

SISTEM PENDUKUNG PENGAMBILAN KEPUTUSAN PENGENDALIAN HAMA TERPADU PADA TANAMAN PADI BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Information Tecnology Based Decision Support System for Integrated Pest Management on Rice

I Nyoman Widiarta

*Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan
Jalan Merdeka No. 147, Bogor
Telp. 0251-8334-089, 8331-718, Fax. 0251-8312-755
E-mail: nwidiarta@gmail.com*

Diterima: 22 Juni 2020; Revisi: 22 Januari 2021; Disetujui: 09 Maret 2021

ABSTRAK

Sejak inovasi revolusi hijau diintroduksi di Indonesia, hama dan penyakit tanaman semakin berkembang sehingga menghambat upaya peningkatan produktivitas dan produksi padi. Hal ini antara lain disebabkan oleh penggunaan pestisida yang tidak rasional. Tulisan ini mengulas kesiapan sistem pendukung pengambilan keputusan (SPPK) berbasis teknologi informasi (TI) dalam pengendalian hama terpadu (PHT) oleh penyuluh maupun petani di lapangan. PHT mengintegrasikan berbagai teknik pengendalian hama dan penyakit agar tetap berada di bawah ambang ekonomi. TI diperlukan agar penyuluh dan petani dapat dengan cepat mengakses sumber informasi tentang jenis hama dan penyakit tanaman serta perkiraan perkembangan dan teknik pengendalian untuk penerapan PHT. SPPK berbasis TI yang bertujuan menjadikan tanaman tumbuh sehat, pengamatan dan monitoring perkembangan hama dan penyakit, serta penyuluhan berbasis web sudah tersedia, kecuali identifikasi dan cara pemanfaatan musuh alami. Oleh karena itu perlu dikembangkan SPPK berbasis TI yang dapat diakses melalui web maupun telepon pintar dan menciptakan lingkungan yang memungkinkan untuk meningkatkan implementasi PHT tidak hanya oleh petugas tetapi juga petani secara bertahap dalam upaya mengendalikan hama dan penyakit padi yang masih menjadi kendala dalam peningkatan produksi.

Kata kunci: Padi, hama, penyakit, pengendalian hama terpadu, teknologi informasi

ABSTRACT

Pest and disease are important biotic obstacles to increase rice yield and production in Indonesia since adoption of green revolution to increase rice yield. This is partly due to the irrational use of pesticides. This paper is a review on information technology (IT) based decision support system (DSSs) in line to the integrated pest management (IPM) implementation strategy for extensionists and farmers in the fields. IPM integrates compatible control techniques to manage pest populations below the economic injury level. IT based DSSs ultimately needed so that extension workers and farmers can quickly access sources of information about pests and

diseases as well as prediction of development and control techniques to implement IPM. Web based DSSs to grow healthy rice plant, pest observation and monitoring, cyber extension to make famers an expert on IPM were available, except on how to identify and utilize natural enemies are still lacking. Indonesia need to develop more IT based DSSs which accessible on web as well as on smartphone and create enabling environment for improving IPM implementation on rice not only by officer but also gradually by farmers it self to control pests and diseases of rice which are still an obstacle in increasing production.

Keywords: Rice, pest, diseases, integrated pest management, information technology

PENDAHULUAN

Kementerian Pertanian terus berupaya meningkatkan produksi padi guna memenuhi kebutuhan dalam negeri terkait dengan jumlah penduduk yang terus meningkat dan tingkat konsumsi beras yang lebih tinggi dibandingkan dengan negara-negara produsen padi lainnya (Malian *et al.* 2016). Pemerintah bahkan terus berupaya melanjutkan swasembada beras guna menjadikan Indonesia sebagai lumbung pangan dunia pada tahun 2045. Peningkatan produksi padi antara lain dapat diupayakan dengan mempertahankan luas panen dari kerusakan tanaman akibat cekaman abiotik maupun biotik dan menjaga luas pertanaman yang dapat dipanen tidak berkurang dari luas tanam. Selain itu diupayakan menekan tingkat kehilangan hasil prapanen akibat berkurangnya jumlah anakan produktif, dan/atau berkurangnya kemampuan daun berfotosintesis, serta hilangnya sebagian gabah pada saat panen (Maulana 2016).

Cekaman biotik akibat serangan hama dan penyakit serta cekaman abiotik akibat tanaman kekeringan dan banjir seringkali terjadi sebagai dampak perubahan iklim. Kejadian ini tidak jarang mengurangi luas panen dan

bahkan pertanaman mengalami gagal panen atau puso (Supriyanto 2013). Nilai kerugian akibat pertanaman puso karena serangan organisme pengganggu tanaman (OPT) utama padi (BBPOPT 2018) dapat dilihat pada Tabel 1.

Nilai kerugian karena tanaman puso akibat serangan tikus paling besar dengan rata-rata mencapai Rp 83,6 milyar per tahun. Pada urutan berikutnya disebabkan oleh serangan hama wereng batang cokelat dan penggerek batang padi dengan kerugian berturut-turut Rp 28,8 milyar dan Rp 12,8 milyar per tahun. Penyakit blas menimbulkan kerugian lebih besar dibandingkan dengan penyakit utama lainnya yang mencapai Rp 10 milyar per tahun. Kerugian yang disebabkan oleh penyakit tungro Rp 7,5 milyar, sementara nilai kerugian yang disebabkan oleh penyakit hawar daun bakteri Rp 3,3 milyar per tahun. Nilai kerugian yang disebabkan oleh serangan hama dan penyakit pada pertanaman padi secara nasional tidak signifikan, tetapi bagi petani gurem dengan rata-rata luas garapan kurang dari 0,5 ha sangat berarti karena mengurangi pendapatan usaha tani mereka (Kasryno 2016).

Tingkat kerusakan tanaman akibat cekaman biotik dan/atau abiotik bergantung pada intensitas cekaman, dari ringan sampai berat. Kehilangan hasil padi akibat serangan hama sebagai salah satu dampak dari pemanasan global diperkirakan mencapai 10-25% setiap peningkatan satu derajat suhu rata-rata permukaan bumi (Deutsch *et al.* 2018). Kehilangan hasil padi karena cekaman kekeringan di India menurun akhir-akhir ini karena adanya perbaikan jaringan irigasi dan ditemukannya varietas toleran kekeringan serta cara pengendalian hama dan penyakit yang lebih sesuai (Birthal *et al.* 2015).

Revolusi hijau (RH) yang dikembangkan di Indonesia sejak tahun 60an berkontribusi terhadap lonjakan peningkatan produktivitas padi sebagai dampak dari penerapan Panca Usaha Tani (Yulia 2019).

Peningkatan produktivitas dan produksi padi juga diikuti oleh pergeseran jenis hama yang merusak tanaman padi (Sogawa 2015; Bottrell dan Schoenly 2012). Penggunaan insektisida yang tidak rasional dengan sistem kalender, disamping introduksi varietas unggul

baru yang responsif terhadap urea, telah menjadikan tanaman padi dan lingkungan abiotik maupun biotik lebih menguntungkan bagi perkembangan hama dan penyakit (Pranadji dan Saptana 2016).

Kelemahan inovasi RH generasi 1,0 dapat diperbaiki menjadi RH generasi 2,0 dengan meningkatkan potensi hasil varietas padi, ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik dan abiotik, memperbaiki daya saing dan keberlanjutan produksi (Pingali 2012). Pengendalian hama dan penyakit pada awal pengembangan RH bertumpu pada penggunaan insektisida yang disubsidi oleh pemerintah dalam paket Panca Usaha Tani. Belajar dari kegagalan pengendalian hama yang bertumpu pada penggunaan insektisida, diintroduksi dan diintensifkan penerapan inovasi pengendalian hama terpadu (PHT) yang mengintegrasikan berbagai komponen teknologi (Mariyono *et al.* 2010). Penerapan PHT menggunakan jalur peneliti-pengamat hama-penyuluh-petani berjalan dengan baik sehingga mengurangi kejadian *outbreak* hama dan penyakit.

Seiring dengan kemajuan peradaban, teknologi informasi (TI) menjadi penggerak sektor industri termasuk pertanian yang kini telah sampai ke tahap 4,0. PHT pada era pertanian 4,0 dituntut menyediakan sistem pendukung pengambilan keputusan (SPPK) berbasis TI yang dapat diakses tidak hanya oleh petugas atau penyuluh pertanian tetapi secara bertahap juga oleh petani di lapangan (Singh and Gupta 2016). SPPK berbasis TI dimaksudkan agar petani dapat dengan cepat mengakses informasi jenis hama dan penyakit tanaman, memperkirakan perkembangan dan teknik pengendalian dengan menerapkan inovasi PHT. SPPK dibutuhkan penyuluh untuk mengimplementasikan intermediary inovasi sebagai paradigma baru sistem penyuluhan. Sesuai dengan paradigma baru penyuluhan, tugas penyuluh adalah membimbing petani menemukan sumber-sumber informasi yang dibutuhkan dengan dukungan kemajuan TI dalam menjalankan usaha taninya (Sirnawati 2020).

Tulisan ini menelaah *state of the art* digitalisasi komponen teknologi PHT, sejalan dengan ketersediaan SPPK berbasis TI yang dapat diakses melalui website

Tabel 1. Nilai kerugian pertanaman padi yang mengalami puso akibat serangan OPT periode 2018-2020.

Jenis	Spesies	Kelompok	Nilai kerugian (Rp milyar)		
			2018	2019	2020*)
Hama	Tikus	Mamalia	63,9	64,6	122,5
	Wereng batang cokelat	Serangga	13,6	32,9	39,9
	Penggerek batang padi	Serangga	2,8	21,8	13,9
Penyakit	Hawar daun bakteri	Bakteri	1,3	1,3	0,7
	Blas	Jamur	17,3	2,6	10,1
	Tungro	Virus	20,5	1,8	0,1

*) Data terhitung sampai 6 November 2020. Produktivitas nasional 2018-2020 berturut-turut 5,2 ton/ha; 5,1 ton/ha; dan 5,1 ton/ha (BPS 2020). Harga rata-rata tahunan gabah kering giling (GKG) 2018-2019 berturut-turut Rp 5.501/kg; Rp 5.435/kg; dan Rp 5.312/kg (Pusdatin 2019; Antara 2020).

maupun telepon pintar, selaras dengan strategi penerapan PHT pada tanaman padi stadia prapanen (*on-farm*) di Indonesia.

SIKLUS BUDI DAYA PADI

Lahan sawah yang dapat ditanami padi berdasarkan topografi terbentang dari ketinggian 0 m di atas permukaan laut (dpl) hingga lebih dari 1.000 m dpl (Zen 2017). Berdasarkan produktivitasnya, tipologi lahan sawah dibedakan atas lahan optimal dan lahan suboptimal. Lahan sawah irigasi termasuk lahan optimal dengan produktivitas tinggi. Produktivitas lahan suboptimal lebih rendah dari lahan optimal. Tipologi lahan suboptimal dapat dipilah menjadi lahan kering masam, lahan kering iklim kering, lahan rawa pasang surut, lahan rawa lebak, dan lahan gambut (Mulyani dan Sarwani 2013).

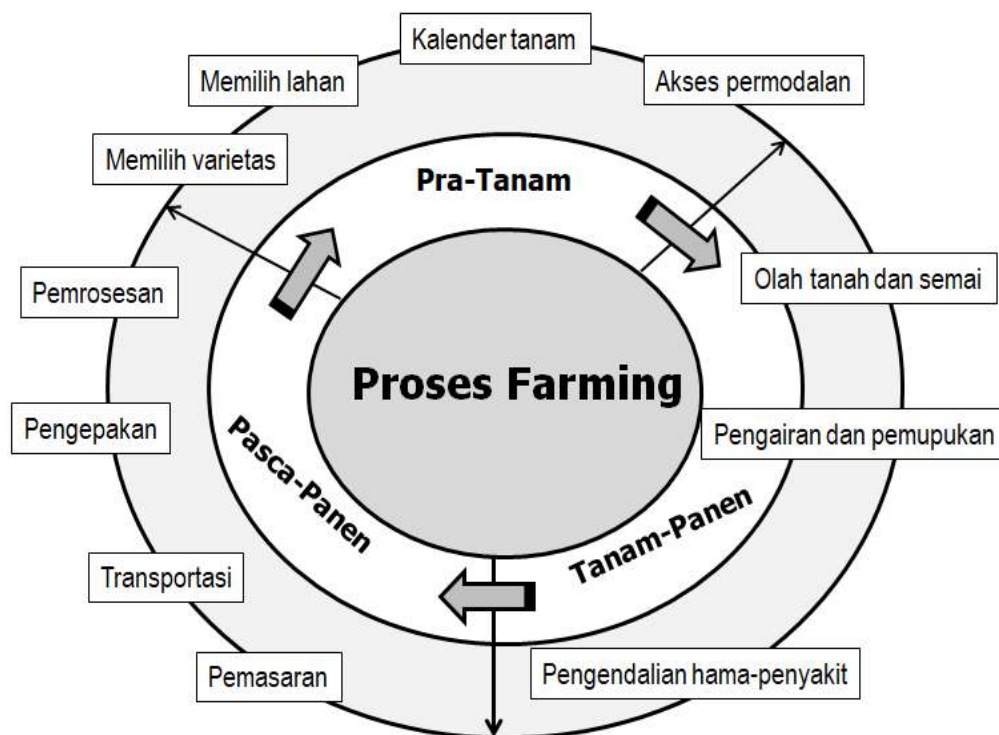
Iklim tropis di Indonesia dengan fluktuasi suhu yang relatif stabil, meskipun kelembaban relatif berbeda antarmusim hujan dan musim kemarau, masih memungkinkan untuk menanam padi tiga kali dalam setahun. Bahkan apabila syarat teknis dan efisiensi biaya terpenuhi masih memungkinkan untuk ditanami empat kali setahun (Supriatna 2012).

Secara garis besar, perkembangan tanaman padi dalam satu musim tanam dapat dipilah menjadi tiga fase, yaitu fase sebelum tanam, fase tanam dan panen, serta fase setelah panen seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada fase sebelum tanam, petani umumnya melakukan pemilihan varietas sesuai dengan tipologi lahan sawah dan preferensi konsumen, mencari modal usaha untuk pembelian agro-input, dan membayar upah tenaga kerja. Pranata mangsa masih digunakan oleh petani di beberapa daerah dalam memilih waktu yang tepat untuk memulai budi daya tanaman (Kristoko *et al.* 2012). Kalender tanam terpadu (KATAM) telah dikembangkan sebagai antisipasi dampak perubahan iklim yang menyebabkan pergeseran musim tanam (Ramadhani *et al.* 2015). Budi daya tanaman dimulai dari pengolahan tanah dan menabur benih di persemaian, tanam pindah, dan pemeliharaan tanaman sampai panen. Pemeliharaan tanaman meliputi kegiatan pengairan, pemupukan, dan pengendalian OPT. Hasil panen diambil oleh pengumpul gabah untuk selanjutnya dibawa ke tempat penggilingan, sebagian dikemas atau dijual curah ke pasar induk. Selanjutnya, uraian difokuskan pada pemeliharaan dan pengendalian tanaman dari gangguan hama dan penyakit utama tanaman padi pada periode prapanen.

HAMA DAN PENYAKIT UTAMA TANAMAN PADI

Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tanaman (BBPOPT) melaporkan enam kejadian serangan OPT utama padi pada musim hujan 2017/18 dan musim kemarau 2018 (BBPOPT 2018). Luas serangan OPT utama padi pada 2018-2020 dapat dilihat pada Tabel 2. Serangan terluas



Gambar 1. Siklus budi daya tanaman padi (Sumber: Ravi 2012).

Tabel 2. Luas serangan hama dan penyakit utama padi dalam periode 2018-2020.

Jenis	Spesies	Kelompok	Luas serangan (ha)		
			2018	2019	2020*)
Hama	Tikus	Mamalia	81.086	84.123	94.228
	Wereng batang cokelat	Serangga	29.920	37.164	73.278
	Penggerek batang padi	Serangga	96.369	92.843	96.462
Penyakit	Hawar daun bakteri	Bakteri	46.185	39.540	38.485
	Blas	Jamur	43.604	45.105	61.632
	Tungro	Virus	3.717	2.335	1.607

*) Data sampai 6 November 2020.

Sumber: (Pusdatin 2020 diolah).

yang mencapai lebih dari 90.000 ha per tahun disebabkan oleh hama penggerek batang padi (*Scirpophaga* spp), melebihi luas serangan hama tikus sawah (*Rattus argentiventer*) 80.000 ha, dan wereng batang cokelat (*Nilaparvata lugens* Stal) 45.000 ha. Tingkat penularan penyakit blas yang disebabkan oleh jamur *Pyricularia oryzae* rata-rata 50.000an ha per tahun, menempati urutan penularan terluas di antara penyakit utama padi. Penyakit hawar daun bakteri (*Bacterial leaf blight*) yang disebabkan oleh bakteri *Xanthomonas campestris* menginfeksi 40.000an ha pertanaman padi dan penyakit tungro yang disebabkan oleh virus yang paling efisien ditularkan oleh *Nephotettix virescens* menginfeksi pertanaman padi 2.500an ha per tahun.

Gejala kerusakan, stadia kritis tanaman padi, dan penyebab kehilangan hasil berbeda antarjenis penyakit (Tabel 3). Tikus menyerang padi dari saat persemaian sampai di gudang tempat penyimpanan. Gejala serangan tikus pada tanaman padi paling jelas terlihat pada fase

vegetatif. Dalam satu petakan sawah, gejala serangan hama ini terlihat seperti kepala orang “botak” karena pertanaman padi yang terserang hanya di bagian tengah, sedangkan di baris pinggir tidak terserang (Rahman *et al.* 2018). Kerusakan tanaman semakin meningkat seiring dengan peningkatan indeks pertanaman dan ketidakserempakan tanam yang menyebabkan akumulasi peningkatan populasi tikus (Sudarmaji *et al.* 2017). Kepadatan populasi tikus meningkat cepat sejak tanaman padi pada fase generatif awal dan saat tanaman padi memasuki fase primordia. Pada saat bersamaan, alat kelamin tikus jantan matang siap membuahi tikus betina dewasa (Sudarmaji *et al.* 2005).

Tanaman kering berwarna seperti jerami adalah gejala kerusakan yang timbul akibat hisapan cairan oleh hama wereng batang cokelat dengan populasi tinggi, yang dikenal dengan gejala *hopperburn* atau puso (Baehaki 2011).

Tabel 3. Gejala serangan hama dan penyakit, stadia kritis, dan penyebab kehilangan hasil padi.

Jenis	Spesies	Gejala serangan	Stadia kritis	Penyebab kehilangan hasil	Pustaka
Hama	Tikus	Anakan atau malai padi terpotong	Generatif (<i>panicle primordia</i>)	Rumpun dan anakan produktif berkurang	Rahman <i>et al.</i> 2018; Sudarmaji <i>et al.</i> 2005)
	Wereng batang cokelat	Tanaman kering (<i>hopperburn</i>)	Generatif	Rumpun, anakan produktif dan bobot gabah	Baehaki 2011
	Penggerek batang padi	Anakan atau malai kering	Vegetatif dan generatif	Anakan produktif	Baehaki 2013
Penyakit	Hawar daun bakteri	Bagian daun kering	Vegetatif dan generatif	Rumpun kering, asimilasi terganggu	Sudir <i>et al.</i> 2012
	Blas	Bercak pada bagian daun, malai kering	Generatif	Anakan produktif, bobot gabah	Sudir <i>et al.</i> 2014
	Tungro	Daun muda kuning dari ujung, kerdil, anakan berkurang	Vegetatif	Anakan produktif dan bobot gabah	Ling 1979

Pada kondisi inang dan lingkungan yang mendukung, perkembangan hama wereng batang cokelat memerlukan waktu paling tidak dua generasi untuk mencapai kepadatan populasi yang dapat menyebabkan kerusakan tanaman padi secara langsung (Sawada *et al.* 1992). Kepadatan populasi wereng batang cokelat dilaporkan dapat meningkat (*resurgence*) setelah aplikasi insektisida karena turut matinya musuh alami (Bottrell dan Schoenly 2012). Semua spesies penggerek batang padi menyebabkan gejala kerusakan yang sama disebut “sundep” berupa pucuk tanaman kering pada fase vegetatif dan “beluk” berupa malai tanaman kering dan hampa pada fase generatif (Baehaki 2013). Pucuk tanaman maupun malai yang kering mudah dicabut karena hampir putus digerek oleh larva penggerek.

Penyakit hawar daun bakteri dan blas menyebabkan kerusakan pada daun, sehingga menghambat proses asimilasi. Gejala “kresek” adalah gejala kerusakan tanaman menjadi kering oleh bakteri pada fase vegetatif awal, sedangkan setelah fase generatif menyebabkan daun bendera kering yang disebut “hawar daun” (Sudir *et al.* 2012). Gejala penyakit blas tidak hanya berupa kerusakan pada daun (*leaf blast*), tetapi juga berupa kerusakan pada pangkal malai (*neck blast*) yang dapat menghambat pengisian gabah sehingga gabah menjadi hampa. Menurut sebagian petani, *neck blast* dikenal sebagai penyakit “potong leher” (Sudir *et al.* 2014).

Penyakit tungro disebabkan oleh dua partikel virus berbentuk bulat dan batang, yang paling efektif ditularkan oleh hama wereng hijau, *Nephotettix virescens*. Hubungan penularan antara virus dan wereng hijau sangat unik. Virus batang hanya ditularkan oleh wereng hijau apabila sebelumnya telah terinfeksi virus bulat (Cabauatan and Hibino 1984). Tanaman padi yang terinfeksi kedua jenis virus tungro menunjukkan gejala yang khas, yaitu daun paling muda yang telah terbuka menguning sampai jingga dari ujung, daun sedikit melintir, tinggi tanaman berkurang karena jarak antara buku (*internode*) memendek. Di samping itu jumlah anakan dan gabah bernas sedikit, yang menyebabkan tanaman tidak mampu mencapai potensi hasil (Ling 1979). Berkurangnya jumlah anakan dan tidak sempurnanya pengisian gabah merupakan dua komponen hasil yang dipengaruhi oleh penyakit tungro sebagai penyebab utama berkurangnya hasil panen (Widiarta 2014).

Kerdil rumput dan kerdil hampa adalah dua penyakit yang biasanya muncul setelah populasi wereng batang cokelat cukup tinggi (*outbreak*) sampai tanaman kering (puso) (Suprihanto *et al.* 2016), sehingga tidak selalu dilaporkan kejadian luas penularannya. Pada saat kepadatan populasi wereng batang cokelat tinggi, imago sayap panjang (makroptera) kembali muncul selain imago sayap pendek (brakhiptera) memperluas penyebaran penyakit virus kerdil hampa dan kerdil rumput (Baehaki 2011; Dini *et al.* 2015). Gejala penyakit kerdil rumput tipe II sekilas mirip penyakit tungro, yang akhir-akhir ini juga ditemukan di lapangan.

PENGENDALIAN HAMA TERPADU

Inovasi pengendalian hama terpadu (PHT) di Indonesia awalnya diterapkan untuk mengendalikan wereng batang cokelat, yang serangannya meningkat setelah introduksi RH dalam bentuk paket Panca Usaha Tani (Savary *et al.* 2012). Varietas unggul baru yang responsif terhadap pemupukan dan rekomendasi pestisida secara terjadwal sangat menguntungkan perkembangan hama wereng batang cokelat. Setelah itu pendekatan PHT juga diterapkan untuk mengendalikan hama selain serangga seperti patogen penyebab penyakit dan mamalia yang merusak tanaman seperti tikus (Widiarta dan Muhsin 2016; Sudarmaji 2018).

Konsep PHT paling awal merupakan koreksi terhadap cara pengendalian yang hanya mengandalkan pestisida, untuk diintegrasikan dengan pengendalian biologi (Stern *et al.* 1959). Aplikasi pestisida yang intensif menyeleksi organisme target menjadi tahan dan mematikan musuh alami, sehingga kepadatan populasi organisme target meningkat lebih cepat dibandingkan dengan yang tidak diaplikasikan pestisida yang disebut resurgen (Bottrell dan Schoenly 2012). Konsep PHT yang disusun oleh panel ahli Food and Agriculture Organization (FAO) pada tahun 1965 salah satunya dijadikan acuan dalam pengendalian hama tanaman padi. Konsep PHT yang dirumuskan oleh para ahli ini didasari oleh pemahaman akan adanya hubungan antara dinamika populasi/epidemiologi dengan lingkungan suatu jenis hama dan penyakit. Pengendalian hama dan penyakit yang menjadi target menggunakan berbagai teknik pengendalian yang kompatibel, untuk menjaga agar populasi hama atau kerusakan tanaman oleh penyakit di bawah ambang ekonomi (FAO 1966).

PHT memanfaatkan faktor abiotik seperti iklim, suhu, kelembaban, curah hujan, dan faktor biotik seperti agens pengendali penyakit, predator, parasit maupun parasitoid, selain berbagai teknik pengendalian biologi, fisik, kimia, modifikasi lingkungan dengan cara budi daya secara kompatibel (Bottrell dan Bottrell 1979). Integrasi berbagai teknik pengendalian dalam penerapan PHT menuntut kerja sama berbagai bidang ilmu maupun kepakaran, antara lain bidang klimatologi pertanian, pemuliaan, budi daya tanaman, hama dan penyakit tanaman. Komponen teknologi pengendalian diterapkan secara bertahap sesuai stadia tanaman pada saat pratanam, stadia vegetatif dan generatif, serta sebelum panen sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Penggunaan pestisida sesuai rekomendasi dapat dilakukan berdasarkan hasil pengamatan setelah diketahui melewati ambang kendali (Widiarta dan Suharto 2009).

Penerapan PHT di Asia dan Afrika telah berhasil meningkatkan rata-rata hasil padi 40,9% dan pengurangan penggunaan insektisida baru 37,9% karena masih kurangnya dukungan kebijakan dalam implementasi PHT melawan intervensi industri pestisida (Pretty dan Bharucha 2015), dan meningkatkan 30-40% populasi musuh alami (Arora *et al.* 2019).

Tabel 4. Komponen teknologi pengendalian dan ambang kendali hama dan penyakit tanaman padi pada fase vegetatif dan generatif.

Jenis	Spesies	Komponen teknologi dan ambang kendali	
		Pratanam-vegetatif	Generatif-sebelum panen
Hama	Tikus	<ul style="list-style-type: none"> • Pemantauan dini populasi • Sanitasi habitat • Gropyokan • Pagar plastik pesemaian • Penangkapan tikus dengan sistem perangkat bubu (SPB) • Pemasangan umpan dan pengemposan • Penangkapan tikus migran dengan sistem perangkat bubu linear (SPBL) • Sanitasi habitat tikus di lingkungan desa • Pemasangan umpan campur rodentisida 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengemposan lubang aktif • Pemasangan SPBL • Pemasangan sistem perangkat bubu kelompok (SPBK)
	Wereng batang cokelat	<ul style="list-style-type: none"> • Di daerah endemis dianjurkan menanam varietas tahan sesuai biotipe yang berkembang • Ambang kendali: wereng terkoreksi 5 ekor (tanaman umur > 40 HST) atau wereng terkoreksi 20 ekor (tanaman umur > 40 HST) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambang kendali: wereng terkoreksi 20 ekor (tanaman umur > 40 HST) < 40 HST)
	Penggerek batang padi	<ul style="list-style-type: none"> • Memantau larva pada tunggul padi (ratun) atau penerbangan ngengat • Pengambilan kelompok telur di persemaian • Penangkapan ngengat secara massal dengan feromon seks • Ambang kendali: ditemukan > 1 kelompok telur/m², atau gejala > 5% varietas umur genjah atau > 10% varietas umur dalam 	<ul style="list-style-type: none"> • Ambang kendali: tangkapan feromon 100 ekor/minggu, atau tangkapan lampu perangkap 300 ekor/minggu.
Penyakit	Hawar daun bakteri	<ul style="list-style-type: none"> • Pilih varietas tahan sesuai dengan strain yang berkembang • Tanam jajar legowo • Pemupukan berimbang • Ambang kendali: 20% gejala 	
	Blas	<ul style="list-style-type: none"> • Membakar sisa-sisa tanaman sakit • Tidak menanam benih yang berasal dari daerah endemis • Menyediakan benih varietas tahan • Perlakuan benih dengan fungisida • Tanam berselang antara varietas peka dan varietas tahan • Tidak memupuk nitrogen secara berlebihan 	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak memupuk nitrogen secara berlebihan • Ambang kendali: skala 5-7
	Tungro	<ul style="list-style-type: none"> • Tanam seawal mungkin, minimal pada areal 50 ha. • Bila dapat mengatur waktu tanam, sebar benih 1-2 bulan lebih awal, sebelum puncak kepadatan populasi wereng hijau terjadi • Gunakan varietas tahan wereng hijau dengan pergiliran varietas atau varietas tahan virus tungro sesuai varian virulensi yang berkembang • Sebar benih di persemaian setelah lahan bersih dari gulma • Tanam jajar legowo • Tanah sawah jangan dibiarkan sampai kering • Ambang kendali: indeks tungro 75 (perkalian populasi wereng hijau dan tanaman terinfeksi). Satu gejala dari 1.000 rumpun saat tanaman berumur 21 HST. 	

HST: Hari Setelah Tanam

Sumber: (BB Padi 2008; Widiarta dan Suharto 2009).

SISTEM PENDUKUNG PENGAMBILAN KEPUTUSAN BERBASIS TEKNOLOGI INFORMASI

Ketersediaan Sistem Komunikasi dan Informasi PHT Padi

Strategi penerapan PHT yang dikembangkan di Indonesia sesuai prinsip dasar PHT (Untung 2007), meliputi: 1) membuat tanaman sehat, dengan mengintegrasikan komponen pengendalian varietas tahan yang dibudidayakan dengan pendekatan pengelolaan tanaman terpadu (PTT) sehingga membuat kondisi lingkungan kurang kondusif bagi perkembangan hama atau penyakit, disamping daya tahan tanaman menjadi lebih baik; 2)

pemanfaatan musuh alami dengan konservasi, rekayasa ekologi untuk memberikan refuji bagi parasitoid, penggunaan biopestida dan pestisida nabati yang tidak merugikan musuh alami; 3) pengamatan rutin dan monitoring untuk mengetahui keadaan darurat pengendalian seperti saat kepadatan populasi serangga imigran tinggi dan kemungkinan kondisi populasi atau kondisi penularan penyakit melebihi ambang kendali; 4) petani dididik sebagai ahli PHT melalui sosialisasi, sekolah lapang, dan pendampingan oleh pengamat, penyuluh, dan peneliti. Sistem pendukung pengambilan keputusan berbasis TI yang telah tersedia untuk diterapkan di lapangan disajikan pada Tabel 5. Sistem pakar dikembangkan untuk membantu petani dalam pengambilan keputusan yang tepat dari berbagai faktor yang kompleks pada setiap tahapan pertanian padi,

Tabel 5. Strategi penerapan PHT dan SPPK.

No Strategi	SPPK	Fitur utama	Pustaka
1. Membuat tanaman sehat	UPBS	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web: upbs.litbang.pertanian.go.id Menyediakan informasi jenis varietas dan ketersediaan benih sumber varietas tahan cekaman biotik dan/atau abiotik 	Balitbangtan 2010
	Kalender Tanam (KATAM) Terpadu	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web: katam.litbang.pertanian.go.id Informasi waktu tanam, luas tanam, rekomendasi varietas, dosis dan kebutuhan pupuk, peta daerah endemis hama penyakit, banjir dan kekeringan. 	Ramadhani <i>et al.</i> 2015
	Layanan konsultasi padi (LKP)	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web: webapps.irri.org/lkp/id Informasi teknik pengelolaan budi daya padi, target hasil berdasarkan rata-rata hasil yang pernah dicapai, rekomendasi takaran pupuk N, P, dan K dan strategi pemupukan yang efisien (tepat takaran, tepat sumber, dan waktu aplikasi). 	Suyanto dan Saeri 2018
	Sipavar	<ul style="list-style-type: none"> Sistem pakar (Sipavar versi 3.0) dalam bentuk CD, cara pemilihan varietas padi. 	Makarim 2009; Ikhwan 2014
	Sipapukdi	<ul style="list-style-type: none"> Sistem pakar dalam bentuk CD, cara pemupukan padi sawah 	Makarim 2009; Ikhwan 2014
2. Pemanfaatan Musuh alami	-	-	-
3. Pengamatan dan monitoring	<i>Rice Crop Doctor</i>	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web: knowledgebank.irri.org Alat diagnose mengidentifikasi masalah tanaman padi 	Phadikar <i>et al.</i> 2013
	Sistem pakar diagnosis hama padi	<ul style="list-style-type: none"> Sistem pakar berbasis web Deskripsi hama, cara merusak tanaman dan cara pengendalian 	Ifriza dan Djuniadi 2015
	Sistem pakar diagnosis penyakit padi	<ul style="list-style-type: none"> Sistem pakar berbasis web Identifikasi penyakit berdasarkan gejala dan cara penanganannya 	Irwan 2016
	Dokter penyakit padi	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi android Diagnosis penyakit padi 	Sahbana 2017
	FuzzyXPest	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web Informasi jenis hama dan memprediksi kemungkinan perkembangannya. 	Siraj dan Arbaiy 2006
4. Petani ahli PHT	<i>Cyber extention system</i>	<ul style="list-style-type: none"> Berbasis web: cybex.pertanian.go.id Berisi materi diseminasi teknologi, spesifik lokalita dan materi penyuluhan. 	Fangohoi <i>et al.</i> 2018

khususnya dalam upaya pengendalian hama dan penyakit dengan pendekatan PHT (Dubey *et al.* 2013), yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi biaya usaha tani (Juan dan Lanzhu 2007). Sistem pakar dalam pengambilan keputusan pengendalian hama terpadu modern mencakup pemanfaatan informasi tentang perkembangan hama dan penyakit, sejalan dengan stadia pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh praktek budi daya dan lingkungan biotik maupun abiotik.

Tanaman sehat. Dalam upaya membuat tanaman sehat dimulai dari sebelum tanam telah tersedia SPPK berbasis IT seperti KATAM pada web yang memberikan informasi untuk mulai tanam berdasarkan ramalan iklim yang diterbitkan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG), sebagai alternatif pengganti kearifan lokal seperti pranata mangsa di era perubahan iklim yang menyebabkan pergeseran musim tanam. Kalender tanam juga berisi informasi peta daerah endemis hama dan penyakit berdasarkan historikal data, disamping prediksi awal waktu tanam, estimasi luas tanam, potensi wilayah rawan banjir dan kekeringan, rekomendasi varietas, rekomendasi dosis dan kebutuhan pupuk (Ramadhani *et al.* 2015) untuk menghindari atau membuat tanaman mampu menghadapi cekaman biotik maupun abiotik.

Sistem pakar Sipavar adalah aplikasi digital yang dapat digunakan untuk memilih varietas padi yang akan ditanam, sedangkan untuk mengetahui keperluan dosis pupuk spesifik lokasi telah dikembangkan aplikasi digital sistem pakar Sipapukdi (Makarim 2009; Ikhwan 2014). Layanan konsultasi padi (LKP) terjemahan dari *Rice Knowledge Bank* yang dikembangkan oleh IRRI tersedia

pada web. Layanan konsultasi padi menjanjikan pengurangan intensitas serangan hama dan penyakit, peningkatan produktivitas dan pendapatan petani (Suyanto dan Saeri 2018).

Pemanfaatan musuh alami. Peningkatan pengetahuan petani melalui SPPK berbasis TI untuk mengenalkan kepada petani tentang jenis musuh alami, teknik konservasi dan rekayasa ekologi untuk meningkatkan populasi parasitoid pada tanaman padi belum tersedia secara ilmiah dan komprehensif, baru tersedia dalam bentuk panduan (Shepard *et al.* 2011; Widiarta dan Muhsin 2016; Sudarmaji 2018). Sistem pakar untuk identifikasi musuh alami hama tembakau telah dikembangkan di India (Ravisankar *et al.* 2014). Di Indonesia juga perlu dikembangkan sistem pakar untuk identifikasi musuh alami hama padi, seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap kelestarian lingkungan dan kesehatan.

Pengamatan dan monitoring. *Rice Crop Doctor* yang dikembangkan IRRI merupakan *expert system* yang dapat memberikan diagnosis tentang jenis hama atau penyakit yang menyerang tanaman berdasarkan gambar dan memberikan rekomendasi pengendaliannya (Phadikar *et al.* 2013). Sistem pakar yang dibangun menggunakan data dasar gejala hama di lapangan bertujuan untuk identifikasi hama padi (Ifriza dan Djuniadi 2015) dan diagnosis penyakit padi (Irwan 2016) telah mulai dikembangkan (Tabel 6). FuzzyXPest yang dikembangkan menggunakan fuzzy logic dapat memberikan informasi tentang jenis hama dan memprediksi kemungkinan perkembangannya melalui internet (Siraj dan Arbaiy 2006).

Tabel 6. Hama padi, gejala, dan cara merusaknya sebagai dasar penyusunan Sistem Pakar Diagnosis Hama Padi (Ifriza and Djuniadi 2015).

Hama	Cara merusak	Gejala	Bagian tanaman
Wereng coklat (<i>Nilaparvata lugens</i> Stal)	1. Merusak tanaman padi dengan mengisap cairan batang tanaman 2. Penyerangan dilakukan pada sekelompok tanaman padi 3. Menyebarkan virus kerdil rumput (<i>grassy stunt</i>)	1. Berubah warna menjadi kekuning-kuningan, kemudian mengering 2. Sekelompok tanaman kelihatan terbakar (hopper burn), kerdil rumput	Batang
Wereng hijau (<i>Nephotettix</i> spp.)	1. Merusak daun dengan mengisap cairan daun 2. Pada bekas kerusakan ditumbuhi jelaga 3. Menyebarkan virus yang mengakibatkan tungro, kerdil kuning (<i>yellow dwarf</i>)	1. Daun ditumbuhi jelaga 2. Daun mengering 3. Kerdil dan daun berwarna kuning kecokelatan 4. Tunas sedikit, waktu berbunga tertunda 5. Malai kecil	Daun
Penggerek batang padi (<i>Tryporyza innotata</i> WLK)	1. Larva yang baru menetas menuju pelepah daun 2. Ulat menembus pelepah daun dan menggerek jaringan pembuluh batang	1. Pucuk tanaman padi layu, kering, dan kuning kemerahan 2. Pucuk mudah dicabut 3. Daun mulai mengering	Batang, pelepah daun
Tikus (<i>Rattus argentiventer</i>)	Mengerat batang atau makan biji padi	1. Banyak tanaman roboh 2. Pertanaman tampak botak bekas serangan tikus	Semua bagian tanaman, terutama batang dan gabah

Remote sensing menggunakan *Unmanned Aerial Vehicles* (UAVs) telah dikembangkan untuk mengamati keberadaan hama-penyakit dan kondisi cuaca mikro pada pertanian (Gao *et al.* 2020). Gangguan hama-penyakit merangsang perubahan fisiologi tanaman yang menyebabkan terjadinya perubahan refleksi spektrum cahaya yang dapat dideteksi dengan teknik inderaja, yang selanjutnya dapat memberikan rekomendasi pengendalian hama-penyakit secara presisi (Iost Filho *et al.* 2020). Di dalam negeri, Alfarisi *et al.* (2018) telah menggunakan drone yang dilengkapi dengan *Closed Circuit Television* (CCTV) dan audio untuk memonitor dan sekaligus mengusir burung. Monitoring hama dan penyakit tanaman gandum telah berhasil dilakukan dengan menggunakan data satelit Worldview-2 dan Landsat-8 dengan model vegetasi dan indeks lingkungan (Yuan *et al.* 2017).

Petani ahli PHT. *Cyber extension system* berbasis web dikembangkan oleh Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Pertanian, dapat dimanfaatkan penyuluh untuk mendapatkan materi penyuluhan dalam upaya menjadikan petani ahli menerapkan PHT. Kemungkinan pemanfaatannya secara langsung oleh petani sangat kecil karena hanya sebagian kecil petani yang memiliki komputer yang terhubung dengan jaringan internet dan mereka umumnya memiliki telepon pintar (Burman *et al.* 2013). Keberhasilan pemanfaatan *cyber extension system* berbasis web sangat bergantung pada motivasi petani dalam mencari informasi (Amin 2014).

Kementerian Pertanian telah membangun *cyber extension* untuk mempercepat diseminasi teknologi melalui penyuluh pertanian, bahkan langsung kepada petani (Fangohoi *et al.* 2018). Sistem pakar yang khusus menargetkan penggunaannya untuk penyuluh telah dikembangkan untuk diagnosis hama dan penyakit padi, caranya merusak tanaman, dan rekomendasi pengendaliannya (Ifriza dan Djuniadi 2015; Irwan 2016).

Implementasi dan Kendala Pengembangan Sistem Komunikasi dan Informasi dalam PHT Padi

Penyuluh pertanian sangat berperan menyampaikan informasi SPPK agar inovasi dapat diterapkan oleh petani sehingga menjadi inovasi. Dewasa ini peran penyuluh berubah seiring dengan perubahan lingkungan strategis dan paradigma penyuluhan (Sirnawati 2020). Perubahan lingkungan strategis mendorong penyuluh berubah fungsi dari penyampai teknologi menjadi penyedia informasi agar terjadi inovasi, sejalan dengan perubahan paradigma alih teknologi menjadi intermediary inovasi dalam sistem inovasi. SPPK PHT merupakan bagian dari sistem inovasi yang tidak hanya berasal dari lembaga penelitian tetapi juga dari berbagai sumber yang dapat dimanfaatkan oleh petani.

Pemanfaatan SPPK PHT oleh petani masih memerlukan bimbingan teknis dari penyuluh pertanian lapangan (PPL) dan pengamat hama-penyakit (PHP) sebagai salah satu bentuk kegiatan Komando Strategis Petani (Kostratani) di tingkat kecamatan. Penerapan SPPK PHT dilakukan secara bertahap sesuai tahapan budi daya tanaman (Widiarta dan Muhsin 2016). Pada fase pratanam, penyuluh bersama petani mengakses inovasi kalender tanam pada web maupun *smartphone* untuk mengetahui saat tanam yang tepat, memilih varietas, dan memastikan ketersediaan benihnya untuk menghindari atau mengurangi dampak cekaman biotik. Pada periode yang sama mereka membuka Layanan Konsultasi Padi (LKP) untuk menentukan kebutuhan pupuk secara berimbang, sesuai kebutuhan tanaman dan status hara spesifik lokasi. Bimbingan teknis PHP sangat dibutuhkan petani dalam melakukan pengamatan ambang kendali maupun memperkirakan perkembangan hama dan penyakit dengan SPPK pengamatan dan monitoring. Akses SPPK dapat dijadikan salah satu topik bimbingan teknis di Kostratani.

Para perancang sistem informasi (SI) belum menjadikan petani sebagai target *end-user* tetapi pemanfaatannya oleh petani melalui *research-extension-farmer linkage* (Singh dan Gupta 2016). Ke depan diharapkan para perancang SI menargetkan pengguna akhir (petani). Kebanyakan petani tidak mampu menghitung intensitas serangan atau kepadatan populasi serangga/musuh alami, sehingga sulit bagi mereka menerapkan ambang kendali. Oleh karena itu, petani membutuhkan bimbingan teknis petugas di lapangan.

Belum semua komponen teknologi pendukung strategi penerapan PHT tersedia SPPK berbasis TI seperti SI pemanfaatan dan konservasi musuh alami. SI yang tersedia sebagian besar SPPK berbasis TI yang ada berbasis web. Pemanfaatannya dipengaruhi oleh persepsi dan kompetensi penyuluh dalam pemanfaatan *cyber extension* (Helmy *et al.* 2013) disamping keterbatasan akses internet oleh petani.

Strategi Implementasi Sistem Komunikasi dan Informasi dalam PHT Padi

Keberhasilan implementasi revolusi hijau meningkatkan produksi padi di Indonesia tercermin dari terwujudnya swasembada beras untuk pertama kalinya pada tahun 1984. Hal ini tidak terlepas dari peran alih teknologi panca usaha tani oleh penyuluh, salah satunya pengendalian hama. Seiring dengan pergeseran paradigma penyuluhan dari alih teknologi ke intermediary inovasi, penyuluh memerlukan sumber informasi SPPK yang dibutuhkan pengguna (petani) dan mengkoneksikannya dengan sumber-sumber SI (Sirnawati 2020). Keterkaitan antara peneliti-penyuluh-petani masih relevan dalam penerapan SPPK untuk PHT padi pada kondisi infrastruktur, akses internet, dan kemampuan petani di Indonesia saat ini.

Perkembangan penyakit tanaman sangat kompleks, ditentukan oleh hubungan segitiga antara kemampuan patogen, inang, dan kondisi lingkungan biotik dan abiotik (Semangun 2008), begitu juga hama. Kebanyakan petani hanya mampu melakukan pengamatan kualitatif kondisi cuaca/iklim, keberadaan hama, penyakit, musuh alami, dan lingkungan. Hasil observasi menunjukkan petani umumnya merasa belum yakin akan keberhasilan berusaha tani, sehingga diperlukan aplikasi kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) untuk mengembangkan SPPK yang aplikatif bagi petani (Singh dan Gupta 2016).

SPPK yang tersedia untuk PHT padi dari hasil telaah ini kebanyakan berbasis web. Informasi status hama-penyakit dalam web yang ditampilkan secara statik, belum dapat dijadikan dasar dalam pengambilan keputusan. SPPK berbasis web yang menyediakan konten interaktif-realtime diharapkan dapat dikembangkan karena memudahkan pengambilan keputusan bagi para penggunanya (Damos 2015).

Pandemi covid-19 mendorong berkembangnya pelayanan barang dan jasa secara *on-line* menggunakan telepon pintar. Dokter Penyakit Padi adalah salah satu sistem pakar diagnosis penyakit padi yang menggunakan aplikasi android (Sahbana 2017), sehingga lebih mudah diakses pada telepon pintar yang pemilikannya sudah menyebar luas sampai kepada keluarga petani di perdesaan.

Pemanfaatan SPPK dalam penerapan PHT padi yang merupakan salah satu cara untuk mewujudkan pertanian modern berkelanjutan memerlukan dukungan lingkungan (*enabling environment*) berupa jaringan informasi komunikasi yang handal dan terjangkau, keterkaitan peneliti-penyuluh-petani, keterampilan digital, dan inovasi SPKK.

KESIMPULAN

Pada era pertanian 4,0 teknik pengendalian hama dan penyakit tanaman padi perlu didigitalisasi dan disajikan dalam sistem komunikasi dan informasi untuk membantu petani mengambil keputusan pengendalian. PHT yang mengintegrasikan berbagai komponen teknologi secara kompatibel digunakan sebagai pendekatan untuk mengendalikan hama dan penyakit agar tidak menyebabkan kerugian secara ekonomi tanpa mengganggu keseimbangan fungsi lingkungan. SPPK berbasis TI berperan penting dalam mengimplementasikan inovasi PHT agar tanaman sehat, dan diperlukan dalam pengamatan dan monitoring perkembangan hama dan penyakit. Dalam era TI dewasa ini penyuluhan berbasis web sudah tersedia, kecuali teknik mengidentifikasi, memanfaatkan, dan konservasi musuh alami.

Dalam implementasi SPPK PHT, sebagian besar petani masih memerlukan bimbingan teknis dari PPL dan/atau PHP dalam hubungan keterkaitan peneliti-PPL/PHP-petani sebagai salah satu kegiatan Kostratani di tingkat

kecamatan. SPPK berbasis TI yang mengaplikasikan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) perlu terus dikembangkan dengan konten interaktif-realtime yang dapat diakses melalui telepon pintar. Ekosistem kemudahan akses jaringan informasi yang handal dan terjangkau, didukung oleh keterampilan digital dapat meningkatkan implementasi PHT agar tidak hanya menjadi pengetahuan petugas tetapi juga mudah dipraktekkan petani dalam upaya mengendalikan hama dan penyakit tanaman padi secara mandiri di lahan usaha taninya.

PERNYATAAN KONTRIBUSI

Dalam artikel ini I Nyoman Widiarta berperan sebagai kontributor utama.

DAFTAR PUSTAKA

- [Balitbangtan] Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2010). *Pedoman Umum Produksi Benih Sumber Padi*.
- [BB Padi] Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (2008). Direktorat Padi Indonesia. *Sukamandi (ID): BB Padi*.
- [BBPOPT] Balai Besar Peramalan dan Pengamatan Organisme Pengganggu Tanaman (2018). *Laporan Kinerja*.
- [BPS] Biro Pusat Statistik (2020). *Statistik Indonesia 2020. Jakarta (ID): Biro Pusat Statistik*.
- [Pusdatin] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2019). *Statistik Harga Komoditas Pertanian 2019. Jakarta (ID): Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian*.
- [Pusdatin] Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2020). *Statistik Iklim, Organisme Pengganggu Tanaman dan Dampak Perubahan Iklim. Jakarta (ID): Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian*.
- Alfarisi, M.S., Bintang, C.A. dan Ayatillah, S. (2018). Desa Exsys (Drone Security with Audio and Expert System) untuk Mengusir burung dan mengidentifikasi hama atau penyakit padi guna menjaga ketahanan pangan dan peningkatan kemandirian pangan di Indonesia. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology* 2(1):35–50.
- Amin, M. (2014). Efektivitas dan perilaku petani dalam memanfaatkan teknologi informasi berbasis cyber extension. *Informatika Pertanian* 23(2):211–219.
- Antara (2020). Harga gabah dan beras premium turun pada November 2020. *Antaraneews.com. [diunduh pada 5 Maret 2021]*.
- Arora, Sumitra, Sehgal, M., Srivastava, D.S., Arora, Sanjay and Sarkar, S.K. (2019). Rice pest management with reduced risk pesticides in India. *Environmental Monitoring and Assessment* 191(4):241. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7384-5>.
- Baehaki, S.E. (2011). Strategi fundamental pengendalian hama wereng batang coklat dalam pengamanan produksi padi nasional. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 4(1):63–75.
- Baehaki, S.E. (2013). Hama penggerek batang padi dan teknologi pengendalian. *Iptek Tanaman Pangan* 8(1):1–14.
- Birthal, P.S., Negi, D.S., Khan, M.T. and Agarwal, S. (2015). Is Indian agriculture becoming resilient to droughts?: evidence from rice production systems. *Food Policy* 56:1–12.
- Bottrell, D.G. and Schoenly, K.G. (2012). Resurrecting the ghost of green revolutions past: the brown planthopper as a recurring threat to high-yielding rice production in tropical Asia. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 15(1):122–140.

- Bottrell, D.R. and Bottrell, D.G. (1979). Integrated Pest Management. *Council on Environmental Quality*. p. 120 pp.
- Burman, R.R., Dubey, S.K., Sharma, J.P., Vijayaragavan, K., Sangeetha, V. and Singh, I. (2013). Information dynamics for designing cyber extension model for agricultural development. *Journal of Community Mobilization and Sustainable Development* **8**(2):182–185.
- Cabauatan, P.Q. and Hibino, H. (1984). Detection of spherical and bacilliform virus particles in tungro-infected plants by leafhopper transmission. *IRRN* **9**:18–19.
- Damos, P. (2015). Modular structure of web-based decision support systems for integrated pest management. *A review. Agronomy for sustainable development* **35**(4):1347–1372.
- Deutsch, C.A., Tewksbury, J.J., Tigchelaar, M., Battisti, D.S., Merrill, S.C., Huey, R.B. and Naylor, R.L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* **361**(6405):916–919.
- Dini, A.F.B., Winasa, I.W. dan Hidayat, S.H. (2015). Identifikasi virus penyebab penyakit kerdil pada tanaman padi di Sukamandi, Jawa Barat. *Jurnal Fitopatologi Indonesia* **11**(6):205–210.
- Dubey, S., Pandey, R.K. and Gautam, S.S. (2013). Literature review on fuzzy expert system in agriculture. *International Journal of Soft Computing and Engineering* **2**(6):289–291.
- Fangohoi, L., Sugiyanto, S., Sukesi, K. and Cahyono, E.D. (2018). Establish the perception of agricultural extension workers through cyber extension as the media information. *Journal of Socioeconomics and Development* **1**(1):32–37.
- FAO. (1966). Report of the FAO/UNEP panel experts on integrated pest control 1965. *Rome. Part 1, 91pp; Part 2, 186pp; Part 3, 129pp.*
- Gao, D., Sun, Q., Hu, B. and Zhang, S. (2020). A framework for agricultural pest and disease monitoring based on internet-of-things and unmanned aerial vehicles. *Sensors* **20**(5):1487.
- Helmy, Z., Purnaningsih, N. dan Tjitropranoto, P. (2013). Hubungan kompetensi penyuluh dengan karakteristik pribadi, persepsi penyuluh terhadap dukungan kelembagaan dan persepsi penyuluh terhadap sifat inovasi cyber extension. *Jurnal Agro Ekonomi* **31**(1):1–18.
- Ifriza, Y.N. dan Djuniadi, D. (2015). Perancangan sistem pakar penyuluh diagnosa hama padi dengan metode forward chaining. *Jurnal Teknik Elektro* **7**(1):30–36.
- Ikhwan, I. (2014). Dosis pupuk dan jarak tanam optimal varietas unggul baru padi. *Informatika Pertanian* **23**(1):19–28.
- Iost Filho, F.H., Heldens, W.B., Kong, Z. and Lange, E.S. de (2020). Drones: innovative technology for use in precision pest management. *Journal of Economic Entomology* **113**(1):1–25.
- Irwan, N. (2016). *Aplikasi Sistem Pakar Identifikasi Penyakit Pada Tanaman Padi Menggunakan Metode Certainty Factor. Skripsi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.*
- Juan, W.A.N.G. and Lanzhu, dan J.I. (2007). Research progress of expert system in integrated pest management. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* **35**(17):5328.
- Kasryno, F. (2016). Sumber daya manusia dan pengelolaan lahan pertanian di pedesaan Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi* **18**(1):25–51.
- Kristoko, H., Eko, S., Sri, Y. and Bistok, S. (2012). Updated Pranata mangsa: Recombination of local knowledge and agro meteorology using fuzzy logic for determining planting pattern. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)* **9**(6):367–372.
- Ling, K.C. (1979). *Rice Virus Disease. IRRI.*
- Makarim, A.K. (2009). Aplikasi ekofisiologi dalam sistem produksi padi berkelanjutan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* **2**(1):14–34.
- Malian, A.H., Mardianto, S. dan Ariani, M. (2016). Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi, konsumsi dan harga beras serta inflasi bahan makanan. *Jurnal Agro Ekonomi* **22**(2): 119–146.
- Mariyono, J., Kompas, T. and Grafton, R.Q. (2010). Shifting from green revolution to environmentally sound policies: technological change in Indonesian rice agriculture. *Journal of the Asia Pacific economy* **15**(2):128–147.
- Maulana, M. (2016). Peranan luas lahan, intensitas pertanaman dan produktivitas sebagai sumber pertumbuhan padi sawah di Indonesia 1980–2001. *Jurnal Agro Ekonomi* **22**(1):74–95.
- Mulyani, A. dan Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* **7**(1):47–55.
- Phadikar, S., Sil, J. and Das, A.K. (2013). Rice diseases classification using feature selection and rule generation techniques. *Computers and Electronics in Agriculture* **90**:76–85.
- Pingali, P.L. (2012). Green revolution: impacts, limits, and the path ahead. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **109**(31):12302–12308.
- Pranadji, T. and Saptana, S. (2016). Pengelolaan serangga dan pertanian organik berkelanjutan di pedesaan: Menuju revolusi pertanian gelombang ketiga di abad 21. *In Forum Penelitian Agro Ekonomi* **23**(1):38–47.
- Pretty, J. and Bharucha, Z.P. (2015). Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. *Insects* **6**(1):152–182.
- Rahman, A., Nuriadi, N. dan Taufik, M. (2018). Pengendalian hama tikus sawah dengan teknik mina padi Desa Lara Kecamatan Tirwuta, Kolaka Timur. *Ngayah: Majalah Aplikasi IPTEKS* **9**(1):1–9.
- Ramadhani, F., Runtunuwu, E. dan Syahbuddin, H. (2015). Sistem teknologi informasi kalender tanam terpadu. *Informatika Pertanian* **22**(2):103–112.
- Ravi, C.G. (2012). *Mobile Technologies for Agriculture Sector Development (M-Agriculture). London Metropolitan University Faculty of Life Sciences and Computing.*
- Ravisankar, H., Rao, S.G. and Sreedhar, U. (2014). Expert system for identification of natural enemies of tobacco pests. *Indian Journal of Plant Protection* **42**(4):312–316.
- Sahbana, A. (2017). *Implementasi Sistem Pakar Dalam Mengidentifikasi Penyakit Tanaman Padi Menggunakan Metode Certainty Factor. Skripsi, Universitas Negeri Semarang.*
- Savary, S., Horgan, F., Willocquet, L. and Heong, K.L. (2012). A review of principles for sustainable pest management in rice. *Crop Protection* **32**:54–63.
- Sawada, H., Subroto, S.G., Suwardiwijaya, E., Mustaghfirin, K.A. and Kusmayadi, A. (1992). Population dynamics of the brown planthopper in the coastal lowland of West Java, Indonesia. *JARQ* **26**:88–97.
- Semangun, H. (2008). Penyakit-Penyakit Tanaman Pangan di Indonesia, Edisi kedua. *Gadjah Mada University Press*. p. 475 pp.
- Shepard, B.M., Barrion, A.T. and Litsinger, J.A. (2011). Musuh Alami Hama Padi. *Bogor IRRI*. p. 136 pp.
- Singh, N. and Gupta, N. (2016). ICT based decision support systems for integrated pest management (IPM) in India: A review. *Agricultural Reviews* **37**(4):309–316.
- Siraj, F. and Arbaiy, N. (2006). *Integrated Pest Management System Using Fuzzy Expert System.*
- Sirnawati, E. (2020). *Urgensi Penyuluhan Pertanian Baru Di Indonesia: Sebuah Pemikiran Implementasi Konsep Intermediary Inovasi Untuk Reformasi Penyuluhan Pertanian Dari Prerpektif Transfer Teknologi Ke Sistem Inovasi. IAARD Press, Jakarta*. p. 79 pp.
- Sogawa, K. (2015). Planthopper outbreaks in different paddy ecosystems in Asia: Man-made hopper plagues that threatened

- the green revolution in rice. *In Rice Planthoppers*. Springer, Dordrecht:33–63.
- Stern, V.M., Smith, R., Bosh, van den and Hagen, K.S. (1959). The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid; the integrated concept. *Hirgardia* **29**:81–101.
- Sudarmaji (2018). Tikus Sawah: Bioekologi dan Pengendalian. *IAARD Press*. Jakarta. p. 120 pp.
- Sudarmaji, R., Herwati, N.A. dan Anggara, A.W. (2005). Perubahan musiman kerapatan populasi tikus sawah di ekosistem sawah irigasi. *Penelitian Pertanian* **24**(3):119–125.
- Sudarmaji, S., Herawati, N.A. dan Pesar, B. (2017). *Perkembangan Populasi Tikus Sawah Pada Lahan Sawah Irigasi Dalam Pola Indeks Pertanian Padi 300*.
- Sudir, S., Nasution, A., Santoso, S. dan Nuryanto, B. (2014). Penyakit blas *Pyricularia grisea* pada tanaman padi dan strategi pengendaliannya. *Iptek Tanaman Pangan* **9**(2):85–96.
- Sudir, S., Nuryanto, B. dan Kadir, T.S. (2012). Epidemiologi, patotipe, dan strategi pengendalian penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi. *Iptek Tanaman Pangan* **7**(2):79–87.
- Supriatna, A. (2012). Meningkatkan indeks pertanaman padi sawah menuju IP padi 400. *Agrin* **16**(1):1–18.
- Suprihanto, S., Somowiyarjo, S., Hartono, S. dan Trisyono, Y.A. (2016). Preferensi wereng batang cokelat terhadap varietas padi dan ketahanan varietas padi terhadap virus kerdil hampa. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* **35**(1):1–8.
- Supriyanto, B. (2013). Pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil padi gogo lokal, kultivar jambu. *Agrifor* **12**(1):77–82.
- Suyamto dan Saeri, M. (2018). Evaluasi rekomendasi pemupukan hara spesifik lokasi (PHSL) padi sawah di Jawa Timur. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* **2**(1):1–8.
- Untung, K. (2007). *Kebijakan Perlindungan Tanaman*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Widiarta., I.N. dan Muhsin, M. (2016). *Pengendalian Penyakit Tungro Terpadu Tanaman Padi Berdasarkan Dinamika Populasi Vektor Dan Epidemiologi Virus*. IAARD Press. Jakarta. p. 74. pp
- Widiarta., I.N. dan Suharto, H. (2009). Pengendalian Hama dan Penyakit Tanaman Padi Secara Terpadu. hlm. 441-469. Dalam Suyamto, I. N. Widiarta dan Satoto (Ed.). *Padi Buku 1*. Jakarta (ID): LIPI Press. p. 529.
- Widiarta, I.N. (2014). Strategi Pengendalian terpadu penyakit tungro berdasarkan dinamika populasi vektor, patologi, dan epidemiologi virus. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* **33**(2):61–68.
- Yuan, L., Bao, Z., Zhang, H., Zhang, Y. and Liang, X. (2017). Habitat monitoring to evaluate crop disease and pest distributions based on multi-source satellite remote sensing imagery. *Optik* **145**:66–73.
- Yulia, D. (2019). Revolusi hijau kebijakan ekonomi pemerintah bidang pertanian di Kanagarian Selayo tahun 1974-1998. *HISTORIA: Jurnal Program Studi Pendidikan Sejarah* **4**(2):10–21.
- Zen, S. (2017). Parameter genetik padi sawah dataran tinggi. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan* **12**(3):196–201.