

Rekayasa Ekologi dalam Perspektif Pengelolaan Tanaman Padi Terpadu

Ecological Engineering on Integrated Crop Management Perspective

Baehaki S.E, Nugraha Budi Eka Irianto, dan Surachmad W. Widodo

*Pupuk Indonesia Holding Company
Jl. Kemanggisan, Jakarta, Indonesia
E-mail: baehakise@yahoo.co.id*

Naskah diterima 14 Oktober 2015, direvisi 1 Maret 2016, dan disetujui diterbitkan 15 April 2016

ABSTRACT

Ecological engineering is a form of ecological services for the agro-ecosystem restoration in order the whole control factors work naturally, toward to sustainable of life. Ecological engineering in integrated crop management (ICM) provides ecological services to empowering rice varieties, nutrition, irrigation, pest, and weed control. Integrated varieties management is a form of ecological services to improve the ecological stability of genotypes biodiversity through the assembly of resistant varieties that equipped with a functional character to be applied as a mosaic varieties. Integrated nutrition management is a form of ecological services to improve the performance of the phosphate solubilizing bacteria (PSB), potassium solubilizing bacteria (KSB), and sulfur oxidizing bacteria in an organic fertilizer as a mediator and the basic material of inorganic fertilizer as a starter. Integrated pest management is a form of ecological services through dynamics interactive between plant-pest-natural enemies based SIPALAPA, ROPALAPA, enrichment parasitoids and predators, plant traps and light traps. The use of light traps to determine the economic threshold, control strategies, and help the natural enemies when it works exceed the limits. Integrated water management to provide services in the regulation of water directly or regulation of relative humidity and temperature indirectly in providing a suitable environment for natural enemies and soil microbes. Integrated pest management uses selective insecticides to the area of target pests to serve the natural enemies that work over load.

Keywords: Ecological engineering, ICM, agro-ecosystem services, restoration.

ABSTRAK

Rekayasa ekologi merupakan bentuk pelayanan ekologi untuk restorasi agroekosistem supaya seluruh faktor kendali mampu bekerja secara alami, menuju kehidupan yang berkelanjutan. Rekayasa ekologi dalam pengelolaan tanaman terpadu (PTT) memberikan pelayanan ekologi dengan memberdayakan varietas padi, nutrisi, irigasi, pengendalian hama, dan gulma. Pengelolaan varietas terpadu adalah bentuk pelayanan ekologi untuk meningkatkan stabilitas biodiversitas genotipe melalui perakitan varietas tahan yang dilengkapi dengan karakter fungsional yang diaplikasikan sebagai pertanaman mosaik varietas. Pengelolaan nutrisi tanaman terpadu adalah bentuk pelayanan ekologi untuk meningkatkan kinerja bakteri pelarut fosfat, bakteri pelarut kalium, bakteri pelarut sulfur dalam bahan organik sebagai mediator serta bahan dasar pupuk anorganik sebagai starter. Pengelolaan hama terpadu adalah bentuk pelayanan ekologi melalui dinamika-interaktif antara tanaman-hama-musuh alami berdasar SIPALAPA, ROPALAPA, pengkayaan parasitoid dan predator, tanaman perangkap dan lampu perangkap. Penggunaan lampu perangkap untuk penentuan ambang ekonomi, strategi pengendalian, dan membantu musuh alami saat kerjanya melebihi batas kemampuan. Pengelolaan air terpadu memberi pelayanan dalam pengaturan air secara langsung atau pengaturan kelembaban relatif dan suhu secara tidak langsung dalam penyediaan lingkungan yang cocok bagi musuh alami dan mikroba tanah. Pengelolaan pestisida terpadu menggunakan insektisida selektif pada daerah target serangan hama untuk melayani musuh alami yang bekerja melebihi beban.

Kata kunci: Rekayasa ekologi, PTT, pelayanan agroekosistem, restorasi.

PENDAHULUAN

Umur bumi terus berjalan, semakin tua semakin sulit di alam bebas mendengar keindahan beragam suara burung berkicau, jarang sekali mendengar aneka ragam suara katak, dan hampir tidak terdengar dering melengking suara serangga yang saling bersahutan. Musuh alami berupa parasitoid dan predator makin terbatas yang menyebabkan kesetimbangan biologi musuh alami dan hama makin terganggu. Keseimbangan biologi akibat ketidakmampuan musuh alami mengikuti perkembangan hama yang menimbulkan berbagai ledakan pada tanaman budidaya. Di sisi lain keadaan tanah mengalami penyusutan sumber hara yang tidak perlu terjadi, karena di dalam tanah tersedia milyaran mikroba yang melayani menyediakan hara secara alami. Kualitas air pengairan menurun, membawa partikel-partikel yang sulit diterima oleh tanaman. Demikian juga penggunaan pestisida yang berlebihan mengakibatkan ekosistem yang tidak sehat dan tidak berkelanjutan. Situasi agroekosistem yang demikian dipandang sebagai sistem yang telah rusak yang perlu dibangun lagi dengan jalan restorasi (*restore agro-ecosystem*) supaya layanan ekosistem (*ecosystem services*) berjalan secara alami.

Agroekosistem memproduksi berbagai layanan ekosistem untuk pertanian sangat besar, seperti pengaturan tanah dan kualitas air, penambatan karbon, dukungan untuk keanekaragaman hayati dan pelayanan budidaya. Praktek pengelolaan pertanian bisa menjadi sumber berbagai kegagalan layanan (*disservices*) yang menyebabkan hilangnya habitat satwa liar, hilangnya nutrisi, sedimentasi sungai, emisi gas rumah kaca, dan keracunan pestisida terhadap manusia dan spesies bukan sasaran (Power 2010). Hasil tangkapan jaring (*sweep net*) pada 2013 di pesawahan Jalur Pantura menunjukkan bahwa dua hama padi yaitu *Thaia oryzicola* dan wereng loreng (*Recilia dorsalis*) tidak ditemukan. Hilangnya dua hama tersebut dari rantai makanan (food chain) sejak tahun 2002 akan mengurangi biodiversitas serangga hama, mengakibatkan dominasi oleh beberapa hama akan menimbulkan ledakan berkelanjutan. Di lain pihak hama wereng cokelat, wereng punggung putih, wereng hijau, penggerek padi, ulat grayak, pelipat daun, lembing batu, dan walang sangit masih banyak terjaring.

Dalam merespon hal tersebut diatas diperlukan usaha restorasi agroekosistem melalui rekayasa ekologi (RE= *Ecological Engineering*). RE, didefinisikan sebagai desain ekosistem yang berkelanjutan yang mengintegrasikan kegiatan masyarakat manusia dengan lingkungan alam untuk kepentingan keduanya (Mitsch 2012). Tujuan dari RE adalah untuk keuntungan bersama bagi manusia dan bagi alam. RE bersifat membangun, memperkuat dan memulihkan layanan ekosistem untuk pengelolaan alam berkelanjutan.

Pelayanan ekosistem dari pengelolaan tanaman terpadu (PTT) merupakan tombol pengaktif sistem ekologi dalam produksi komoditas budidaya bagi manusia dan restorasi agroekosistem. PTT yang dibangun oleh teknologi berbagai disiplin keahlian dapat mempercepat proses restorasi agroekosistem pertanian, kehutanan, dan perairan. Sumbangan setiap teknologi dari disiplin tertentu terhadap PTT akan berbeda satu sama lainnya. Ahli proteksi tanaman akan menghasilkan pengendalian hama terpadu (PHT) yang bertujuan pencapaian kesetimbangan biologi hama-musuh alami supaya ada dibawah ambang ekonomi. Ahli agronomi akan menghasilkan pengelolaan nutrisi tanaman terpadu (PNT), bertujuan menghasilkan budidaya sehat dengan suplemen yang dirakitnya serta identifikasi nutrisi mayor dan minor. Ahli pemuliaan akan menghasilkan pengelolaan varietas terpadu (PVT), bertujuan menghasilkan varietas tahan hama, produksi tinggi, dan berkualitas. Ahli tata guna air akan menghasilkan pengelolaan air terpadu (PAT), bertujuan untuk menghasilkan teknologi hemat air. Ahli gulma akan menghasilkan pengendalian gulma terpadu (PGT), bertujuan untuk menekan persaingan padi-gulma (Baehaki 2009). Di samping itu perlu dikembangkan pengelolaan pestisida terpadu (PPT), bahkan PTT memerlukan sosial ekonomi dan pasca panen. PTT mengkombinasikan semua teknologi pertanian modern bertujuan untuk menghasilkan produksi tanaman dengan kuantitas dan kualitas yang diperlukan, dilain pihak sistim pertanian terpadu (*integrated farming system*) bertujuan produksi bahan nabati dan daging dengan proses *zero waste* untuk mencapai sistem pertanian berkelanjutan (Baehaki *et al.* 2013)

RE tidak hanya untuk produksi komoditas saja, tetapi RE dapat digunakan untuk restorasi alam (sungai, hutan, lautan). RE telah dianalisis nilai ekonominya menggunakan kaidah ekonomi ekologi (*ecological economics*) pada restorasi sepanjang 45 mil bagian sungai Platte, Denver, USA pada lima pelayanan ekosistem yang dimulai dari pelarutan air limbah, pemurnian alami air, pengendalian erosi, habitat ikan dan satwa liar, sampai dapat digunakan sebagai tempat rekreasi (Loomis *et al.* 2000).

PENGELOLAAN TERPADU SEBAGAI PENERAPAN RAKAYASA EKOLOGI

Produksi padi nasional pada tahun 2004, 2005, dan 2006 mengalami pelandaian karena tidak beranjak dari 54 juta ton, hal ini tidak sesuai dengan kebutuhan konsumsi beras. Pada tahun 2007, Badan Litbang Pertanian menawarkan terobosan teknolgi PTT (*Integrated Crops Management* =ICM) kepada pemerintah dalam rangka

pencapaian peningkatan produksi 2 juta ton beras per tahun pada Program Peningkatan Beras Nasional (P2BN). Pada tahun itu Dirjen Tanaman Pangan mengadopsi PTT untuk dilaksanakan pada P2BN. Ketua program tersebut adalah Dirjen Tanaman Pangan dengan dukungan para Dirjen di bawah Menteri Pertanian (Badan Litbang Pertanian, Dirjen SDM, dan Dirjen Prasarana dan Sarana Pertanian).

Target program P2BN untuk meningkatkan produksi beras 5% (2 juta ton) dengan meluncurkan Sekolah Lapangan Pengelolaan Tanaman Terpadu (SL-PTT) di 60.000 unit (setiap unitnya 25 ha) yang meliputi areal 1,5 juta ha. Hasil evaluasi pada 2008 dan 2009 ternyata target tersebut dapat dicapai. Produksi padi Nasional tahun 2007, 2008, 2009 berturut-turut mencapai 57.157.440, 60.325.930, dan 64.398.890 ton. Atas kesuksesan tersebut, maka Dirjen Tanaman Pangan mengadakan Jambore Nasional SL-PTT di Donohudan, Solo, Jawa Tengah. Berdasar kepada kesuksesan tersebut, pada 2010 program SL-PTT dilanjutkan kembali pada 80.000 unit yang meliputi areal sawah 2 juta ha. Pada tahun 2011 mencapai 100.000 unit yang meliputi 2,5 juta ha untuk mencapai target 70,6 juta ton GKG.

PTT padi menekankan pendekatan inovatif progresif dengan memperhitungkan segala aspek teknologi dan budaya. PTT bermanuver agroekosistem memerlukan keterpaduan pengelolaan sumberdaya tanaman, tanah, dan air secara berkelanjutan, karena itu PTT memerlukan sinergisme antar disiplin ilmu untuk memaksimalkan teknologi masa kini dan masa yang akan datang, PTT menerapkan teknologi spesifik lokasi menyelaraskan dengan lingkungan fisik maupun sosial budaya dan ekonomi pertanian setempat, karena itu PTT memerlukan partisipatif petani dalam rencana dan pelaksanaannya. Sampai saat ini PTT merupakan integrasi teknologi produksi yang handal dan berkelanjutan, sehingga belum perlu mencari teknologi baru selain PTT. Oleh karena itu, teknologi PTT harus mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi di agroekosistem diselaraskan dengan isu perubahan iklim global.

Kesuksesan PTT tersebut di atas belum berlanjut dengan baik, karena ledakan hama wereng cokelat di Indonesia terus berlangsung dari tahun ke tahun yaitu serangan terjadi pada tahun 2010 dan 2011 masing-masing mencapai 137.768 ha dan 218.060 ha (Baehaki dan Mejaya 2014). Ketidak stabilan produksi padi tersebut disebabkan oleh belum terpenuhinya RE dalam melayani ekosistem yang berubah mengakibatkan gejolak hama terus berkelanjutan.

Perubahan iklim dapat mengubah hubungan hama-tanaman menghasilkan dampak positif atau negatif pada insiden dan keparahan dari berbagai hama-penyakit.

Hawar pelepah daun (*Rhizoctonia solani*), penyakit tidak penting di awal 1970-an, sekarang menjadi penyakit yang paling merusak padi. Perubahan serupa juga telah diamati pada insiden dan keparahan dari beberapa penyakit lain dan hama serangga. Ulat gerayak, *Mythimna separata*, hama utama padi di Bangladesh pada tahun 1960-an, namun pada beberapa dekade terakhir menjadi hama minor, sedangkan hama pelipat daun, *Cnaphalocrocis medinalis* dan *Marasmia exigua* yang memiliki peringkat lebih rendah dalam daftar hama utama telah menjadi bagian penting sejak tahun 1980-an (Haq et al. 2011). Di Indonesia, terutama jalur pantura ulat gerayak dan ganjur (*Orseolia oryzae* Wood-Mason) pada tahun 1970-an merupakan hama penting, namun sejak tahun 2000-an berubah menjadi hama minor. Perubahan peringkat hama-penyakit akan terus berlangsung, karena hama yang dianggap tidak penting saat ini akan menjadi hama utama di masa yang akan datang.

REKAYASA EKOLOGI DALAM PENGELOLAAN VARIETAS TERPADU

Teknologi pengelolaan varietas terpadu (PVT) adalah teknologi berumur tua yang sangat matang dan terus diperbarui telah memberikan pelayanan terhadap ekosistem. Para pemulia dalam pelayanan ekologi telah mendistribusikan varietas berdasar zonasi ekosistem, sehingga para pengguna dapat memilih varietas berdasar lingkungan tanah garapannya. Padi inbrida dan hibrida (IR64, Ciherang, inpari 1-13, Hipa 3-11) untuk melayani ekosistem irigasi, padi inpara (Inpara 1-6, Dendang, Siak Raya, Banyuasin) untuk melayani ekosistem rawa/lebak, padi inpago (Inpago 4-6, Situ Bagendit, Situ Patenggang, Towuti, Limboto) untuk melayani ekosistem lahan kering (Suprihatno et al. 2010, Mejaya 2012). Perakitan varietas dalam perkembangannya dilengkapi dengan fungsinya seperti varietas tahan hama (terutama wereng), tahan penyakit (blast dan tungro), rendah emisi gas metan, padi bervitamin A, dan padi dengan kadar besi tinggi (Darajat dan Mejaya 2012).

Keberlanjutan pertanian terutama ditentukan oleh penggunaan varietas tahan hama-penyakit dan hemat energi. Dalam memilih varietas yang akan ditanam, nilai tambah produksi dan pemasaran juga perlu diperhitungkan. Hal ini penting, karena setiap varietas mempunyai karakter yang berbeda untuk keperluan manusia, ada yang cocok untuk dibuat bahun, beras kristal, nasi goreng, dan sebagainya. Kelengkapan karakter yang berbeda dalam melayani agroekosistem sebagai dasar pertanaman mosaik varietas yang dikemas dalam ruang dan waktu untuk meningkatkan dan stabilitas biodiversitas. Dalam praktek pertanian yang baik, petani perlu dibimbing dalam memilih varietas yang tidak rakus hara, hemat air,

tahan hama dan penyakit, dan berproduksi normal dimana pun ditanam. Ini penting artinya agar petani tidak menggunakan input secara berlebihan, baik pupuk, air, maupun pestisida sebagaimana yang dikehendaki oleh kaidah praktek pertanian yang baik menuju sistem produksi berkelanjutan (Baehaki 2009).

Dalam budidaya pertanian berkelanjutan selaras dengan lajunya perubahan iklim global, sebagai bentuk pelayanan dari para pemulia terhadap kehidupan tanaman padi, maka perlu di rakit varietas tahan peningkatan suhu. Usaha untuk menghasilkan varietas yang hemat energi di antaranya adalah dengan mengubah tipe pertanaman C3 menjadi C4 yang tahan kering, mengubah arsitektur tanaman menjadi lebih produktif, misalnya padi tipe baru dengan anakan sedikit dan bentuk daun yang memiliki kemampuan lebih tinggi untuk berfotosintesis dapat berproduksi lebih tinggi (Cantrell 2004).

Pelayanan para pemulia merakit varietas secara genetik diselaraskan dengan kebutuhan tempat tumbuh di agroekosistem. Varietas tersebut dilengkapi dengan gen ketahanan baik untuk menangkal hama maupun untuk menangkal penyakit. Di lain pihak ada ketahanan semu akibat lingkungan yang dimanipulasi oleh ahli hama dan argonomi sebagai pelayanan kesehatan tanaman. Serangga tertarik terhadap tanaman karena naluri alami akibat stimuli botani. Larva dan imago serangga menyeleksi tanaman makanan berdasarkan bau (odor) yang spesifik dari tanaman dan senyawa kimia tanaman (fitohormon) yang berperan sebagai katalis perilaku serangga.

Varietas tahan mempunyai pengaruh yang tidak langsung terhadap musuh alami karena menyebabkan mangsa (hama) yang rendah. Varietas tahan juga telah menunjukkan pengaruh yang kurang baik terhadap parasitoid dan predator, karena menurunnya kecocokan hama terhadap sumber makanan (Orr and Boethel 1986). Namun demikian varietas tahan dan pengendalian hayati pada umumnya dianggap kompatibel satu sama lain (Heinrichs 1994).

a. Ketahanan Genetik

Ketahanan varietas berdasar genetika dapat dibagi dua yaitu tahan vertikal (*vertical resistance*) dan tahan horizontal (*horizontal resistance*) Varietas tahan horizontal adalah stabil dan masa edarnya lama, namun perakitan varietas tahan horizontal lebih sulit ditangani para pemulia, karena perakitannya secara kuantitatif dengan mengidentifikasi jumlah Quantitative trait loci (QTL) yang dibawanya. Varietas tahan horizontal diharapkan dapat mengatasi berbagai ras atau biotip yang berkembang pesat. Varietas tahan vertikal dirakit secara kualitatif, waktu edarnya singkat, bahkan varietas yang tahan vertikal

cepat berlalu dan kurang berharga. Varietas yang mempunyai gen tahan vertikal untuk wereng cokelat adalah gen tahan Bph1 (IR26 dan IR46), bph2 (IR36, IR42, IR54, dan IR48), Bph3 (IR60, IR62, IR72, IR74, IR56, IR70, IR74), sedangkan varietas yang mempunyai gen tahan horizontal hanya IR64 (Bph1 + 7 QTLs).

Fenomena varietas tahan biasanya didasarkan kepada sifat genetik yang dapat diwariskan. Faktor yang menentukan ketahanan tanaman inang terhadap serangga karena adanya pembatas dari stuktur tanaman, allelokimia, dan nutrisi yang tidak seimbang. Kualitas ketahanan dari sifat yang diwariskan bekerja dengan mekanisme ketahanan antixenosis, antibiosis, dan toleran.

Antixenosis adalah mekanisme ketahanan tanaman untuk menjerakan atau mereduksi kolonisasi serangga. Umumnya serangga berorientasi sendiri terhadap tanaman untuk makanan, tempat meletakkan telur, dan atau tempat berlindung. Tanaman yang mempunyai sifat antixenosis tidak dapat digunakan serangga untuk kegiatan tersebut. Dalam situasi tertentu, walaupun serangga datang dan mengadakan kontak dengan tanaman, sifat antixenosis tanaman tidak memberikan kesempatan kepada serangga untuk berkoloni.

Antibiosis adalah mekanisme ketahanan yang bekerja setelah serangga berkolonisasi dan telah mulai menggukakan tanaman untuk kehidupannya. Tanaman yang mempunyai antibiotik dapat mempengaruhi serangga dalam hal pertumbuhan, perkembangan, reproduksi, dan kelangsungan hidup. Pengaruh antibiotik dapat menghasilkan pengurangan berat serangga, mengurangi proses metabolisme, meningkatkan kegelisahan (*restlessness*), banyak larva atau serangga pradewasa mati. Secara tidak langsung, antibiosis dapat meningkatkan serangga hama mudah terdeteksi oleh musuh alami. Tanaman yang memperlihatkan antibiosis dapat mereduksi laju peningkatan populasi dengan mengurangi laju reproduksi dan kelangsungan hidup serangga (Panda and Khush 1995).

Toleran adalah sifat genetik dari tanaman yang dapat melindungi diri dari serangan populasi serangga, sehingga tidak ada kehilangan hasil secara ekonomi atau hasil yang dicapai memberikan kualitas yang dapat diperdagangkan. Toleransi sering keliru dengan ketahanan rendah atau ketahanan sedang (*moderate*). Mekanisme toleran berbeda dari antixenosis dan antibiosis. Varietas toleran tidak berpengaruh terhadap laju peningkatan populasi hama target, tetapi dapat meningkatkan ambang ekonomi yaitu bila ambang ekonomi suatu varietas tanaman ditentukan sebagai A ekor serangga per rumpun, maka ambang ekonomi pada varietas toleran adalah A + x ekor serangga per rumpun.

Pengembangan varietas untuk ketahanan pada hama wereng, penggerek, pelipat daun, penyakit blas, penyakit tungro dan hama-penyakit lainnya terus dikaji. Varietas padi IRRI-6 dan KSK-282 adalah varietas yang paling tahan terhadap penggerek batang padi *Tryporyza incertulas* hanya menimbulkan 14,73% dan 18,34% sundep, serta 4,33% dan 4,77% beluk secara signifikan lebih rendah dari varietas yang rentan (Rashid *et al.* 2013). IRRI-6, KSK-282 dan DR-83 juga menunjukkan resistensi terhadap pelipat daun padi, *Cnaphalocrocis medinalis*. Basmati-385 adalah varietas yang paling rentan terhadap penggugulung daun. Dalam melayani ekosistem, perlu dirakit varietas tanaman yang ovisidal yaitu varietas yang banyak membunuh telur hama sebagai bentuk pelayanan terhadap musuh alami pada saat perkembangan musuh alami tidak mampu mengimbangi laju pertumbuhan intrinsik hama.

b. Ketahanan Ekologi

Ketahanan ekologi (*Ecological resistance*) telah dikategorikan sebagai ketahanan semu (*pseudoresistance*), hal ini disebabkan ketahanannya bukan berasal dari sifat genetik yang dibawa tanaman, tetapi dari beberapa perubahan kondisi lingkungan sementara yang cocok bagi varietas rentan, namun tidak cocok untuk hama. Varietas padi rentan wereng cokelat di musim kemarau jarang sekali terserang wereng cokelat, hal ini disebabkan perkembangan wereng cokelat pada varietas rentan di musim kemarau sangat rendah, sulit mencapai ambang ekonomi.

Kategori ketahanan ekologi yang lain adalah ketahanan induksi (*induced resistance*), yaitu ketahanan tanaman yang terjadi sebagai tanggap tanaman terhadap kerusakan oleh patogen, herbivora, stres lingkungan, atau akibat perlakuan kimia dan fisik. Ketahanan induksi sangat menakutkan baik secara kualitatif maupun secara kuantitatif dari pertahanan tanaman terhadap invasi hama dalam hal hubungan hama dengan kerusakan atau rangsangan fisik dan kimia dari luar. Rangsangan dari luar diketahui sebagai induksi yang dihasilkan akibat perubahan lingkungan yang memungkinkan menjadi keuntungan sementara dari tanaman, seperti halnya penggunaan pupuk, herbisida, insektisida, pengatur tumbuh, nutrisi mineral, variasi suhu dan panjang hari, serangan patogen dan hama dapat merubah seluruh unsur kimia dalam jaringan tanaman.

REKAYASA EKOLOGI DALAM PENGELOLAAN NUTRISI TANAMAN TERPADU

Teknologi pengelolaan nutrisi tanaman terpadu (PNT), bertujuan menghasilkan budidaya sehat serta produksi tinggi dengan efisiensi nutrisi mayor dan minor. Kebutuhan pupuk buatan di bidang tanaman pangan makin meningkat sejak dilepasnya varietas unggul baru baik tanaman padi, palawija, dan hortikultura yang tanggap terhadap pupuk. Di sisi lain sumber pupuk N, P, dan K makin terbatas selaras dengan persediaan atau cadangan bahan pembuat pupuk yang makin menipis. Usaha efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan dengan menggunakan mikroba fiksasi N₂, pelarut hara P dan K, dan pemacu pertumbuhan tanaman (Saraswati dan Sumarno 2008). Mikroba tersebut sebagai penyubur tanah dapat menyediakan hara bagi tanaman, melindungi akar dari gangguan hama dan penyakit, menstimulir sistem perakaran agar berkembang sempurna dan memperpanjang usia akar, pemacu jaringan meristem pada titik tumbuh, menyediakan metabolit pengatur tumbuh tanaman, dan bioaktivator. Teknologi mikroba penyubur tanah yang dikenal sebagai pupuk hayati (pupuk mikroba) merupakan produk biologi aktif yang terdiri atas mikroba penyubur tanah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, kesuburan, dan kesehatan tanah.

Penggunaan kompos jerami, kompos Azolla dan pupuk hayati majemuk memberikan pengaruh terhadap populasi bakteri penambat N (*Azotobacter* sp. dan *Azospirillum* sp.). Aplikasi kompos jerami 2,5 t/ha dengan pupuk hayati 400 g/ha memberikan hasil gabah kering panen (GKP) yaitu 64,39 g/tanaman (6,13 t/ha) (Rosiana *et al.* 2013). Pemberian pupuk bokashi tidak mampu meningkatkan kandungan P tersedia di dalam tanah, hal ini disebabkan populasi bakteri pelarut fosfat (*Phosphate Solubilizing Bacteria* = PSB) tidak bekerja bila hanya ada pupuk bokashi saja. Demikian juga populasi PSB tidak berkorelasi dengan C-organik, N-total, nisbah C/N, pH tanah dan kadar air tanah (Dermiyati *et al.* 2009). Kinerja PSB dapat menyediakan P-tersedia dalam tanah dan bekerja optimum bila difasilitasi dengan penambahan batuan fosfat atau pupuk P-anorganik.

Pemberian PSB (*Pseudomonas fluorescens*) bersamaan dengan fosfat alam, dan pupuk kandang nyata meningkatkan serapan N, P, K tanaman. Dosis optimum pupuk fosfat alam pada keadaan tanpa diberi PSB dan pupuk kandang adalah 72,15 kg P/ha menghasilkan biji kedelai maksimum 7,73 g/pot. Di lain pihak pemberian PSB, pupuk kandang, dan PSB + pupuk kandang berturut-turut diperoleh dosis optimum pupuk fosfat alam 62,26; 63,94 dan 62,21 kg P/ha, menghasilkan biji kedelai maksimum 8,17; 7,95 dan 8,43 g/pot (Noor 2005).

PSB (*Bacillus megaterium*), pupuk organik, batuan fosfat (*rock phosphate*) dan superfosfat berperan dalam penyediaan P dalam tanah. P tersedia dalam tanah akan meningkat 61% pada pemupukan superfosfat + PSB dibanding kontrol. P tersedia meningkat secara signifikan sebesar 33% dengan penambahan pupuk organik + SP dibandingkan dengan hanya pupuk organik saja, bahkan P tersedia lebih meningkat secara signifikan dengan pemberian pupuk organik + PSB + batuan fosfat dibandingkan dengan pemberian pupuk organik + batuan fosfat (Alzoubi and Gaibore 2012). Inokulasi PSB yang dikombinasikan dengan pemberian pupuk NPK mampu meningkatkan serapan hara P pada tanaman bibit kakao sampai 3,07 kali (Herman dan Pranowo 2013).

Penggunaan bakteri PSB (*Bacillus megaterium* var. *Phosphaticum*) bersama bakteri pelarut kalium (KSB) *Bacillus mucilaginosus* sebagai pupuk hayati meningkatkan ketersediaan P dan K dalam tanah, penyerapan N, P dan K oleh tunas dan akar, serta pertumbuhan merica dan mentimun yang baik (Han *et al.* 2006). Kombinasi pupuk kimia dan pupuk hayati dapat menjadi metode yang menguntungkan untuk meningkatkan efisiensi pelarutan secara alami batuan fosfat dan sintesis unsur sulfur sebagai sumber pupuk yang dihasilkan, sehingga memberikan optimasi pemupukan kimia untuk produksi tanaman (Salimpour *et al.* 2010).

PSB (*Azotobacter* dan *Azospirillum*) hasil isolasi dari tanah gambut di Kalimantan Barat dalam kompos plus dapat beradaptasi dengan baik pada lahan Cibodas-Cianjur. Populasi total PSB meningkat menjadi $9,35 \times 10^8$ sel/g tanah dan campuran bakteri tersebut mampu meningkatkan aktivitas enzim fosfatase asam dan basa di dalam tanah. Peningkatan tertinggi aktivitas enzim fosfomonoesterase asam dan basa dicapai pada perlakuan kompos plus, juga perlakuan tersebut meningkatkan berat buah kapri sebesar 75,32% dibandingkan dengan kontrol (Widawati *et al.* 2010).

Pemberian pupuk kompos kotoran ayam + pupuk mikoriza pada tanaman jagung memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung di lahan kering marginal dengan hasil panen rata-rata mencapai 9,70 ton tongkol kering/ha dan kombinasi perlakuan pemberian pupuk kimia pada taraf 50% dan pemberian kompos kotoran ayam + mikoriza memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung di lahan kering marginal, dengan hasil panen rata-rata mencapai 10,51 ton tongkol kering/hektar (Moelyohadi *et al.* 2013). Pada cabe rawit inokulan bakteri penambat nitrogen, PSB dan mikoriza berpengaruh secara signifikan terhadap rata-rata pertumbuhan tanaman (Permatasari dan Nurhidayati 2014). Penggunaan PSB

sebagai inokulan meningkatkan serapan P dan efisiensi yang lebih besar dari PSB melalui co-inokulasi dengan bakteri menguntungkan lainnya dan mikoriza (Khan *et al.* 2009).

Fosfor dalam bentuk organik maupun anorganik menjadi faktor utama untuk pertumbuhan tanaman (Sahi *et al.* 2000). Fosfat tersebut ditemukan sebagai bagian dari batuan stratum dan karakteristik utamanya tidak dapat larut, namun demikian batuan tersebut merupakan reservoir terbesar dalam tanah. Hilda dan Fraga (1999) telah melaporkan bahwa bentuk-bentuk mineral fosfor berupa apatit, hidroksiapatit dan oxyapatite. Mineral fosfat dapat juga ditemukan berasosiasi dengan Fe, Al dan Mn yang sukar larut. Dengan memberikan pelayanan pada kondisi yang tepat, batuan itu dapat dilarutkan dan menjadi tersedia bagi tanaman dan mikroorganisme.

Kinerja mikroba penyedia nutrisi tanaman sangat penting dan dapat meningkat dengan penambahan bahan organik sebagai mediator dan bahan batuan sebagai starternya, karena itu bahan organik dianggap sebagai parameter yang sangat penting dari produktivitas tanah. Bahan organik memiliki sejumlah peran penting dalam tanah, baik dalam struktur fisik dan mediator pelayan aktivitas biologis (Sarwari *et al.* 2008). Pada saat yang sama, pupuk organik memiliki peran yang baik dalam melarutkan batu fosfat dengan memproduksi asam organik. Oleh karena itu sangat bijak untuk mengembalikan sisa-sisa tanaman ke dalam agroekosistem.

Inokulasi PSB dengan batuan fosfat dapat dianggap sebagai cara yang lebih baik untuk mengatasi masalah kelarutan rendah batu fosfat (Didiek *et al.* 2000). Mikroorganisme ini mengeluarkan berbagai jenis asam organik seperti asam karboksilat (Deubel and Merbach 2005). Mekanisme pelarutan fosfat secara kimia merupakan mekanisme utama yang dilakukan mikroba dengan mengekskresikan sejumlah asam organik seperti oksalat, suksinat, tartrat, sitrat, laktat, α -ketoglutarat, asetat, formiat, propionat, glikolat, glutamat, gliksilat, malat, fumarat (Illmer and Schinner 1992). Pelarutan fosfat secara biologis terjadi karena mikroba tersebut menghasilkan enzim antara lain enzim fosfatase yang diekskresikan oleh akar tanaman dan mikroba, dan fosfatase di dalam tanah lebih dominan dihasilkan oleh mikroba (Joner *et al.* 2000). Xu and Johnson (1995) juga melaporkan bahwa mikroorganisme dalam tanah dapat mentransfer P organik menjadi bentuk anorganik dengan mengeluarkan enzim fosfatase.

Uraian di atas memberikan gambaran yang sangat jelas bahwa PSB, KSB, bakteri penambat N yang simbiotik maupun non simbiotik, bakteri sulfur pengoksidasi, dan bahan organik sangat penting dalam

upaya budidaya yang berkelanjutan sebagai bentuk pelayanan agroekosistem (*agroecosystem services*). PSB memainkan peran penting dalam membuat fosfor tersedia bagi tanaman dengan membawa perubahan yang menguntungkan dalam reaksi di lingkungan mikro tanah yang mengarah tersedianya sumber fosfat anorganik (Mehta *et al.* 2010). Kelarutan mineral fosfat adalah akibat adanya asam organik yang disintesis oleh mikroorganisme tanah, dengan demikian pupuk hayati semakin penting karena bahan tersebut ramah lingkungan, tidak berbahaya dan tidak beracun (Sharma *et al.* 2007)

REKAYASA EKOLOGI DALAM PENGELOLAAN HAMA TERPADU

Teknologi pengendalian hama terpadu (PHT) yang bertujuan pencapaian keseimbangan biologi hama-musuh alami supaya berada di bawah ambang ekonomi. RE dalam skala lapangan di pertanaman padi adalah rasionalisasi masukan pestisida dengan menghindari penggunaan insektisida pada awal pertanaman, manipulasi vegetasi pada pematang dengan diversifikasi flora menguntungkan, dan manipulasi detritivora menggunakan pupuk organik.

Karakterisasi pendekatan PHT yang selaras dengan RE adalah: (1) mengurangi ketergantungan pada input eksternal dan sintesis; (2) mempercayakan kepada proses alami; (3) harus berdasarkan prinsip ekologi; dan (4) lingkup perbaikan dengan percobaan ekologi (Gurr 2009a). Praktek-praktek budidaya yang digunakan untuk meningkatkan pengendalian biologis yaitu, manipulasi

habitat yang kompatibel dengan filosofi rekayasa ekologi. Metode ini meliputi: (1) tanaman perangkap untuk mengalihkan hama dari tanaman budidaya; (2) berbagai bentuk polikultur untuk mengurangi imigrasi hama atau tempat berkembang biak hama; dan (3) pemberian sumber daya untuk kinerja musuh alami (Gurr 2009a).

Rekayasa ekologi dalam hal pelayanan ekologi dapat ditempuh dengan manipulasi habitat dalam upaya pemulihan kesetimbangan ekologi. Manipulasi habitat banyak ragamnya yaitu dengan sistem integrasi palawija pada tanaman padi (SIPALAPA), rotasi palawija setelah tanaman padi (ROPALAPA), tanaman perangkap, pemberian bahan organik untuk meningkatkan musuh alami maupun pengaturan waktu tanam. Dapat pula menanam bunga-bunga di pematang untuk melayani parasitoid yang membutuhkan nektar.

a. Sistem Integrasi Palawija pada Pertanaman Padi (SIPALAPA)

Peningkatan biodiversitas lokal sebagai pemulihan biodiversitas (*restore biodiversity*) dan pelayanan ekosistem dengan meningkatkan SIPALAPA, yaitu menanam kedelai, jagung dan tanaman sayuran seperti sawi dan kacang panjang di pematang (Baehaki 2011a) (Gambar 1).

SIPALAPA memanfaatkan pematang, lahan surjan, dan tempat-tempat yang berdekatan dengan lahan sawah untuk tanaman selain padi. Sampai saat ini pematang sawah tidak dimanfaatkan untuk ditanami palawija atau tanaman sayuran. Pematang masih tetap menganggur dan dipandang sebagai lahan tidur tersembunyi (*unvisible sleeping land*). Lahan tidur yang tersembunyi tersebut mencapai 5% dari luas lahan pesawahan dataran rendah,



SIPALAPA Padi-Kedelai



SIPALAPA Padi-Jagung

Gambar 1. Sistem integrasi palawija pada tanaman padi (SIPALAPA).

bahkan di dataran tinggi yang berlereng lahan tidur tersebut dapat mencapai 20% dari luas lahan.

SIPALAPA mempunyai sumber kekuatan yaitu mampu menjadi sumber teknologi, nilai tambah natura palawija, keuntungan meyakinkan, dan efisiensi dalam pengendalian hama. Kelemahan dari system integrasi pertanaman palawija pada tanaman padi adalah bila terserang hama *double crops*. Tantangannya adalah bahwa lahan tidur tersembunyi tersedia cukup tinggi 5-20% dari luas baku lahan sawah 4.500.000 ha yaitu antara 225.000-900.000 ha. Diperkirakan impor kedelai akan dikurangi 25-50% bila teknologi SIPALAPA diterapkan pada lahan tidur tersembunyi.

Pada konsep SIPALAPA merubah tanaman monokultur padi menjadi tanaman polikultur padi-kedelai yang mempunyai dua keuntungan sebagai agribisnis horizontal yaitu keuntungan dari produksi padi dan keuntungan dari tanaman kedelai setara padi. Keuntungan lain adalah untuk stabilitas pergerakan musuh alami antara pertanaman padi dan palawija dalam menekan hama, sehingga SIPALAPA tersebut merupakan sistem pengendalian hama secara ekologis dalam sistem pengendalian hama terpadu (PHT).

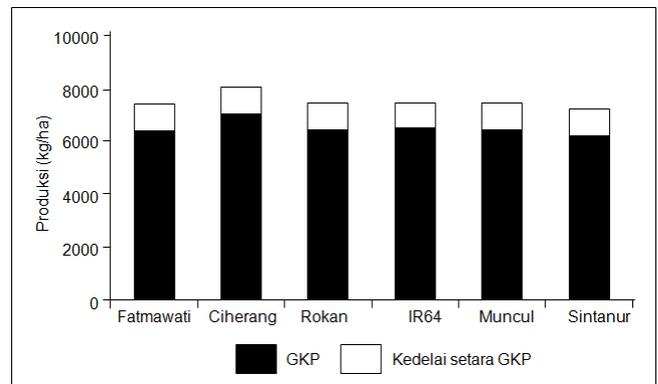
Penelitian peningkatan teknologi pengendalian hama terpadu dalam kawasan SIPALAPA dapat meningkatkan nilai tambah ekonomi (Gambar 2). Hasil GKP yang paling tinggi dicapai oleh varietas Ciherang dengan produksi sebesar 7.218.750 kg/ha, produksi ini melebihi varietas IR64 sebesar 7.7%. Produksi biji kedelai Tanggamus mencapai 0.221 kg/m (k.a 9.25%), sehingga dalam 1 ha (5% pematang) dapat dihasilkan sebanyak 377.3 kg yang dapat dijual @Rp.3.500/kg, sehingga dihasilkan Rp. 1.358.100 merupakan harga jual kedelai yang berupa nilai tambah dari pengelolaan SIPALAPA.

Produksi padi Ciherang dan kedelai Tanggamus setara padi mencapai 8.318 kg/ha senilai Rp 10.400.000/ha (diantaranya Rp 1.358.100 dari hasil kedelai dengan luas pematang 5%). Pasangan varietas Fatmawati, Rokan, Muncul, IR64, dan Sintanur dengan kedelai Tanggamus mempunyai nilai jual lebih kecil dari pasangan Ciherang dan Tanggamus.

Panen jagung muda pada saat umur 60-65 hari. Produksi tongkolnya mencapai 2 kg/m. Dengan kalkulasi luas pematang 5% maka akan dihasilkan 3.400 kg tongkol jagung untuk setiap hektarnya dengan nilai nominal Rp 3.400.000.

b. Rekayasa Ekologi Pengkayaan Musuh Alami dengan Palawija/Bunga

Pengkayaan musuh alami dapat dilakukan dengan pertanaman polikultur antara tanaman padi dengan

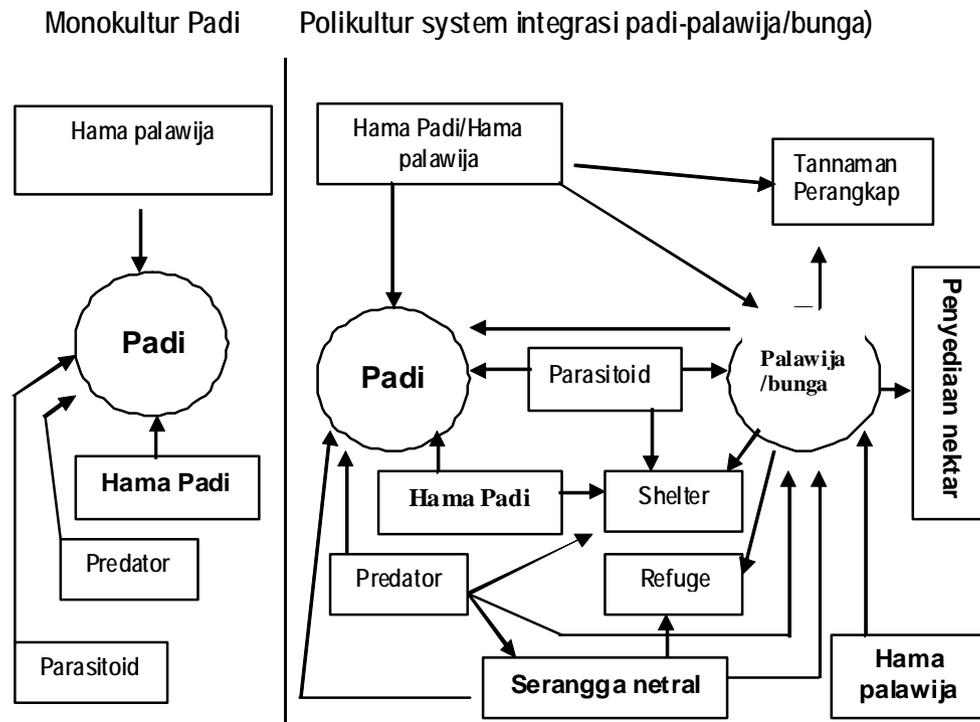


Gambar 2. Produksi GKP dan kedelai setara padi (5% pematang) pada SIPALAPA.

palawija atau tanaman padi dengan tanaman bunga liar. Pada pertanaman polikultur padi-kedelai terjadi dinamika-dialektika hubungan antara dua komoditas dengan musuh alami dan hama, sedangkan pada tanaman yang monokultur dinamika hubungan komoditas dengan hama dan musuh alami menjadi monoton (Gambar 3) (Baehaki 2005).

Pada SIPALAPA sebagai metode baru pengembangan pertanian modern menunjukkan bahwa tanaman palawija sebagai a) tempat berlindung (*shelter*) komunitas musuh alami, b) pengkayaan musuh alami spesifik dan musuh alami umum, dan c) tempat bersembunyi (*refugi*) musuh alami dan tempat berkembang biak musuh alami. RE di Vietnam dengan tanaman bunga (Huan and Chien 2010). Bunga yang ditanam yang mengandung nektar pakan parasitoid sebagai pelayanan kebugarannya. Tanaman bunga tersebut adalah *Wedelia chinensis*, *Helianthus* sp, *Lantana camara*, *Crotalaria* dan okra. Di pesawahan Cai Be dan Cai Lay masing-masing pematang sepanjang 5 dan 27 km telah ditanami berbagai tanaman bunga penghasil nektar (Escalada 2009). Di desa Binh Hoa, Vietnam rekayasa ekologi dilakukan pada pertanaman OM 1490 dan OMCS 2000, namun masih menggunakan insektisida sebanyak 3 kali dan hasilnya masih rendah yaitu 5,8 t/ha. Rekayasa ekologi di China dengan penyediaan nektar dari bunga wijen yang ditanam di pematang sawah.

Pada pertanaman SIPALAPA perkembangan populasi hama wereng cokelat dan hama wereng punggung putih lebih rendah dibanding pertanaman padi monokultur. Hal ini disebabkan peranan predator *Lycosa pseudoannulata*, laba-laba lain, *Paederus fuscipes*, *Coccinella*, *Ophionea nigrofasciata*, dan *Cyrtorhinus lividipennis* mampu mengendalikan wereng cokelat dan wereng punggung putih. Parasitasi telur wereng oleh parasitoid *Oligosita* dan *Anagrus* pada pertanaman SIPALAPA lebih tinggi dibanding pada pertanaman padi monokultur.



Gambar 3. Dinamika-dialektika hubungan antara dua komoditas dengan musuh alami dan hama.

c. Rekayasa Ekologi dengan Pupuk Organik untuk Pengkayaan Predator melalui Kinerja SL-PTT

Sejak awal, PTT telah memberikan pelayanan terhadap ekosistem dengan mempersyaratkan penggunaan pupuk organik sebanyak 2 t/ha. Pupuk organik dapat berasal dari jerami lapuk, kotoran sapi dari SIPT, kotoran domba, dan bahan lainnya untuk perkembangan alat *Ephytrid*, *Colembola* dan *Chironomid*. Tiga kelompok serangga netral dan pemakan sisa bahan organik dapat berkembang pada bahan organik (Settle *et al.* 1996).

Tiga serangga itu adalah makanan dari laba-laba sebagai musuh alami yang berguna menekan hama, dengan demikian pada pengelolaan bahan organik di masa mendatang dapat lebih terlihat manfaatnya sebagai tempat berkembangbiak *Ephytrid*, *Colembola*, dan *Chironomid* untuk memperkaya populasi musuh alami. Pengkayaan musuh alami yang paling menonjol pada pola tanam transplanting legowo 2 : 1 dengan sisipan + pupuk dari sistem integrasi pertanaman dan ternak (SIPT) dan tranplanting legowo 4 : 1 dengan sisipan + pupuk dari SIPT (Baehaki *et al.* 2012). Dari uraian di atas menunjukkan bahwa PTT dan PHT tidak dapat dipisahkan, demikian juga antara agronomi dan proteksi tidak dapat dipisahkan, karena ada komponen input bermata dua yaitu berguna untuk pertanaman padi dan berguna juga untuk pengendalian hama padi (Tabel 1).

d. Rotasi Palawija pada Tanaman Padi (ROPALAPA)

Rotasi adalah satu usaha pergiliran tanaman dengan yang berbeda famili dan tidak menjadi tanaman inang hama pada tanaman berikutnya. Rotasi yang efektif ditujukan terhadap hama yang memiliki rentang inang yang terbatas atau yang tidak dapat bertahan selama lebih dari satu atau dua musim tanpa tanaman inang yang cocok. Rotasi palawija kacang hijau setelah tanaman padi (ROPALAPA) telah dicobakan di pesawahan Balai Penelitian Tanaman Padi (Gambar 4).

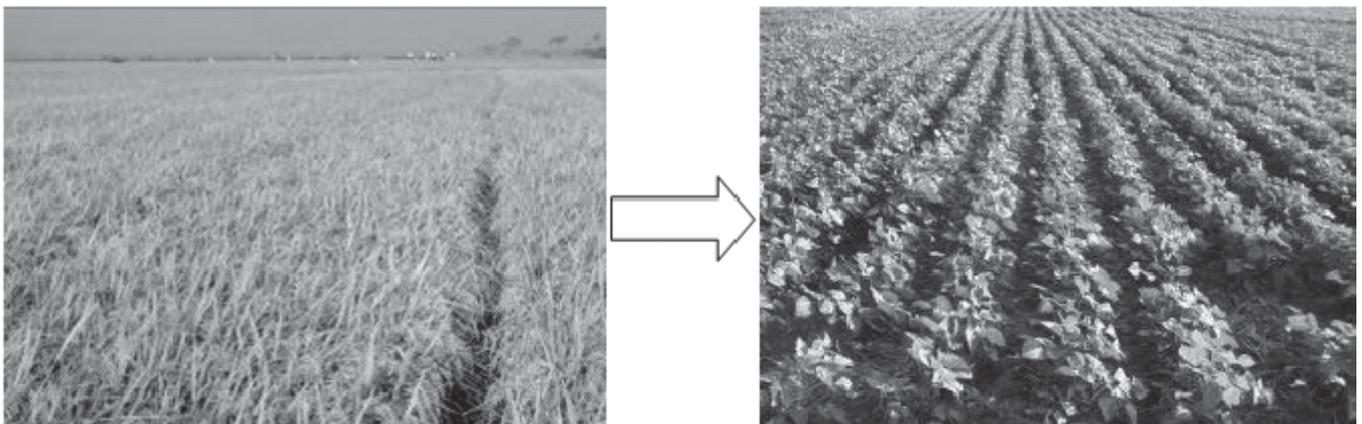
Pada MK1 2006 hasil varietas Ciherang mencapai 6500 kg/ha, Pada MK 2 dirotasi dengan Kacang Hijau menghasilkan 900 kg/ha biji setara 1575 kg/ha gabah padi, sehingga pada MK hasil padi mencapai 8075 kg/ha. Lonjakan hasil padi dicapai pada musim berikutnya MP2006/2007 mencapai 8500 kg/ha, melonjak 2.000 kg/ha dari MK 1 2006 (Gambar 5).

Hasil tersebut mengisyaratkan meningkatnya produktivitas tanah setelah dirotasikan dengan palawija disebabkan oleh kesuburan tanah dari residu pupuk dan brangkasan serta rendahnya hama dan penyakit.

Tabel 1. Komponen produksi multi guna baik untuk peningkatan produksi tanaman maupun untuk pengendalian hama.

No	Komponen input produksi	Fungsi/pengaruh komponen	
		Tanaman	Hama
1	Nitrogen	Pembentukan protein dan penyusun utama protoplasma, kloroplas, dan enzim. Nitrogen sangat penting dalam proses metabolisme dan respirasi (Yoshida 1981). Pembentukan anakan, tinggi tanaman, lebar daun dan jumlah gabah dipengaruhi oleh ketersediaan N (Ismunadji dan Dijkshoorn 1971)	Meningkatkan populasi hama bila diberikan dalam dosis tinggi
2	Fosfat	Penyusun adenosin trifosfat (ATP) dalam penyimpanan dan transfer energi terkait metabolisme tanaman (Dobermann dan and Fairhurst (2000). Mempercepat pembungaan dan pemasakan gabah (Abdurachman <i>et al.</i> 2008)	Mengurangi perkembangan hama bila dalam dosis tinggi
3	Kalium	Meningkatkan proses fotosintesis, efisiensi penggunaan air, mempertahankan turgor, membentuk batang yang lebih kuat, aktivator sistem enzim, memperkuat perakaran (Abdurachman <i>et al.</i> 2008)	Mengurangi perkembangan hama bila dalam dosis tinggi. Hal ini disebabkan menumpulkan mandible larva penggerek batang padi (Suparno 1995)
4	Pupuk organik	Perbaiki fisik tanah dan penyediaan nutrisi tanaman	Kelompok dominan lalat Ephyridid dan Colembola dapat berkembang pada sisa bahan organik. Dua serangga itu adalah makanan dari laba-laba yang berguna menekan hama (Baehaki 2011a)
5	Air	Air, kelembaban dan suhu yang cocok diperlukan tanaman untuk produksi bahan organik yang maksimal	Air merupakan faktor kunci bagi kelangsungan terjadinya proses aliran energi dan materi pada komunitas sawah
6	Tanam legowo	Memberikan cahaya, kelembaban dan suhu yang cocok untuk tanaman. Populasi tanaman per ha dan produksi	Memberikan cahaya, kelembaban dan suhu yang tidak cocok untuk hama
7	Varietas	Cocok berdasarkan zonasi agroekosistem dan produksi tinggi	Menekan hama

Sumber: Baehaki 2013a.



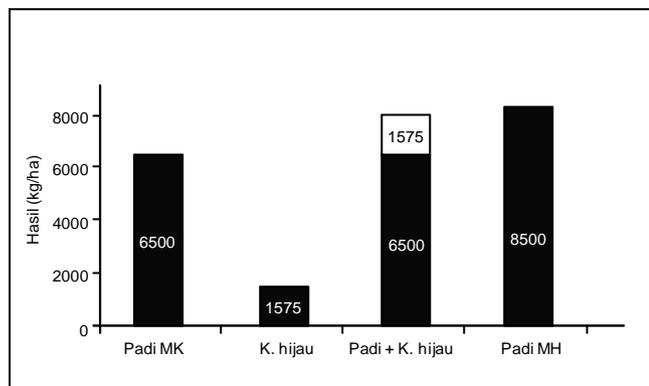
Gambar 4. Rotasi palawija pada tanaman padi (ROPALAPA).

e. Tanaman Perangkap

Tanaman perangkap sering kali merupakan tanaman lebih kecil dan ditanam lebih awal dari tanaman utama yang digunakan untuk mengalihkan serangan serangga hama menjauh dari tanaman utama. Tanaman perangkap sebagai sumber makanan lebih menarik dan harus mempunyai keistimewaan lebih disukai dari pada tanaman

budidaya utamanya. Hama yang menyerang tanaman perangkap sebaiknya dihilangkan sebelum hama dapat menyelesaikan siklus hidupnya atau hama tidak diberi kesempatan menyelesaikan semua siklus hidupnya.

Populasi hama pada tembakau dapat ditekan hingga 50% dengan tanaman perangkap jarak kepyar, sorgum, dan kacang hijau. Sehubungan dengan kinerja tanaman



Gambar 5. Hasil ROPALAPA dalam usahatani kacang hijau setara padi.

perangkap tersebut, maka penyemprotan insektisida secara terjadwal untuk mengendalikan serangga hama tembakau cerutu Besuki merupakan tindakan pengendalian yang tidak efektif dan tidak efisien (Nurindah *et al.* 2009). Dari hortikultura dilaporkan bahwa tanamann kubis dapat terhindar dari serangan hama *Plutella xylostella*, karena adanya tanaman *yellow rocket* (*Barbarea vulgaris* (R. Br.) var. *arcuata*) yang dijadikan tanaman perangkap. Hama tersebut sangat tertarik kepada *yellow rocket* untuk bertelur, namun larvanya tidak hidup pada tanaman tersebut (Perez *et al.* 2004).

RE pada budidaya jagung menggunakan strategi tolak-tarik (*push-pull strategy*) untuk menghindari hama *Chilo partellus* (Pyralidae) dan *Busseola fusca* (Noctuidea) dengan rumput perangkap atau penolak hama jagung. Rumput gajah (*Pennisetum purpureum*) dan rumput Sudan (*Sorghum vulgare sudanense*) mempunyai keistimewaan sebagai tanaman perangkap, sedangkan rumput molasses (*Melinis minufloa*) dan silverleaf Desmodium (*Desmodium uncinatum*) menolak peletakan telur penggerek batang (Khan *et al.* 2000 in Khan and Pickett 2004). Tumpangtari rumput molase dengan jagung akan mengurangi serangan penggerek batang dan meningkatkan parasitisme oleh musuh alami, *Cotesia sesamiae* (Khan *et al.* 1997 in Khan and Pickett 2004), namun demikian keempat rumput tersebut selain sebagai tanaman perangkap dan penolak, secara ekonomi sangat penting sebagai makanan ternak di Afrika Timur.

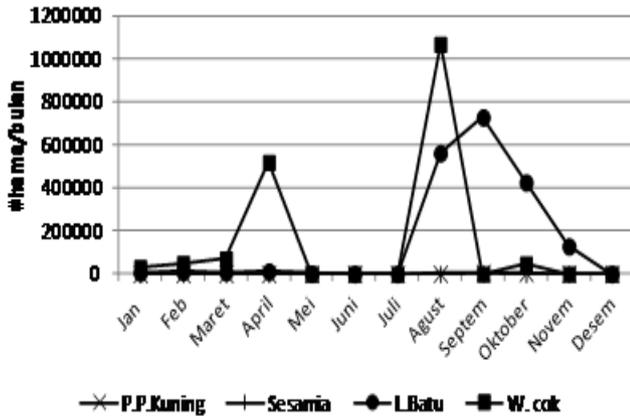
f. Lampu Perangkap

Lampu perangkap merupakan alat vital diperlukan sebagai pendeteksi hama awal. Lampu Perangkap Elektrik BSE-G3 atau BSE G-4, sangat baik untuk monitoring dan mereduksi hama, untuk menentukan teknologi *escape strategy*, menentukan ambang ekonomi, dan mendeteksi ketidakmampuan musuh alami mengendalikan hama.

Di pesawahan Cai Be-Tien Giang-Vietnam praktek rekayasa ekologi yaitu sinkronisasi pertanaman berdasar tangkapan hama di lampu perangkap sebagai usaha menghindari penggunaan insektisida lebih awal (Escalada 2009). Pada percobaan RE di Jin Hua-Zhejiang-China pada luasan 37 ha telah dipasang lampu perangkap sebanyak 40 buah untuk pemantauan wereng imigran. Hasil tangkapan hama cukup banyak, namun ada risiko dari musuh alami, khususnya beberapa parasitoid hymenoptera dapat terbunuh (Gurr 2009b), hal ini disebabkan terlalu banyak memasang lampu perangkap dalam areal yang kecil yaitu satu lampu perangkap untuk 0,9 ha. Di Indonesia lampu perangkap sangat penting karena dapat menangkap hama imigran yang pertama kali datang di pesemaian/pertanaman maupun hama emigran yang terbang keluar dari pertanaman. Hama yang tertangkap perangkap lampu berjenis jantan dan betina dari wereng cokelat, wereng punggung putih, penggerek batang, lembing batu, walang sangit, maupun hama pemakan daun. Satu lampu perangkap BSE G-3 atau BSE G-4 sebagai pendeteksi cukup mengontrol areal 200-500 ha, tetapi bila digunakan untuk mereduksi dengan menangkap hama sebanyak-banyaknya diperlukan satu lampu perangkap untuk 50 ha (Baehaki 2011b).

Pengamatan dengan lampu perangkap harus dilakukan setiap hari untuk membuat kurva bulanan sebagai dasar *escape strategy* penetapan waktu persemaian atau waktu tanam supaya terhindar dari hama. Penetapan waktu persemaian/pertanaman ditentukan oleh puncak wereng imigran atau hama lainnya yang tertangkap lampu perangkap. Bila datangnya wereng imigran tidak tumpang tindih antara generasi maka persemaian atau tanam padi hendaknya dilakukan 15 hari setelah puncak imigran. Bila datangnya wereng tumpang tindih antara generasi, maka akan terjadi bimodal (dua puncak), sehingga waktu persemaian atau tanam hendaknya dilakukan 15 hari setelah puncak ke dua tangkapan hama (Baehaki 2013b). Hama yang tertangkap hasil monitoring dapat menentukan nilai ambang ekonomi. Bila pada lampu perangkap sudah tertangkap ngengat penggerek, maka pengendalian harus segera dilaksanakan pada 4 hari setelah ngengat tertangkap (Baehaki 2013b).

Dalam mengukur ketidakmampuan musuh alami mengendalikan hama dapat terlihat dari kurva bulanan (Gambar 6). Populasi wereng cokelat tertangkap lampu perangkap pada bulan April di atas 500.000 ekor/bulan dan pada Agustus mencapai lebih dari 1 juta ekor, belum lagi yang ada di pertanaman. Di lain pihak lembing batu yang tertangkap mencapai lebih dari 700.000 ekor pada bulan September. Hal demikian menunjukkan perkembangan musuh alami di pertanaman tidak dapat mengikuti kecepatan tingginya perkembangan hama,



Gambar 6. Hama pada lampu perangkap. Sukamandi 2010.

karena musuh alami bekerja *over loaded* yang mengakibatkan populasi hama meningkat dan merusak tanaman padi. Oleh karena itu untuk membantu musuh alami meringankan beban kerjanya, maka hama yang membludak tersebut harus direduksi menggunakan lampu perangkap.

Lampu perangkap static BSE G-3 dengan pencahayaan ML 160 watt dapat mereduksi hama sebesar 99,14%, sedangkan 3 predator *Coccinella sp*, *O. nigrofasciata*, dan *P. fuscipes* hanya tertangkap 0,86%. Data tersebut menunjukkan bahwa lampu perangkap serangga tidak mereduksi populasi predator dan mengganggu kinerjanya.

REKAYASA EKOLOGI DALAM PENGELOLAAN AIR TERPADU

Teknologi pengelolaan air terpadu (PAT) bertujuan untuk menghasilkan teknologi hemat air dalam produksi tanaman budidaya. Pengaturan air termasuk kelembaban relatif dapat digunakan untuk mengatur dan memberi pelayanan kepada kinerja musuh alami yang dapat menekan hama. Irigasi intermitten (*Alternate Wet and Dry Irrigation* = AWDI) menggunakan jadwal selang irigasi 10 hari basah berganti-ganti dengan 10 hari kering dapat menghemat air 29% lebih sedikit dari pengairan yang terus menerus tanpa mengurangi hasil yang signifikan yaitu 7,2 t/ha dibandingkan dengan irigasi konvensional dengan hasil 7,8 t/ha. Indeks produktivitas air secara signifikan lebih tinggi di semua sub-plot dalam perawatan AWDI yaitu 1,7 kg/m³ dibandingkan dengan 1,3 kg/m³ dalam pengelolaan air konvensional. Keuntungan tambahan yang signifikan dari perlakuan AWDI adalah mengurangi hama dan insiden penyakit, siklus tanaman singkat, dan

mengurangi air hilang (Chapagain *et al.* 2011). Teknik pemberian air intermitten adalah teknologi yang sudah lama, namun manfaatnya sangat nyata dapat menghemat air sebesar 33-41% dibanding pengairan konvensional, menekan laju gas metan 8,7%, menekan populasi hama wereng, dan hasil yang dicapai tidak berbeda nyata yaitu 7,6 t/ha (Baehaki *et al.* 1997).

Populasi wereng daun (*leaf hopper*) ditemukan tertinggi pada suhu 36,5°C dan kelembaban relatif 68%, populasi terendah pada suhu 31,5 °C dan kelembaban relatif 75% (Zulfiqar *et al.* 2010). Insiden African rice gall midge (*AfRGM*), *Orseolia oryzivora* Harris & Gagné (Diptera: Cecidomyiidae) secara signifikan dipengaruhi oleh faktor abiotik (curah hujan, kelembaban relatif dan suhu), persentase serangan meningkat dengan meningkatnya curah hujan dan kelembaban relatif (Ogah *et al.* 2012). Hujan lebat dan kelembaban yang tinggi secara signifikan mengurangi efisiensi kedua parasitoid *Platygaster diplosisae* (Hym:Platygastridae) dan *Aprostocetus proceras* (Hym: Eulophidae). Populasi dan efisiensi parasitoid meningkat dengan menurunnya curah hujan dan kelembaban, di lain pihak meningkatnya suhu akan meningkatkan efisiensi parasitoid. Hal demikian menunjukkan bahwa faktor-faktor abiotik memainkan peran penting terhadap insiden AfRGM dan efisiensi parasitoid, sehingga perlu dipertimbangkan dalam penerapan parasitoid tersebut sebagai agens bio-kontrol AfRGM (Ogah *et al.* 2012).

Populasi wereng cokelat dan wereng punggung putih menurun pada curah hujan dan kelembaban yang rendah, bahkan bila curah hujan menurun akan mengakibatkan wereng tersebut berhenti berkembang. Namun demikian curah hujan tidak berpengaruh langsung terhadap perkembangan wereng, tetapi curah hujan terlebih dahulu mempengaruhi fisiologi tanaman (Win *et al.* 2011).

Pengaturan air sawah, bukan saja berpengaruh terhadap hama- penyakit maupun musuh alami, namun berpengaruh juga terhadap perkembangan bakteri pelarut fosfat dan bakteri penambat nitrogen. Tinggi muka air sawah berpengaruh nyata terhadap perkembangan akar, populasi bakteri penambat nitrogen, populasi bakteri pelarut fosfat dan hasil tanaman. Pada varietas Fatmawati dengan tinggi air 10 cm memberikan hasil tertinggi pada volume akar 186,67 ml, populasi bakteri *Azotobacter* sp. (1,43 x 10¹⁰ CFU/g), bakteri pelarut fosfat (6,07 x 10⁸ CFU/g), hasil tanaman 95,9 g/rumpun setara dengan 9,14 t/ha serta meningkatkan efisiensi penggunaan air 47,1% dibandingkan dengan pengendalian 5 cm (Hingdri 2012).

RE pada varietas Ciherang dengan efek pengaturan tinggi muka air berpengaruh terhadap populasi bakteri penambat N, PSB, jumlah anakan produktif, bobot 1000 butir dan hasil GKP, sedangkan jenis pupuk organik

berpengaruh terhadap populasi bakteri penambat N, PSB, jumlah anakan produktif, hasil GKP, namun tidak berpengaruh terhadap bobot 1000 butir pada sistem budidaya berbasis IPAT-BO. Teknik pengaturan tinggi muka air 0 cm menunjukkan hasil gabah kering panen tertinggi sebesar 88,04 g/pot (7,12 t/ha) dan aplikasi kompos jerami 56,5 g/pot (5 t/ha) menunjukkan hasil gabah kering panen tertinggi sebesar 82,60 g/pot (6,69 t/ha) (Sihite 2012).

REKAYASA EKOLOGI DALAM PENGELOLAAN PESTISIDA TERPADU

Teknologi pengelolaan pestisida terpadu (PPT) harus mendapat perhatian, karena penggunaan pestisida banyak kerugiannya, seperti hama menjadi resisten dan resurgen, serta lingkungan banyak terpapar pestisida. Aplikasi insektisida secara merata dan pada areal yang luas secara drastis mengurangi keragaman komunitas arthropoda dan banyak kehilangan spesies yang menguntungkan. Kebijakan yang perlu diambil pada aplikasi pestisida hanya pada daerah serangan (*hot-spot*) saja bila kepadatan hama mencapai ambang ekonomi. Pendekatan rekayasa ekologi tersebut akan membuat mosaik komunitas yang berbeda dalam komposisi dan interaksi antar spesies yang ditujukan untuk menghambat ledakan populasi hama (Coll 2004).

Insektisida yang digunakan saat pengendalian adalah yang selektif hanya untuk hama tertentu saja dan hindari penggunaan insektisida untuk multi hama. Penggunaan insektisida yang pengaruhnya kecil terhadap musuh alami akan mempercepat rekolonisasi yang merupakan restorasi musuh alami setelah aplikasi insektisida.

KESIMPULAN

Rekayasa ekologi sebagai usaha manusia untuk merestorasi agroekosistem supaya faktor kendali bekerja secara alami, bertujuan untuk keuntungan berkelanjutan dengan memperkuat layanan ekosistem yang berkelanjutan.

PTT sejak awal telah memberikan pelayanan terhadap ekosistem dengan mempersyaratkan penggunaan pupuk organik. Namun demikian PTT yang bermanuver agroekosistem memerlukan keterpaduan pengelolaan sumberdaya tanaman-tanah dan air secara berkelanjutan, sehingga teknologi PTT harus mengikuti perubahan-perubahan yang terjadi di agroekosistem diselaraskan dengan isu perubahan iklim global.

Restorasi agroekosistem dalam PTT dengan melayani alam melalui pengelolaan varietas terpadu, pengelolaan

nutrisi terpadu, pengelolaan hama terpadu, pengelolaan air terpadu, dan pengelolaan pestisida terpadu.

Rekayasa ekologi dalam pengelolaan varietas terpadu adalah perakitan varietas berdasar zonasi agroekosistem irigasi, rawa/pasang surut, dan gogo. Perakitan varietas dalam perkembangannya dilengkapi dengan fungsinya tahan hama-penyakit, rendah emisi gas metan, bervitamin A, dan kadar besi tinggi. RE untuk melayani manusia dan agroekosistem telah dirakit varietas dengan karakter yang berbeda untuk implementasi pertanaman mosaik varietas yang dikemas dalam ruang dan waktu dalam meningkatkan stabilitas biodiversitas.

Rekayasa ekologi dalam pengelolaan nutrisi tanaman untuk melayani kinerja bakteri pelarut fosfat, bakteri pelarut kalium, bakteri pelarut sulfur dalam bahan organik sebagai mediator serta bahan dasar pupuk anorganik sebagai starter.

Rekayasa ekologi dalam pengelolaan hama terpadu melayani agroekosistem yang bersifat dinamis untuk terjadinya dialektika tanaman-hama-musuh alami berdasar SIPALAPA, ROPALAPA, pengkayaan parasitoid dan predator, serta tanaman perangkap. Lampu perangkap untuk penentuan ambang ekonomi, *escape strategy*, dan membantu musuh alami saat kerjanya melebihi kemampuan (*over load*).

Rekayasa ekologi dalam pengelolaan air terpadu memberi pelayanan dalam pengaturan air secara langsung atau kelembaban relatif dan suhu secara tidak langsung dalam penyediaan lingkungan yang cocok bagi musuh alami dan mikroba tanah.

Rekayasa ekologi dalam pengelolaan pestisida terpadu melayani musuh alami supaya bekerja maksimal dengan menggunakan insektisida yang selektif pada daerah serangan (*hot spot*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman S, H. Sembiring, dan Suyamto. 2008. Pemupukan Tanaman Padi. Buku Padi, Inovasi Teknologi Produksi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Badan Litbang Pertanian. p123-166.
- Alzoubi, M.M. and M. Gaibore. 2012. The effect of phosphate solubilizing bacteria and organic fertilization on availability of syrian rock phosphate and increase of triple superphosphate efficiency. World Journal of Agricultural Sciences 8(5): 473-478.
- Baehaki, S.E, D. Setiobudi, dan S. Natasasmita. 1997. Pengaruh pemberian air secara intermitten terhadap perkembangan hama-penyakit dan musuh alami pada pertanaman padi. Laporan hasil penelitian. Kerjasama Balitpa-Proyek PHT Pusat. 25p.

- Baehaki, S.E. 2005. Perbaikan teknik pengendalian hama terpadu pada system integrasi pertanaman padi dan palawija. Risalah Seminar 2004. Puslitbangtan. p137-142.
- Baehaki, S.E. 2009. Strategi pengendalian hama terpadu tanaman padi dalam perspektif praktek pertanian yang baik (Good Agricultural Practices). Pengembangan Inovasi Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Depertemen Pertanian 2(1):65-78. ISSN 1979-5378.
- Baehaki S.E 2011a. Perubahan pengendalian hama terpadu (PHT) konvensional menuju PHT biointensif. Pros. Sem. Nas. Inovasi teknologi Berbasis Ketahanan Pangan Berkelanjutan. Puslitbangtan. Badan Litbang TP. Buku 2. p203-214
- Baehaki S.E 2011b. Strategi fundamental pengendalian hama wereng batang cokelat dalam pengamanan produksi padi nasional. Pengembangan inovasi Pertanian 4(1): 63-75.
- Baehaki, S.E. 2013a. Budidaya Tanam Padi Berjamaah Suatu Upaya Meredam Ledakan Hama dan Penyakit dalam Rangka Swasembada Pangan Berkelanjutan. Badan Litbang Pertanian. p.230.
- Baehaki, S.E. 2013b. Hama penggerek batang padi dan teknologi pengendalian. IPTEK Tanaman Pangan 8(1): 1-14.
- Baehaki, S.E., D. Munawar, dan E. Kiswanto. 2012. Pengaruh pola tanam dan pupuk organik terhadap perkembangan wereng cokelat dan pengkayaan musuh alami. Seminar Hasil penelitian BB padi. 10-11 Agustus 2012. 16p.
- Baehaki, S.E., I. M.J. Mejaya, dan H. Sembiring. 2013. Implementasi pengendalian hama terpadu (PHT) dalam pengelolaan tanaman terpadu (PTT) di Indonesia. Pengembangan Inovasi Pertanian. Badan Litbang Pertanian. 6(4):198-209.
- Baehaki SE. dan I. J. Mejaya. 2014. Wereng cokelat sebagai hama global bernilai ekonomi tinggi dan strategi pengendaliannya. IPTEK Tanaman Pangan 9(1): 1-12.
- Cantrell. 2004. New technologies for rice farmers. ICM Edition, Bayer Crop Science 1: 21-22.
- Chapagain, T., A. Riseman, and E. Yamaji. 2011. Achieving more with less water: alternate wet and dry irrigation (AWDI) as an alternative to the conventional water management practices in rice farming. Journal of Agricultural Science 3(3): 3-13.
- Coll, M. 2004. Precision agriculture approaches in support of ecological engineering for pest management. 133-142, In Gurr et al 2004. Ecological Engineering for Pest Management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods. CSIRO Publishing. p.225.
- Darajat, A.A dan I M.J. Mejaya. 2012. Peranan varietas unggul padi inbrida dalam peningkatan produksi padfi nasional. Pros. Sem. Nas. Hasil Penelitian Padi. p.35-48.
- Deubel, A. and W. Merbach. 2005. Influence of microorganisms on phosphorus bioavailability in soils. In: Buscot, F. and A. Varma (eds.), *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany. pp: 177-91.
- Dermiyati, J. Antari, S. Yusnaini dan S.G. Nugroho. 2009. Perubahan populasi mikroroganisme pelarut fosfat pada lahan sawah dengan sistem pertanian intensif menjadi sistem pertanian organik berkelanjutan. J. Tanah Trop. 14(2): 143-148. ISSN 0852-257X.
- Didiek, G., H. Siswanto, and Y. Sugiarto. 2000. Bioactivation of poorly soluble phosphates with a phosphorus-solubilizing fungus. Soil Sci. Soc. Am. J., 64: 927-932.
- Doobermann, A. and T. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Makati: IRRI. 191p.
- Escalada, M. 2009. Communicating biodiversity and ecological engineering to farmers. <http://ricehoppers.net/2009/11/communicating-biodiversity-and-ecological-engineering-to-farmers/>.
- Gurr, G.M. 2009a. Prospects for ecological engineering for planthopper and others arthropod pests in rice. P371-388. In Heong and Hardy: Planthoppers: New Threat to the Sustainability of Intensive Rice Production System in Asia. p.460.
- Gurr, G.M. 2009b. Final report, ecological engineering to reduce rice crop vulnerability to planthopper outbreaks. 29p. <http://ricehoppers.net/wp-content/uploads/2010/04/Final-Report-I-GM-Gurr.pdf>.
- Han, H.S., Supanjani, and K.D. Lee. 2006. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber. Plant Soil Environ. 52(3): 130-136.
- Haq, M., M.A. T. Mia, M.F. Rabbi, and M.A. Ali. 2011. Incidence and severity of rice diseases and insect pests in relation to climate change. pp 445-457, In Lal et al 2011. Climate Change and Food Security in South Asia.
- Herman, M. dan D. Pranowo. 2013. Pengaruh pemberian mikroba pelarut fosfat terhadap pertumbuhan dan serapan hara p benih kakao (*Theobroma cacao* L.). Buletin RISTRI 4 (2): 129-138.
- Heinrichs, E.A. 1994. Host plant resistance dalam Heinrichs E.A. 1994. Biology and Management of Rice Insects. Wiley Eastern Limited, New Age International Limited. New Delhi, Bangalore, Bombay, Calcuta, Guwahati, Hyderabad, Lucknow, Madras, dan London. p.518-547.
- Hilda, R. and R. Fraga. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnology Advances, 17: 319-339.
- Hingdri. 2012. Peranan teknik pengaturan air pada ipat-bo untuk meningkatkan sistem perakaran, populasi bakteri tanah, efisiensi penggunaan air dan hasil tanaman padi. <http://pustaka.unpad.ac.id/archives/124153/>
- Huan, N.H. and H.V. Chien, 2010. Ecological engineering gets national attention in Vietnam. <http://ricehopper.net/2010>.

- Illmer, P. and F. Schinner. 1992. Solubilization of inorganic phosphate by microorganisms isolated from forest soils. *Soil Biol. Biochem* 24: 389- 395.
- Ismunadji, M. and V. Dijkshoorn. 1971. Nitrogen nutrition of rice plants measured by growth and nutrient content in pot experiment. Ionic balance and selective uptake. *Neth. J. Agric. Sci.* 19: 223-236.
- Joner, E.J., I.M. Aarle, and M. Vosatka. 2000. Phosphatase activity of extra- radical arbuscular mycorrhiza hyphae: a review. *Plant Soil* 226:199-210.
- Khan, A.A., G. Jilani, M. S. Akhtar, S.M.S. Naqvi, and M. Rasheed. 2009. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *J. Agric. Biol. Sci.* 1(1):48-58.
- Khan, Z.R. and J.A. Pickett. 2004. The 'push-pull' strategy for stemborer management: a case study in exploiting biodiversity and chemical ecology. 155-164. In Gurr et al. 2004. *Ecological Engineering for Pest Management. Advances in Habitat Manipulation for Arthropods.* CSIRO Publishing. p.225.
- Loomis, J., P. Kent, L. Strange, K. Fausch, and A. Covich. 2000. Analysis measuring the total economic value of restoring ecosystem services in an impaired river basin: results from a contingent valuation survey. *Ecological Economics* 33:103-117.
- Mehta, P., A. Chauhan, R. Mahajan, P.K. Mahajan and C.K. Shirkot. 2010. Strain of *Bacillus circulans* isolated from apple rhizosphere showing plant growth promoting potential. *Current Science* 98(4): 25.
- Mejaya, I.M.J. 2012. Varietas unggul padi toleran dampak perubahan iklim dalam mendukung swasembada beras berkelanjutan. *Pros. Sem. Nas. Hasil Penelitian Padi.* A1-A12.
- Mitsch, W.J. 2012. What is ecological engineering?. *Ecological Engineering* 45: 5-12.
- Moelyohadi, Y., M.U. Harun, Munandar, R. Hayati, and N. Gofar. 2013. Pengaruh kombinasi pupuk organik dan hayati terhadap pertumbuhan dan produksi galur jagung (*Zea mays*. L) hasil seleksi efisien hara pada lahan kering marginal. *Jurnal Lahan Suboptimal* 2(2): 100-110.
- Noor, A. 2005. Peranan fosfat alam dan kombinasi bakteri pelarut fosfat dengan pupuk kandang dalam meningkatkan serapan hara dan basil kedelai. *Jurnal Tanah dan Lingkungan* 7(2): 41-47. ISSN 1410-7333.
- Nurindah, D. A. Sunarto, dan Sujak 2009. Tanaman perangkap untuk pengendalian serangga hama tembakau. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri* 1(2):55-68. ISSN: 2085-6717.
- Orr, D.B and D.J. Boethel 1986. Influence of plant antibiosis through four trophic levels. *Oecologia*. 70: 242-249.
- Ogah, E.O, E.E. Owoh, F.E. Nwilene and E.N. Ogbodo. 2012. Effect of abiotic factors on the incidence of african rice gall midge, *Orseolia oryzivora* and its parasitism by *Platygaster diplosisae* and *Aprostocetus procerae*. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare* ISSN 2224-3208 (Paper) ISSN 2225-093X (Online) 2(8):6-65.
- Panda, N and G.S. Khush. 1995. Host Plant Resistance to insects. IRRI, CAB International. 431p.
- Permatasari, A.D dan T. Nurhidayati. 2014. Pengaruh inokulan bakteri penambat nitrogen, bakteri pelarut fosfat dan mikoriza asal desa condro, lumajang, jawa timur terhadap pertumbuhan tanaman cabai rawit. *Jurnal Sains Dan Seni POMITS* 3(2): 2337-3520.
- Perez, F.R.B., A.M. Shelton, and B.A. Nault. 2004. Evaluating trap crops for diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)_*Journal of Economic Entomology*. 97(4):1365-72. DOI:10.1603/0022-0493-97.4.1365
- Power, A.G. 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B* (2010) 365: 2959-2971. doi:10.1098/rstb.2010.0143
- Rashid, M.M., M.K. Khattak, A. Momin, M. Amir, R. Bibi, and A. Latif. 2013. Performance of different rice cultivars and insecticides against *Tryporyza Incertulas* (Walker) and *Cnaphalocrocis Medinalis* (Guenee). *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 50(4), 625-629; 2013. ISSN (Print) 0552-9034, ISSN (Online) 2076-0906. <http://www.pakjas.com.pk>
- Rosiana, F., T. Turmuktini, Y. Yuwariah, M. Arifin, dan T. Simarmata. 2013. Aplikasi kombinasi kompos jerami, kompos azolla dan pupuk hayati untuk meningkatkan jumlah populasi bakteri penambat nitrogen dan produktivitas tanaman padi berbasis Ipat-Bo. *Agrovigor* 6(1):16-22. ISSN 1979 5777.
- Sahi, S.T., M.A. Randhawa, N. Sarwar and S.M. Khan 2000. Biochemical basis of resistance of lentil (*Lens culinaris*) Medik. Against ascochyta blight: 1 Phenols. *Pak. J. Biol. Sci.* 3(7): 1141-1143.
- Saraswati, R dan Sumarno. 2008. Pemanfaatan mikroba penyubur tanah sebagai komponen teknologi pertanian. *IPTEK Tanaman Pangan* 3(1):42-58.
- Sarwari, G., H. Schmeisky, N. Hussain, S. Muhammadi, M. Ibrahim, and Ehsan Safdar. 2008. Improvement of soil physical and chemical properties with compost application in rice-wheat cropping system. *Pak. J. Bot.*, 40(1): 275-282.
- Salimpour, S., K. Khavazi, H. Nadian, H. Besharati, and M. Miransari. 2010. Enhancing phosphorous availability to canola (*Brassica napus* L.) using P solubilizing and sulfur oxidizing bacteria. *Aust. J. Crops Science* 4(5):330-334. ISSN:1835-2707.
- Settle, W.H., H. Ariawan, E.T. Astuti, W. Cahyana, A.L. Hakim, D. Hindayana, A.S. Lestari, P. Ningsih, dan Sartanto. 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology* 77(7): 1975-1988.
- Sharma, K., G. Dak, A. Agarwal, M. Bhatnagar, and R. Sharma. 2007. Effects of phosphate solubilizing bacteria on the germination of *Cicer arietinum* seeds and seedling growth. *J. Herbal Medicine and Toxicology*. 1(1): 61-63.

- Sihite, J.T.B. 2012. Efek teknik pengaturan air dan jenis pupuk organik terhadap populasi bakteri penambat N, pelarut fosfat dan hasil padi varietas ciherang berbasis ipat bo. <http://pustaka.unpad.ac.id/archives/124036/>
- Suparno, T. 1995. Pertumbuhan dan perkembangan *Scirpophaga innotata* Walker (Lepidoptera: Pyralidae) pada tanaman padi di tanah dengan kandungan kalium berbeda. Disertasi IPB. p135
- Suprihatno, B, A.A. Daradjat, Satoto, Baehaki S.E, Suprihanto, A. Setyono, S.D. Indrasari, I.P. Wardana, dan H. Sembiring. 2010. Deskripsi varietas padi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. 114p.
- Win, S.S., R. Muhammad, Z.A.M. Ahmad, and N.A. Adam. 2011. Population fluctuation of brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stal. and whitbacked planthopper *Sogatella furcifera* Horvath on Rice. Jour. Of Entomology 8(2): 183-190.
- Widawati, S., Suliasih, dan A. Muharam. 2010. Pengaruh kompos yang diperkaya bakteri penambat nitrogen dan pelarut fosfat terhadap pertumbuhan tanaman kapri dan aktivitas enzim fosfatase dalam tanah. J. Hort. 20(3):207-215.
- Xu, J.G. and R.L. Johnson. 1995. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil-contaminated, remediated and uncontaminated soils planted to barley and field pea. Plant and Soil. 173: 3-10.
- Yoshida, S. 1981. Fundamental of Rice Crop Science. Los Banos, Laguna: IRRI.
- Zulfiqar, M.A., M.A. Sabri, M.A. Raza, A. Hamza, A. Hayat, and A. Khan. 2010. Effect of temperature and relative humidity on the population dynamics of some insect pests of maize. Pak. j. life soc. Sci. 8(1): 16-18.