

## **PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PROBIOTIK UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS TANAMAN HORTIKULTURA PADA LAHAN KERING LEMBAH PALU**

Abdul Rahim Thaha<sup>1)</sup>, Bahruddin<sup>1)</sup>, Dwi Sartika<sup>1)</sup>, St Sukmawati<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tadulako

<sup>2)</sup> Staf Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Univ. Tadulako

### **ABSTRAK**

Penggunaan teknologi konvensional berbasis bahan kimia sintetik untuk meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura pada lahan kering lembah palu dengan daya dukung lahan (carrying capacity) yang relatif rendah dalam jangka waktu tertentu akan menimbulkan masalah pencemaran lingkungan dan usahatani yang tidak efisien, namun di sisi lain penerapan system budidaya tanaman berkelanjutan juga tidak dapat sepenuhnya digantungkan pada system pertanian organik selama insentif ekonomi dari para konsumen masih belum memadai. Atas dasar analisis terhadap berbagai dampak penerapan teknologi konvensional dalam Revolusi Hijau dan tuntutan masyarakat terhadap produk pertanian yang sehat, maka teknologi produksi harus di arahkan ke praktek budidaya yang lebih bebas dari bahan kimia buatan yang dikenal dengan istilah probiotik. Fakta bahwa varietas baru dengan potensi produksi genetik tinggi, produktivitas dapat ditingkatkan secara nyata tidak dapat dipungkiri, sehingga melahirkan konsep intensifikasi. Dalam pelaksanaannya kemudian timbul anggapan atau persepsi bahwa kenaikan produktivitas tanaman adalah secara linear mengikuti jumlah pupuk kimia yang ditambahkan. Pemikiran ini secara tegas mengabaikan kapasitas daya dukung tanah sehingga ketika daya dukung terlewati, maka persoalan polusi lingkungan muncul dan inefisiensi usahatani terjadi. Agar dapat tetap mencapai tingkat produksi tanaman yang ekonomis dan tingkat pencemaran lingkungan yang tetap rendah, maka teknologi probiotik harus dikembangkan sebagai *kombinasi* dari teknologi konvensional berbasis bahan kimia yang digunakan secara terkendali sesuai daya dukung lahan dan teknologi berbasis organik yang lebih modern. Perpaduan kedua teknologi ini akan saling menguatkan dimana kekurangan teknologi organik dapat diperbaiki melalui penambahan bahan kimia secara terkendali. Rendahnya efisiensi pupuk kimia sintetik dalam system pertanian konvensional dapat ditingkatkan dengan menggunakan pupuk organik. Humus, persenyawaan polysacharida, asam-asam organik dan hara tanaman memberi kontribusi penting dalam meningkatkan daya dukung lahan. Dengan demikian dilemma tingkat produksi yang ekonomis dan praktek usaha tani yang ramah lingkungan dapat diatasi.

## PENDAHULUAN

Tanah atau dalam konteks hamparan disebut sebagai *lahan*, memiliki peranan yang amat penting dalam mendukung kehidupan dan penghidupan manusia. Sebagai sumber daya alam yang tidak terbarukan, genesis tanah dipengaruhi oleh kombinasi faktor-faktor pembentuk tanah seperti batuan induk, relief, organisme, iklim dan waktu geologi (Goenadi, 2006). Perbedaan intensitas faktor-faktor tersebut pada berbagai tempat yang berbeda mengakibatkan adanya variasi sifat dan ciri tanah yang besar pada tempat-tempat tersebut (Foth, 2015). Sifat dan ciri tanah inilah yang selanjutnya mempengaruhi daya dukung (*carrying capacity*) lahan tersebut. Dalam konteks ilmu pertanian, tanah sebagai produk proses geologi dibatasi oleh ketebalan sekitar dua meter atau kurang terletak di atas batuan induk. Sebagai produk proses geologi, terjadinya kerusakan pada tanah akan memerlukan waktu yang sangat lama untuk memperbaikinya ke tingkat semula apalagi ke tingkat yang lebih baik. Munculnya istilah lahan kritis tampaknya lebih banyak disebabkan oleh kelalaian atau keabaian manusia dalam mempertahankan produktivitasnya.

Indonesia sebagai wilayah tropika basah, kombinasi curah hujan dan suhu rata-rata yang tinggi dengan batuan induk yang umumnya bersifat masam menghasilkan jenis-jenis tanah dengan karakter spesifik. Keadaan tersebut sangat kondusif untuk berlangsungnya proses pelapukan secara intensif. Pelapukan yang intensif ini menghasilkan tanah-tanah yang bersifat masam, yang didominasi oleh mineral liat yang beraktivitas rendah, bahan organik rendah, potensi keracunan aluminium yang tinggi, defisiensi posfat dan hara makro lainnya serta kemungkinan terjadinya keracunan unsur hara mikro (Tan, 1997; Goenadi, 2006 ; Thaha, 2015; Thaha et al. 2021).

Salah satu aspek yang paling kritis dalam penggunaan dan pengelolaan lahan yang memiliki sifat dan ciri seperti diuraikan di atas adalah bagaimana meningkatkan kapasitas tanah dalam menghasilkan tanaman sebagai sumber bahan makanan serat dan kayu. Yang dimaksud kapasitas tanah tidak lain adalah produktivitas tanah yang merupakan fungsi dari semua faktor tumbuh tanaman diantaranya adalah cahaya matahari, temperature, air, udara, tunjangan mekanik, dan unsur hara esensial. Cahaya matahari, temperature, air dan udara adalah merupakan fungsi dari faktor iklim dimana manusia memiliki keterbatasan dalam mengendalikan faktor-faktor tersebut. Air dapat ditingkatkan ketersediaannya bagi tanaman melalui irigasi, tetapi luas lahan yang dapat memperoleh pasilitas irigasi jauh lebih kecil dibandingkan dengan luas lahan yang tidak beririgasi. Salah satu faktor tumbuh yang paling banyak dikendalikan oleh manusia adalah unsur hara esensial melalui pemupukan (Thaha et al., 2014)

Upaya meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah melalui penggunaan pupuk kimia sintetik untuk memperoleh hasil panen yang tinggi sejalan dengan dogma revolusi hijau, telah menimbulkan masalah ketidak efisienan dalam hal penggunaan pupuk dan adanya dampak buruk terhadap lingkungan sebagai akibat dari rendahnya daya dukung tanah. Keadaan ini diperburuk oleh pengelolaan sisa-sisa tanaman yang buruk pula setelah panen (Thaha *et al.*, 2018; Thaha *et al.*, 2019). Akibatnya, sebagian besar hara dari pupuk akan larut dalam air dan masuk ke dalam system lingkungan sekitarnya. Tahun 1990, Tanaka telah melaporkan bahwa kehilangan hara total ke lingkungan dalam suatu system pertanian di Jepang dapat mencapai 71%, 33% dan 52% masing-masing dalam bentuk N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dan K<sub>2</sub>O. Fakta-fakta seperti inilah yang dikleim oleh para pencinta lingkungan sebagai dampak negatif dari Revolusi hijau terhadap kelestarian lingkungan.

Untuk mengatasi masalah tersebut, penelitian harus diarahkan dan dikembangkan untuk tetap mengacu pada tingkat produktivitas yang ekonomis dengan kualitas hasil yang tetap terjaga, tetapi dengan penekanan yang lebih besar pada aspek kelestarian lingkungan.

Situasi ini sebenarnya telah dimulai sejak puluhan tahun yang lalu, dimulai dengan laporan temuan di bidang bioteknologi khususnya dalam aspek mikrobiologi terapan yang telah membawa wawasan baru untuk menciptakan teknologi yang ramah lingkungan (Goenadi, 1997). Agar dapat tetap mencapai tingkat produksi tanaman secara ekonomi dan tingkat pencemaran lingkungan yang relatif rendah, maka teknologi probiotik dikembangkan sebagai kombinasi dari teknologi konvensional berbasis kimia yang terkendali dengan teknologi tradisional berbasis organik (Goenadi, 1997; Thaha, 2015; Thaha *et al.*, 2018).

Rendahnya tingkat produksi pada teknologi organik ditingkatkan dengan aplikasi pupuk kimia sintetis secara terkendali. Di sisi lain, rendahnya efisiensi pupuk kimia sintetis ditingkatkan melalui peningkatan daya dukung tanah akibat bertambahnya kandungan humus tanah sehingga pencemaran bahan kimia pertanian sekaligus dapat dikendalikan.

**Tanah sebagai sumber kehidupan.** Lahan kering Lembah Palu termasuk areal persawahan yang sdh tidak fungsional lagi merupakan area pengembangan hortikultura di lembah Palu yang secara umum memiliki daya dukung yang relatif rendah, dicirikan oleh tekstur tanah kasar didominasi oleh fraksi pasir dan debu, kadar C-organik sangat rendah hingga rendah (0,79-1,58%), N-total sangat rendah hingga rendah (0,07-0,16%), reaksi tanah agak masam hingga agak alkalis (pH 6,3-7,9). Kadar hara lain bervariasi dari rendah hingga tinggi, Kejenuhan basa rendah hingga sedang (25,13-45,68%). Umumnya memiliki struktur yang relative belum berkembang hingga berkembang lemah. Peningkatan jumlah dan distribusi curah hujan tahunan yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir di lembah Palu dalam jangka waktu tertentu akan mempengaruhi perubahan karakteristik tanah tersebut. Dalam system klasifikasi tanah (Soil Taxonomy), lahan kering Lembah Palu termasuk sub group *Typic Udipsamment*, *Fluventic Eutrodept*, *Andic Dystrudept* dan *Typic Dystrudept* (Dinas Pertanian dan Kehutanan Kota Palu, 2006).

Tanah sering didefinisikan sebagai sebuah tubuh alami (*natural body*) dimana bahan mineral, bahan organik, air dan udara sebagai penyusun utamanya, bersifat dinamis akibat adanya aktivitas biologis (fauna dan flora) termasuk mikroba dan reaksi fisiko-kimia yang sangat dipengaruhi oleh suhu dan air. Merupakan tempat berjangkarnya akar tanaman sehingga mampu tumbuh tegak dan berkembang. Di dalam tanah pula, sebuah kerajaan dunia mikro yang kompleks dapat ditemukan. Aktivitas akar tanaman baik secara fisik maupun secara kimia mampu mentransformasi batuan induk menjadi bahan induk (Picard *et al.*, 2008; Mahmud *et al.*, 20210). Dengan bantuan air dan oksigen, proses fisiko-kimia berlangsung, misalnya transformasi partikel batuan menjadi partikel penyusun tanah seperti pasir (0,05-2,0 mm), debu (0,05-0,002 mm) dan liat (< 0,002 mm). Partikel-partikel ini kemudian diikat oleh senyawa organik (terutama polysakarida) atau kation logam dan/atau hasil aktivitas mikroba tanah membentuk agregat primer dan sekunder. Agregasi tanah ini memungkinkan terbentuknya pori-pori tanah yang berfungsi sebagai saluran air dan udara dalam tanah (Lynch dan Braggs, 1985).

Transformasi partikel tanah pada sisi yang lain akan memutuskan ikatan-ikatan senyawa primer dan melepaskan unsur-unsur penyusunnya ke dalam larutan tanah untuk seterusnya mengalami resintesis membentuk senyawa baru yang lebih resisten terhadap pelapukan. Dari proses ini pula pelepasan unsur hara berlangsung dan menjadi sumber nutrisi bagi seluruh kehidupan di dalam dan/atau dipermukaan tanah. Unsur hara utama yang dilepaskan adalah kation-kation basa (Ca, Mg, K dan Na) dan fosfat (P). Di wilayah tropis seperti Indonesia dengan curah hujan dan suhu yang tinggi, menyebabkan proses pelapukan berlangsung sangat intensif yang mengakibatkan kehilangan unsur hara melalui

pencucian air hujan dapat terjadi secara signifikan (Irvin *et al.* 2011; Mahmud *et al.*, 2021). Aktifitas mikroba dalam suatu profil tanah sangat ditentukan oleh ketersediaan bahan organik sebagai sumber energi dan unsur hara anorganik. Disamping itu, aktivitas mikroba tanah juga ditentukan oleh sifat fisik dan kimia tanah lainnya, namun diantara faktor-faktor tersebut, struktur tanah merupakan faktor yang paling erat hubungannya dengan aktivitas mikroba tanah (Mahapatra, Satapathy dan Panda, 2022).

Struktur terkecil partikel tanah dibentuk oleh hifa fungi, polisakarida, dan asam-asam organik yang berfungsi sebagai bahan pengikat partikel liat (Tan, 1986). Sistem ikatan ini menentukan stabilitas agregat tanah dan selanjutnya akan mempengaruhi daya tahan tanah terhadap erosi. Ikatan yang kuat ini akan menghasilkan agregat yang mantap, sehingga tahan terhadap pukulan air hujan dan limpasan aliran permukaan (run off). Hal ini penting untuk mendapat perhatian karena Indonesia merupakan negara dengan topografi yang bergunung-gunung dengan curah hujan yang tinggi. Dengan demikian, tanah yang lebih tahan terhadap erosi akan memiliki tingkat penurunan kesuburan/produktivitas yang lebih lambat (Tan, 1986; Goenadi, 2006).

**Implementasi dan Dampak Revolusi Hijau.** Sebagai pencetus konsep revolusi hijau, *Ernest Borlough* dari Amerika Serikat memulai kegiatannya sebagai suatu terobosan untuk memacu produksi gandum di Mexico melalui pengembangan varietas baru pada tahun 1940 yang kemudian dengan kerja besar bersama timnya menghasilkan sebuah revolusi di sektor pertanian yang dikenal dengan **Revolusi Hijau** pada awal tahun 1950-an. Mitos utama dalam konsep ini adalah bahwa benih-benih ajaib yang dihasilkan meningkatkan produksi bahan makanan pokok sehingga menjadi kunci utama dalam mengahiri masalah kelaparan penduduk dunia. Hasilnya dipetik dua puluh tahun kemudian, tidak hanya di Mexico, tetapi juga di India, Pakistan diikuti oleh China dan bahkan menyebar ke seluruh dunia. Konsep ini mencakup penggunaan varietas unggul baru, penggunaan irigasi, penggunaan pupuk kimia sintetik, pengendalian hama dan penyakit dengan pestisida/fungisida dan penerapan mekanisasi pertanian. Oleh karena keberhasilannya yang mendunia, *Dr. Norman Ernest Borlaugh* memperoleh *hadiah Nobel Perdamaian* pada tahun 1970.

Konsep ini dilandasi oleh suatu situasi yang dikendalikan oleh cara berfikir penganut *Tomas Robert Maltus*, dimana antisipasi terhadap kebutuhan pangan akibat lonjakan populasi penduduk dunia mendorong para ilmuwan mencari jalan keluar untuk menciptakan teknologi guna meningkatkan produktivitas lahan pertanian. Melalui teknologi ini diharapkan dunia akan cukup menyediakan pangan dan penduduk dunia terhindar dari kemungkinan terjadinya kelaparan. Namun dalam perkembangannya, paling sedikit empat hal yang tidak diperhitungkan oleh pencetus konsep ini diantaranya adalah terjadinya lonjakan harga bahan bakar minyak, bahan kimia, terciptanya ketergantungan petani akan produk-produk tersebut serta rendahnya daya dukung lahan khususnya di daerah tropis seperti Indonesia (Goenadi, 2006; Thaha, 2015). Akibatnya, tidak saja masalah tekno-ekonomi dipersoalkan, tetapi juga masalah ekologi/lingkungan, kesehatan makanan dan keamanan pangan.

Fakta bahwa varietas baru dengan potensi produksi genetik yang tinggi, produktivitas bisa ditingkatkan secara nyata tidak dapat dipungkiri, sehingga melahirkan konsep *intensifikasi*. Di lahan yang lebih sempit, tetapi intensip pengelolaannya, akan diperoleh hasil yang lebih tinggi dibandingkan sebelumnya. Dalam pelaksanaannya kemudian, timbul anggapan/persepsi bahwa kenaikan produktivitas tanaman adalah secara linear mengikuti jumlah pupuk kimia yang ditambahkan. Pemikiran ini secara tegas mengabaikan kapasitas daya dukung tanah, sehingga ketika daya tampungnya terlewati, maka persoalan polusi lingkungan muncul dan inefisiensi usaha tani terjadi.

**Teknologi Pro-biotik.** Istilah pro-biotik pertama kali digunakan di bidang industry pertanian. Dalam perkembangan lebih lanjut, istilah ini digunakan dalam bidang pengelolaan limbah industry pemberishan lingkungan di negara-negara maju. Dengan ditemukannya mikroba yang dapat mendegradasi senyawa beracun, istilah *bioremediasi* menjadi populer dalam pengelolaan limbah industry. Selanjutnya muncul istilah *bioremediasi pro-biotik* yang dapat didefinisikan sebagai penggunaan senyawa dan kompleks organik yang bermanfaat bersama-sama dengan mikroorganisme dan faktor-faktor lingkungan yang mendukung (Anonim, 1997).

Sesungguhnya seara tradisional, teknologi pro-biotik sudah sejak lama dikenal oleh sebagian besar masyarakat Indonesia, khususnya yang bergerak dibidang pengolahan hasil pertanian misalnya proses pembuatan tempe dan tape. Dengan semakin berkembangnya ilmu dan teknologi di bidang biologi, teknologi konvensional di bidang pertanian, peternakan, kedokteran dan industry diwarnai oleh manipulasi agensia biologi melalui penerapan teknik modern yang dicirikan oleh (i) tampak sederhana walaupun sebenarnya rumit, dan (ii) bersifat terkendali. Kedua hal tersebut penting sebagai jaminan bagi produk pro-biotik untuk dapat diterima oleh pasar dan layak untuk diproduksi oleh pihak industry (Dutta dan Bora, 2019; Hanafi et al., 2022; Hossain et al., 2017).

Dalam bidang pertanian, penggunaan teknologi ini dimulai setelah banyak bukti yang menunjukkan adanya dampak negatif akibat penggunaan bahan agrokimia untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian dan/atau potensi akumulasi senyawa karsinogenik dalam produk tanaman yang dikonsumsi oleh manusia. Masalah yang diakibatkan oleh system pertanian berbasis bahan kimia buatan ini berlawanan dengan yang ditawarkan oleh system pertanian organik. Berdasarkan fakta yang ada, produktivitas tanaman yang diperoleh dari system organik hampir selamanya lebih rendah dari system pertanian konvensional. Selain itu, insentif ekonomis yang diberikan oleh konsumen terhadap produk organik hingga saat ini belum memadai. Meskipun telah didirikan organisasi Masyarakat Pertanian Organik Indonesia (Maporina) perlu dicermati sebagai salah satu upaya dari kesadaran untuk memberikan nilai lebih bagi produk-produk organik.

Dengan banyaknya kasus tentang eksekusi penerapan teknologi kimia seperti kematian musuh alami, residu logam berat, bahan aktif pestisida, pencemaran air tanah dan bahkan kematian petani akibat keracunan pestisida, maka tuntutan terhadap kehadiran teknologi yang dapat menghasilkan produk bernilai ekonomi tinggi, sehat dan ramah lingkungan semakin kuat. Aspek penelitian yang memperoleh banyak perhatian hingga saat ini adalah pemanfaatan mikroba untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan ternak (Yanhui et al., 2015; Thaha et al., 2020; Zheng et al., 2022).

Beberapa hasil penelitian telah dihasilkan namun belum diproduksi secara massal, diantaranya adalah i) **Biopestisida:** Dikembangkan dengan sasaran untuk mendukung pengendalian hama dan penyakit terpadu. Contoh: NPV (*Nuclear Polyhidrosis Virus*) untuk *spodoptera* pada kedelai, strain Bt untuk penggerek batang jagung, penggerek polong kedelai dan penggerek buah kakao, fungi *Hirsutella citriformi* untuk hama batang kakao, *Beauveria bassiana* untuk *Helopeltis antonii* pada buah kakao, kopi, dan teh, dan *Trichoderma* untuk melindungi buah kakao dari penyakit busuk buah (Onwe et al., 2022). ii) **Biofertilizer:** Produk pro-biotik ini dikembangkan dengan sasaran untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk kimia. Contoh adalah Mikroba penambat N (*Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azola*, *Azotobacter*), bakteri pelarut fosfat, mikoriza dan bakteri penghasil asam sulfat (*Thiobasillus*). iii) (Astuti et al., 2020; Bahruddin et al., 2019). (**Biokonversi:** Yang dimaksud biokonversi dalam tulisan ini menyangkut biodekomposisi dan bioaktivasi. Berbeda dengan *pengomposan konvensional*, teknologi pengomposan yang baru atau disebut *biokonversi aerobik*, mengendalikan proses biodekomposisi tersebut melalui

penggunaan bioaktivator (biodekomposer) dan manipulasi ukuran partikel bahan baku. Dengan teknologi pengomposan bioaktif, proses produksi kompos dapat dilaksanakan selama 14 hari dengan mutu kompos memenuhi syarat sebagai pupuk organik. Contoh bioaktivator adalah *Trichoderma* untuk pelapuk Jerami, kulit buah kakao dan tandan kosong kelapa sawit (Thaha *et al.*, 2020), dan untuk meningkatkan daya cerna pakan ternak, serat atau karbohidrat dan protein, serta produksi enzim. iv) **Peternakan /Perikanan:** Manipulasi mikroba dalam perut ternak untuk meningkatkan efisiensi pakan dan (El-Jeni, *et al.*, 2021; El-Saadony *et al.*, 2021).

**Perpaduan Teknologi yang Saling Menguatkan.** Pengembangan pertanian khususnya pangan memerlukan disiplin yang tinggi guna menekan tingkat penurunan kapasitas daya dukung tanah terhadap produktivitas tanaman. Pertanian organik tradisional perlu dikembangkan melalui konsep pertanian probiotik yang lebih modern, suatu produk yang dihasilkan melalui proses biokonversi aerobik (Goenadi, 1997) dan produk biopestisida untuk mengendalikan hama dan penyakit tanaman (Sadeghi *et al.* 2022) pada satu sisi dan pada sisi lain pertanian konvensional yang berbasis pupuk kimia sintetiknya dapat digunakan bersama-sama menjadi satu kesatuan teknologi yang saling menguatkan. Kekurangan teknologi organik dapat diperbaiki atau ditingkatkan dengan penggunaan teknologi konvensional melalui penambahan pupuk kimia sintetis secara terbatas untuk mensubsitisi kekurangan yang dapat disuplai melalui pupuk organik. Rendahnya efisiensi pupuk kimia sintetis dalam sistem pertanian konvensional dapat ditingkatkan melalui penggunaan pupuk organik (biofertilizer). Penggunaan pupuk organik selain sebagai sumber hara tanaman dan sumber energi bagi mikroba yang bersifat heterotropik, juga menghasilkan *humus*. *Humus* merupakan senyawa kompleks yang terbentuk melalui proses resintesis pada fase akhir dekomposisi bahan organik dengan berat molekul relatif tinggi, berwarna kuning hingga coklat atau kehitaman, dan resisten terhadap pelapukan. Tersusun oleh tiga komponen utama yakni asam humat, asam fulvik dan humin, memiliki muatan listrik negatif pada permukaannya ( $\text{pH} > 4$ ) yang berasal dari ionisasi gugus fungsional (karboksilat, phenol, dan amine) sehingga dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam meretensi kation (Tan, 1997; Schnitzer, 1997 ; Hayes dan Himes, 1997) yang sekaligus juga berarti meningkatkan daya dukung tanah. Pada pH tanah yang sangat rendah ( $\text{pH}$  tanah  $< 3$ ) , permukaan humus berubah muatan menjadi positif sehingga meningkatkan kapasitas tukar anion tanah.

Hal ini kecil kemungkinannya terjadi pada tanah-tanah mineral di Indonesia karena penambahan pupuk organik sesaat setelah mengalami mineralisasi akan meningkatkan pH tanah. Dalam hal ini asam-asam organik yang terbentuk akan membentuk kompleks dengan logam (metal coordination compound), dimana ion logam akan bertindak sebagai penerima pasangan elektron (electron pair acceptor), sedangkan ligan adalah pemberi pasangan elektron (electron pair donor). Selanjutnya ion logam bertindak sebagai ion pusat, sedangkan asam-asam organik dikoordinasikan disekelilingnya. Akibatnya reaksi hidrolisis logam, khusus Al yang merupakan penghasil utama ion H yang menyebabkan tanah bereaksi masam dapat dikendalikan yang menyebabkan pH tanah meningkat kearah kisaran yang lebih baik.

## PENUTUP

Ketergantungan petani pada input agrokimia sintetis telah banyak terbukti menjadi bomerang dalam pembangunan pertanian berkelanjutan, namun pada kenyataannya teknologi konvensional yang berbasis bahan agrokimia sintetis ini masih menjadi pilihan utama petani di Indonesia karena respon tanaman lebih cepat terlihat dan lebih praktis dalam

penggunaannya. Alternatif teknologi yang telah tersedia sudah banyak, tetapi belum banyak dimanfaatkan dalam mendukung tujuan tersebut. Penerapan system pertanian berkelanjutan tidak dapat sepenuhnya digantungkan pada system pertanian organik selama insentif ekonomis dari para konsumen masih belum memadai, laju pertumbuhan penduduk masih tinggi dan konversi lahan pertanian ke penggunaan lain belum terkendali. Untuk memecahkan persoalan rendahnya produktivitas lahan pertanian di Indonesia dan mengurangi ketergantungan petani terhadap produk kimia sintetik, pendekatan probiotik yang merupakan kombinasi teknologi konvensional berbasis bahan kimia sintetik dengan pertanian organik adalah merupakan jalan tengah. Melalui penerapan teknologi ini, dilemma tingkat produksi yang ekonomis dan praktek usaha tani yang ramah lingkungan dapat diatasi.

## REFERENSI

- Anonim, 1997. Vieffect, Product Promotion Brochure. The Netherlands.
- Anosike, F, C. Onyemah, K, O. Ossai, C, U. Ofoegbu, J, N, G. Okpaga, F, O. Ikpeama, C, C. Nkwegu, F, M. Nwankwo, S, C. Onyeji, G, N. Inyang, P. Ndifon, E, M. Emeka, C, P, P. 2022. Probiotic Potential and Viability of Bacteria in Fermented African Oil Bean Seed (*Pentaclethra Macropyhlla*). Applied Food Research. Vol 2. Elsevier.
- Astutui, Y., Umrah dan A. R. Thaha, 2020. Pengamatan Pertumbuhan Tanaman Bayam (*Amaranthus tricolor* L.) Pasca Aplikasi Biofertilizer (Bahan aktif *Aspergillus* sp.) Sediaan Cair, pp 199-209.
- Bahrudin, Muhammad-Ansar dan Abdul Rahim Thaha. 2019. Pengaruh Berbagai Dosis Bokashi dan Biourin terhdap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah Varietas Lembah Palu. Prosiding Seminar Nasional PERHORTI, Banjarmasin, 21-22 Agustus 2019, Universitas Lambung Mangkurat.
- Cano-Lozano, J, A. Diaz, L, M, V. Bolivar, J, F, M. Hume, M, E. Pardo, R, Y, R. 2022. Probiotics in Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) Culture: Potential Probiotic *Lactococcus Lactis*
- Dinas Pertanian dan Kehutanan Kota Palu, 2006. Pemetaan Komoditas Unggulan Bawang Merah. Subdin Hortikultura Dinas Pertanian Kota Palu Bekerjasama dengan BPPT dan Balai Besar Penelitian Tanah Bogor.
- Dutta, J, Bora, U. 2019 Chapter 18 – Rhizosphere Microbiome and Plant Probiotics. New and Future Development in Microbial Biotechnology and Bioengineering. p 273 – 281. Elsevier
- El-Jeni, R. Dittoe, D, K. Olson E, G. Lourenco, J. Cocionivoschi, N. Ricke, S, C. Callaway, T, R. 2021. Probiotics and Potential Applications for Alternative Poultry Production Systems. Poultry Science. Vol 100. Elsevier
- El-Saadony, M, T. Alagawany, M. Patra, A, K. Kar, I. Tiwari, R. Dawood, M, A, O. Dhama, K. Abdel-Latif, H, M, R. 2021. The Functionality of Probiotics in Aquaculture. Fish & Shellfish Immunology. Vol 117. Elsevier.

- Goenadi, D. H. 2004. Pengelolaan Tanah sebagai Asset Sumber Daya Alam Tak Terbarukan melalui Pendekatan Probiotik. *Dalam* Jusuf Susanto (Ed.) Revitalisasi Pertanian dan Dialog Peradaban. Hal 271-289.
- Hanafi, F, N, A. Kamaruding, N, A. Shaharuddin, S. 2022 Influence of Coconut Residue Dietary Fiber on Physicochemical, Probiotix (*Lactobacillus Plantarum* ATCC 8014) Survivability and sensory attributes of probiotic Ice Cream. *LWT*. Vol 154. Elsevier.
- Hayes, M. H. B. dan F.L. Himes. 1997. Sifat dan Ciri Kompleks Humus Mineral. *Dalam* PM. Huang, F.J. Stevenson, H.L Bohn, G. Stotzky dan R. D. Harter (eds.). Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba. Gajah Mada University Press. Hal. 157-228.
- Hossain, I, M. Sadekuzzaman, M. Doha S. 2017. *Probiotics as Potential Alternative Biocontrol Agents in the Agriculture and Food Industries*. *Food Research International*. Vol. 100 p 63-73. Elsevier.
- Irvine, S, L. Hummelen, R. Hekmat, S. 2011. Probiotic Yoghurt Consumption may Improve Gastrointestinal Symptoms, Productivity, and Nutritional intake of People Living with Human Immunodeficiency Virus in Mwanza, Tanzania. *Nutrition Research* Vol 31. p 875-881. Elsevier.
- Lynch, J. M. and E. E. Braggs. 1985. Microorganism and Soil Aggregate Stability. *Adv. Soil Sci*.
- Mahmud, A, A. Upadhyay, S, K. Srivastava, A, K. Bhojiya, A, A. 2021. Biofertilizers: A Nexus between Soil Fertility and Crop Productivity Under Abiotic Stress. *Current Research in Environmental*. Vol 3. Elsevier
- Mahapatra, D, M. Satapathy, C, K. Panda, B. 2022. Biofertilizers and Nanofertilizers for Sustainable Agriculture: Phycoprosects and Challenges. *Science of Total Environment*. Vol 803. Elsevier
- Mudgil, P. Aldhaeri, F. Hamdi, M. Punia, S. Maqsood, S. 2022. Fortification of *Chami* (*Traditional Soft Cheese*) with Probiotic-loaded Protein and Starch Microparticles: Characterization Bioactive Properties, and Storage Stability. *LWT*. Vol 158. Elsevier
- Onwe, R, O. Onwosi, C, O. Ezugworie F, N. Ekwealor C, C. Okonkwo, C, C. 2022. Microbial Trehalose Boost the Ecological Fitness of Biocontrol Agents, the Viability of Probiotics during Long-term Storage and Plants Tolerance to Environmental-driven abiotics stress. *Science of the Total Environment*. Vol 806. Elsevier.
- Picard, C. Baruffa, E. Bosco, M. 2008. Enrichment and Diversity of Plant-Probiotic Microorganisms in the Rhizosphere of hybrid maize during four growth cycles. *Soil Biology and Biochemistry*. Vol 40. P 106-115. Elsevier.
- Sadeghi, M. Panahi, B. Mazlumi, A. Hejazi, M, A. and Nami Y. 2022. Screening of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria with Antimicrobial Properties and Selection

- of Superior Bacteria for Application as Biocontrol Using Machine Learning Models. *LWT. Vol 162. Elsevier*
- Schnitzer, M. 1986. Pengikatan Bahan Humat oleh Koloid Mineral Tanah. *Dalam* PM. Huang, F.J. Stevenson, H.L Bohn, G. Stotzky dan R. D. Harter (eds.). *Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba*. Gajah Mada University Press. Hal. 119-153.
- Shruthi, B. Somashekaraiah, R. Adithi, G. Divyashree, S. 2022. *Eksplorasi Biotechnological and Function Characteristics of Probiotic Yeasts*. *Biotechnology Report. Vol 34. Elsevier*.
- Srednicka, P. Kubiak, E, J. Wocjicki, M. Akimowicz, M. Roszko, M, L. 2021. Probiotics a Biological Detoxification Tool of Food Chemical Contamination. *Food and Chemical Toxicology. Vol 153. Elsevier*.
- Samoraj, M. Mironiuk, M. Witek-Krowiak, A. Izydorczyk, G. Skrzypczak, D. Mikula, K. Basladyńska, S. Moustakas, K. Chojnacka, K. 2022. Biochar in Environmental Friendly Fertilizers – Prospects of Development Products and Technologies. *Chemosphere. Vol 296. Elsevier*
- Snigdha, S. Jishma, P. Nandakumar, K. Syal, V, P. Thomas, S. Radhakrishnan, E, K. 2021. Laponite Nanoclay Gel Based Microenvironment for Plant Probiotic Rhizobacterial Delivery. *Rhizosphere. Vol 18. Elsevier*.
- Tan, K. H. Degradasi Mineral Tanah oleh Asam Organik. *Dalam* PM. Huang, F.J. Stevenson, H.L Bohn, G. Stotzky dan R. D. Harter (eds.). *Interaksi Mineral Tanah dengan Organik Alami dan Mikroba*. Gajah Mada University Press. Hal. 1-36.
- Thaha, A. R., S. Baja dan M. Mustafa, 2014. Produktivitas, Kualitas dan Potensi Pengembangan Agroindustri Bawang Merah Varietas Lembah Palu. *Prosiding Seminar Nasional FKPTPI (ISBN 978-602-8824-63-7) Di Ruang Media Center Universitas Tadulako, Palu*.
- Thaha, A. R. 2015. Sistem Pertanian Probiotik Sebagai Jalan Tengah Menuju Pertanian Berkelanjutan. *Makalah dalam Seminar Nasional Pertanian Organik, Diselenggarakan Oleh Fakultas Pertanian Universitas Tadulako*.
- Thaha, A. R. Damayanti, Asrul dan Umrah. 2020. Pertumbuhan *Aspergillus sp.* pada Media Limbah Cair Tempe dan Air Kelapa. *J. Agroland Vol. ( )*
- Thaha, A.R., Umrah dan Asrul, 2018. The Exploration of Rhizosphere Fungus Cacao Using Potato Sucrose Soil as Formulation Media. *International Seminar on Science and Technology (ISST-1). ISST064. Faculty of Mathematics and Natural Science, Tadulako University*.
- Thaha, A. R., Asrul, Halmia dan Umrah. 2020. The Biofertilizer Formulation from Coconut Fiber Waste and Oyster Mushroom Waste as Basic Substrate, the Active Agent of *Aspergillus sp.* *International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 29 (5)pp 8601-8610*.

- Thaha, A. R., A. Chalik dan A. Salewang. Pengaruh Waktu Aplikasi Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Bawang Merah Varietas Lembah Palu. Belum dipublikasi.
- Thaha, A. R., S. Baja, M. Mustafa dan B. Ibrahim. 2012. Daya adaptasi dan potensi hasil bawang merah varietas Lembah Palu. <http://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files>. (03/03/2012).
- Thaha, A. R., Umrah, Asrul, Abdul Rahim, Fajrah and Nurzakia. 2020. The Role of Local Isolates of *Trichoderma sp.* as a Decomposer in the Substrate of Cacao Pod Rind (*Theobroma cacao* L.) AIMS Agriculture and Food,
- Yanhui He, Wu, S. Tu, L. Han, Y. Zhang, G. Li Chun. 2015. Encapsulation and Characterization of Slow-Release Microbial Fertiliser from the Composites of Bentonite and Alginate. Applied Clay Science. Vol 109-110. Elsevier.
- Zheng, L. Xin Ma, Lang, D. Zhang, X. Zhou, L. Wang, L. Zhang, X. 2022. Encapsulation of *Bacillus Pumilus* G5 from Polyvinyl Alcohol-Sodium Alginate (PVA-SA) and its Implications in Improving Plant Growth and Soil Fertility under Drought and Salt Soil Conditions. International Journal of Biological Macromolecules. Vol 209. Elsevier.