambat Nitrogen dari Atmosfer .....                                                       | 78  |
| 5.2.2.1. Non-Simbiotik .....                                                                               | 78  |
| 5.2.2.2. Simbiotik .....                                                                                   | 79  |
| 5.2.3. Mikroba Pelarut Hara .....                                                                          | 80  |
| 5.2.3.1. Non-Simbiotik .....                                                                               | 80  |
| 5.2.3.2. Simbiotik .....                                                                                   | 80  |
| 5.2.4. Mikroba Pemantap Agregat .....                                                                      | 81  |
| 5.2.5. Produk Biofertilizer .....                                                                          | 82  |
| 5.2.5.1. Formulasi Produk .....                                                                            | 82  |
| 5.2.5.2. Teknologi Produksi Skala Pilot .....                                                              | 83  |
| 5.2.5.3. Ekonomi Produksi .....                                                                            | 85  |
| 5.2.5.4. Penilaian Peluang Pasar .....                                                                     | 86  |
| 5.2.6. Pengembangan Prototipe dan Teknologi Produksi Biofertilizer Pelarut Hara dan Pemantap Agregat ..... | 87  |
| 5.2.6.1. Persiapan Bahan Pembawa .....                                                                     | 89  |
| 5.2.6.2. Persiapan Inokulum .....                                                                          | 90  |
| 5.2.6.3. Granulasi .....                                                                                   | 93  |
| 5.2.6.4. Pengawasan Mutu .....                                                                             | 97  |
| 5.2.6.5. Percobaan Rumah Kaca .....                                                                        | 98  |
| 5.2.6.6. Kesimpulan .....                                                                                  | 109 |
| 5.2.7. Efektivitas Produk dan Produksi Biofertilizer Emas Skala Pilot dan Pra-Komersial .....              | 110 |

## **BAB 6. ADAPTASI LAPANG DAN TEKNOLOGI PRODUKSI PUPUK**

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>HAYATI EMAS .....</b>                                        | <b>112</b> |
| 6.1. Pengamatan Produksi .....                                  | 112        |
| 6.2. Produksi Biofertilizer Skala Pilot dan Pra-komersial ..... | 130        |
| 6.3. Pengawasan Mutu .....                                      | 132        |
| 6.4. Efisiensi Proses .....                                     | 133        |

## **BAB 7. KELAYAKAN PEMBANGUNAN PABRIK BIOFERTILIZER**

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| <b>EMAS .....</b>                                    | <b>138</b> |
| 7.1. Kerangka Pikir .....                            | 138        |
| 7.2. Pasar dan Strategi Pemasaran .....              | 139        |
| 7.3. Produksi dan Pembangunan Pabrik .....           | 142        |
| 7.3.1. Produksi .....                                | 142        |
| 7.3.2. Teknologi Proses dan Kapasitas Produksi ..... | 144        |
| 7.3.3. Pengawasan Mutu .....                         | 146        |
| 7.3.4. Efisiensi Proses .....                        | 146        |
| 7.3.5. Pembangunan Pabrik .....                      | 1505       |

|                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3.6. Aspek Finansial .....                                                        | 156 |
| 7.3.7. Manajemen dan Tenaga Kerja .....                                             | 160 |
| 7.3.8. Kesimpulan .....                                                             | 162 |
| 7.4. Pemasyarakatan Produk dan Perolehan Hak Paten Bio-fertilizer <i>Emas</i> ..... | 163 |
| 7.4.1. Promosi dan Penyebaran Informasi .....                                       | 163 |
| 7.4.2. Perlindungan Hak atas Kekayaan Intelektual (HaKI) ..                         | 164 |
| 7.4.3. Pendirian Pabrik .....                                                       | 164 |
| 7.4.4. Penutup .....                                                                | 165 |

## **BAB 8. TEKNOLOGI PUPUK HAYATI PENAMBAT NITROGEN DAN PELARUT FOSFAT .....**

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. Deskripsi Teknologi RhizoPlus .....                                                                                                      | 167 |
| 8.1.1. Alih Teknologi RhizoPlus di Lahan Petani .....                                                                                         | 167 |
| 8.1.2. Tekno-Ekonomi .....                                                                                                                    | 171 |
| 8.2. Teknologi RhiPhosant .....                                                                                                               | 172 |
| 8.3. Teknologi Mikoriza .....                                                                                                                 | 175 |
| 8.3.1. Arsitektur Akar Bibit Kelapa Sawit yang Diinokulasi Beberapa Cendawan Mikoriza Arbuskula .....                                         | 175 |
| 8.3.2. Aktivitas Fosfatase dan Produksi Asam Organik di Rhizosfer dan Hifosfer Bibit Kelapa Sawit Bermikoriza .....                           | 176 |
| 8.3.3. Penggunaan Spora Cendawan Mikoriza Arbuskula sebagai Inokulum untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Serapan Hara Bibit Kelapa Sawit ..... | 177 |
| 8.3.4. Masalah dan Solusi .....                                                                                                               | 177 |

## **BAB 9. TEKNO-EKONOMI DAN PROSPEKKOMERSIAL PUPUK HAYATI .....**

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1. Manfaat dan Prospek Pengembangan Industri Pupuk Hayati di Indonesia ..... | 178 |
| 9.2. Kinerja Ekonomis Biofertilizer <i>Emas</i> .....                          | 178 |
| 9.3. Penghematan Biaya Pemupukan pada Tanaman Tebu .....                       | 186 |
| 9.4. Efisiensi Pemupukan Tanaman Jagung dengan Biofertilizer <i>Emas</i> ..... | 191 |
| 9.5. Pupuk Hayati dan Manfaat Penggunaannya .....                              | 196 |
| 9.5.1. Pupuk Hayati (Biofertilizer) ..                                         | 196 |
| 9.5.2. Manfaat Penggunaan Pupuk Hayati .....                                   | 197 |
| 9.6. Prospek Pengembangan Industri Pupuk Hayati .....                          | 200 |

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>BAB 10. PENUTUP .....</b>                                                                   | <b>203</b> |
| 10.1. Efisiensi Pemupukan Berbasis Daya Dukung Tanah .....                                     | 203        |
| 10.2. Teknologi Pupuk Hayati sebagai Pilihan Strategis pada Per-<br>tanian Berkelanjutan ..... | 205        |
| <b>PUSTAKA .....</b>                                                                           | <b>207</b> |

## KATA PENGANTAR

Pertama kali penulis mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT atas karunia dan perkenannya sehingga buku ini berhasil penulis rampungkan dalam waktu yang tidak terlalu lama. Buku ini merupakan salah satu bagian dari bentuk sumbangan penulis kepada khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) di sektor pertanian, khususnya pada disiplin Ilmu Tanah, selama sekitar dua puluh lima tahun penulis menjalani profesi sebagai peneliti.

Bidang Mikrobiologi Tanah sebenarnya bukan bidang utama yang penulis tekuni selama studi dalam disiplin Ilmu Tanah. Namun, dalam perjalanan karir penelitian penulis, bidang ini menarik perhatian khususnya ketika perkembangan iptek di awal tahun 1980-an mulai menguak peran sinergis antara mineral liat dan mikroba tanah dalam hubungannya dengan kapasitas daya sangga kesuburan tanah. Faktor lain yang mendorong penulis menekuni bidang ini bersama para sejawat adalah adanya paradigma baru dalam pengelolaan tanah dan tanaman yang lebih menuntut pertimbangan kelestarian lingkungan. Aspek lingkungan yang terkait dengan aspek pemupukan adalah potensi pencemaran lingkungan akibat aplikasi pupuk kimia buatan yang terus-menerus dalam jumlah yang tinggi pada tanah-tanah di wilayah tropika basah yang secara umum dicirikan oleh kadar bahan organik rendah dan didominasi oleh mineral liat beraktivitas rendah.

Rendahnya bahan organik tanah akibat proses dekomposisi yang intensif dan sangat terbatasnya masukan organik dalam sistem budidaya modern pasca Revolusi Hijau mengakibatkan aktivitas mikroba tanah sangat minim. Untuk mikroba tanah, bahan organik merupakan sumber energi bagi kehidupannya. Secara sederhana masalah ini dapat diatasi dengan menambahkan input bahan organik ke dalam tanah. Namun, untuk menyediakan bahan organik dalam jumlah besar dan dengan mutu yang seragam tidaklah mudah. Di sisi lain, perkembangan riset di mikrobiologi terapan telah membuka peluang introduksi mikroba yang bermanfaat ke dalam tanah untuk memfasilitasi penyediaan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Formulasi inokulum mikroba kemudian menghasilkan produk yang dikenal dengan istilah *bio-fertilizers* atau pupuk hayati.

Berbagai aktivitas riset tentang pupuk hayati ini meningkat cukup pesat di awal tahun 1990-an seiring dengan menguatnya tuntutan terhadap pembatasan penggunaan pupuk kimia buatan dan makin mahal harganya akibat pengurangan dan/atau penghapusan subsidi oleh pemerintah. Hasil riset secara umum menunjukkan bahwa jika digunakan formulasi yang tepat dengan bahan aktif mikroba yang unggul, maka introduksi mikroba ke dalam tanah-tanah dengan kesuburan marginal tersebut cukup menjanjikan guna meningkatkan efisiensi pemupukan. Fenomena ini sudah cukup banyak diungkap dalam publikasi ilmiah berkala, namun masih sangat sedikit yang dituangkan di dalam buku sebagai acuan.

Buku ini didasarkan pada pengalaman penulis dalam melaksanakan penelitian sejak tahun 1991 tentang prospek penggunaan pupuk hayati dalam rangka mengurangi