

PERTANIAN PRESISI DALAM BUDIDAYA LADA

Precision Farming on Pepper Cultivation

JOKO PITONO

Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat

Indonesian Spice and Medicinal Crops Research Institute

Jl. Tentara Pelajar No. 3 Bogor 16111, Indonesia

E-mail: jokopitono@litbang.pertanian.go.id; pitono2014@gmail.com

ABSTRAK

Nilai ekonomi lada pada subsektor perkebunan cukup penting dan perlu penguatan daya saingnya untuk menghadapi semakin tajamnya kompetisi pasar ke depan. Peningkatan efisiensi dan presisi dalam penanganan budidaya di lapangan menjadi salah satu penentunya. Peningkatan efisiensi tersebut memungkinkan dilakukan melalui pendekatan pertanian presisi. Konsep dasar pertanian presisi adalah penggunaan input seakurat mungkin sesuai kebutuhan tanaman, sehingga diperoleh keuntungan berupa penghematan dalam pembiayaan input, tenaga kerja, dan hasil panen yang lebih baik. Penerapan pertanian presisi memungkinkan diterapkan mulai dari pendekatan sederhana hingga tingkat yang lebih kompleks, tentunya akan diikuti oleh konsekuensi perbedaan keakuratan dan besaran investasi instrumen teknologi yang digunakannya. Pada review ini diulas tentang relevansi antara penerapan pertanian presisi dengan karakteristik budidaya lada yang tergolong padat input, serta pendekatan sederhana yang memungkinkan dilakukan petani untuk memperbaiki presisi dan efisiensi usahatani ladanya. Selain itu, diuraikan juga tentang perkembangan hasil penelitian dan teknologi saat ini yang berpeluang dimanfaatkan untuk perbaikan budidaya lada ke depan. Dan strategi untuk percepatan penerapan inovasi pertanian presisi pada budidaya lada tersebut diantaranya dapat dilakukan melalui peningkatan kapasitas SDM dan kelembagaan, penguatan mekanisasi dan digitalisasi di tataran *on-farm* dan *off-farm*, serta pemberian insentif atas penerapannya.

Kata kunci: lada, pertanian presisi, efisiensi, produktivitas

ABSTRACT

The economic value of pepper in the estate subsector is important and its competitiveness should be strengthened to challenge the increasingly sharp market competition in the future. Increasing efficiency

and precision in the on-farm level is one of the important factors to face the challenge. The cultivation efficiency can be improved through a precision farming approach. The basic concept of precision farming is the use of inputs accurately according to plants need to obtain benefits both by saving cost of inputs and labor, and getting better yields. The precision farming can be applied from a simple approach to a more complex level. This determines the accuracy level and the investments related to the instruments used in the technology. This paper reviews the relevance of precision farming application and the characteristics of pepper cultivation that is classified as input-intensive, as well as a simple approach that allows farmers to improve the precision and efficiency of their farming systems. In addition, it also elaborates the development of current research and technology which are potential to improve pepper cultivation in the future. The strategies for accelerating the application of precision agricultural innovations in pepper cultivation could be performed through increasing human resource and institutional capacity, strengthening mechanization, digitalization at the on- and off-farm levels, and providing incentives for the farmers as a reward for their implementation.

Keywords: pepper, precision farming, input efficiency, productivity

PENDAHULUAN

Lada merupakan salah satu komoditas penting pada sub sektor perkebunan. Lada telah lama dibudidayakan secara meluas oleh masyarakat, seperti di wilayah Lampung, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, Sulawesi Barat, dan beberapa titik pengembangan baru lainnya. Perkembangan areal perkebunan lada nasional hingga 2017 mencapai 273.556 ha, dengan diikuti penerimaan devisa hasil ekspor sekitar \$ 11 juta (Ditjenbun

2017). Ketertarikan masyarakat untuk membudidayakan lada cukup besar karena memberikan kompensasi pendapatan yang cukup menarik, meskipun secara temporer sering terjadi fluktuasi harga akibat dinamika pasar global dan regional. Selain itu, karena faktor lahan yang sesuai untuk pengembangan budidaya lada relatif masih tersedia.

Di sisi lain, pengelolaan kebun lada khususnya di perkebunan rakyat sebagian besar belum menerapkan standar operasional budidaya sebagaimana mustinya, sehingga berdampak pada menurunnya produktivitas. Secara nasional produktivitas lada hanya berkisar 900 kg/ha/tahun (Ditjenbun 2017), jauh di bawah nilai potensial genetiknya. Dari sembilan varietas yang telah dilepas oleh Kementerian Pertanian, secara genetik diketahui memiliki potensi produktivitas 1,9 – 4,0 ton/ha untuk lada hitam dan 2,0-5,0 ton/ha untuk lada putih (Wahyudi and Pribadi 2016). Praktek pengelolaan kebun lada yang masih seadanya seperti demikian, tentu akan berimplikasi negatif pada daya saing lada nasional ke depan. Oleh karena itu, pengembangan praktek budidaya lada ke depan perlu lebih diarahkan untuk dapat lebih menjamin peningkatan produktivitas lada dan efisiensi penggunaan input produksi, serta sekaligus menekan resiko usahatani.

Manajemen pertanian pada dekade akhir ini lebih mengarah pada modernisasi sistem budidayanya dengan memanfaatkan perkembangan teknologi yang ada. Praktek budidaya tanaman lebih mengarah pada upaya meningkatkan keakuratan dalam pemberian input agar dapat menghasilkan keuntungan yang maksimal secara ramah lingkungan dan berkelanjutan (Balafoutis et al. 2017 ; Hakkim et al. 2016 ; Schimmelpfennig and David 2016). Pendekatan ini cukup relevan bila diadaptasikan

pada budidaya lada yang memerlukan padat input dan tenaga kerja. Adapun prinsip dasar penerapan pertanian presisi adalah mengusahakan agar seluruh komponen input budidaya sebisa mungkin dapat diaplikasikan secara lebih tepat jumlah, tempat, dan waktunya (Gebbers and Adamchuk 2010). Untuk merealisasikan praktek pertanian presisi yang demikian tentu membutuhkan dukungan informasi yang memadai seperti teknologi komponen budidaya, perkiraan iklim, sifat tanah, tingkat kecukupan air dan kesuburan tanah, serta prosedur teknis pengendalian OPT yang berpotensi muncul (Aune et al. 2017).

RELEVANSI PERTANIAN PRESISI PADA BUDIDAYA LADA

Untuk membangun kebun lada diperlukan investasi yang cukup besar. Hasil kajian sosial ekonomi menunjukkan bahwa untuk membuka kebun lada baru dibutuhkan investasi awal tidak kurang dari Rp. 70 juta/ha (Saputra et al. 2017), dan tentunya jumlah nominal ini bagi mayoritas petani adalah terbilang besar. Sebagai gambaran kebutuhan investasi awal pada pembukaan kebun lada bila dibandingkan dengan beberapa komoditas perkebunan lain adalah seperti pada Tabel 1.

Dengan investasi yang relatif mahal tersebut, selanjutnya untuk proses selanjutnya perlu ditangani dengan teknis yang tepat sehingga penampilan kebun lada yang terbangun menjadi baik dan dapat menghasilkan keuntungan maksimal seperti yang diharapkan. Melalui penerapan konsep pertanian presisi diharapkan dapat membantu mewujudkan kebun lada produktif yang menguntungkan tersebut.

Budidaya lada membutuhkan pemeliharaan

Tabel 1. Kebutuhan investasi membuka kebun lada dan beberapa komoditas perkebunan lainnya

No	Komoditas	Kebutuhan investasi awal	Sumber
1	Lada	Rp. 76 – 100 juta/ha	Saputra et al. 2017
2	Kopi	Rp. 28-31 juta/ha	Purwadi 2018
	Teh	Rp 68 juta	Sari et al. 2016
4	Karet	Rp. 72 juta/ha	Widyasari et al. 2015
5	Kelapa sawit	Rp. 45 juta/ha	Sahara et al. 2018

yang intensif pasca pembukaan kebun dan penanamannya. Pemeliharaan kebun lada tergolong padat input dan tenaga kerja, sehingga memerlukan pembiayaan yang tidak sedikit. Akurasi pada tindakan pemeliharaan menjadi salah satu faktor krusial yang turut meningkatkan efisiensi dalam pemakaian material input seperti pupuk, air, dan pestisida. Bentuk akurasi tindakan teknis pemeliharaan yang perlu lebih diperhatikan dapat terkait dengan aspek waktu, jumlah, dan penempatannya. Demikian pula kaitannya dengan volume kebutuhan tenaga kerja, adanya kecenderungan tuntutan kenaikan upah kerja tentu akan semakin membebani kebutuhan pembiayaan. Sebagai gambaran, kebutuhan input dan tenaga kerja pada budidaya lada di wilayah Bangka Belitung adalah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Biaya produksi rata-rata per hektar hingga periode panen pertama di Bangka Belitung

Biaya Produksi	Jumlah (Rp)	Persentase (%)
Biaya Tetap		
- Biaya penyusutan peralatan	393.194	0,5
Biaya Variabel		
- Bibit	17.747.500	23
- Pupuk	5.289.467	6,9
- Herbisida	1.087.467	1,4
- Tajar kecil	6.995.000	9,1
- Tajar besar	39.638.333	51,4
- Upah tenaga kerja	5.930.083	7,7
Jumlah	77.080.861	100

Sumber: Pranoto, 2016

Memperhatikan kebutuhan volume dan biaya untuk penyediaan material input dan tenaga kerja yang tidak sedikit tersebut, maka peningkatan efisiensi merupakan salah satu solusi yang tepat agar profil usahatani lada tetap layak dan kompetitif ke depan.

Perbaikan budidaya lada cukup relevan bila diarahkan pada penerapan konsep pertanian presisi dan aplikasi mekanisasi. Sebab dengan semakin meningkatnya presisi dalam pemberian input hara, air, dan pestisida yang sesuai kebutuhan fisiologis tanaman lada, diharapkan dapat meningkatkan produktivitas dan mutu

hasil lada yang signifikan. Dan di sisi lain, adanya dukungan aplikasi mekanisasi yang tepat sasaran akan turut meningkatkan efisiensi dalam operasionalnya. Lebih lanjut, penerapan pertanian presisi perlu dilakukan ke arah hilir terutama pada aspek pengolahan lada putih yang faktanya hingga saat ini masih menjadi kendala bagi usahatani lada di wilayah Bangka Belitung, diharapkan akan menjadi solusinya. Hal ini penting menjadi perhatian ke depan mengingat kecenderungan preferensi konsumen yang menghendaki lada yang semakin berkualitas dan bebas dari resiko cemaran mikroba yang berbahaya bagi kesehatan.

Di sisi lain, harga lada cukup dinamis mengikuti perkembangan pasar regional dan global. Pada situasi fluktuasi harga di pasaran yang turun, salah satu kunci penyelamat untuk kelangsungan usahatani lada adalah pada seberapa besar akurasi dan efisiensi pengelolaan input faktor produksi dapat dilakukan. Melalui penerapan pertanian presisi yang disertai aplikasi mekanisasi diharapkan tingkat efisiensi yang diperoleh sekaligus bisa menekan nilai BEP, sehingga sekalipun dalam situasi tekanan fluktuasi harga yang rendah, diharapkan hasil lada masih menguntungkan. Sebagai gambaran, saat terjadi penurunan harga jual sebesar 87.3%, nilai BEP pada usahatani lada konvensional dilaporkan berkisar Rp. 20.432,-/kg (Yasmi et al. 2017).

ENTRY POINT PENINGKATAN PRESISI PADA BUDIDAYA LADA

Pada dasarnya peningkatan akurasi dan efisiensi pada budidaya lada di lapangan perlu dilakukan pada semua tahapan. Mulai dari tahap penyiapan lubang tanam, penggunaan bahan tanaman, aplikasi hara, tata air, input bahan organik, pestisida, hingga penerapan pola tanamnya. Aspek teknis yang perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan upaya peningkatan presisi tersebut diantaranya adalah sebagai berikut.

Penyiapan Lubang Tanam

Pembuatan lubang tanam pada awal pembangunan kebun lada masih dipandang

sebelah mata dan dianggap kurang penting, sehingga sering dijumpai proses konstruksinya tidak sesuai dengan acuan teknis yang dipersyaratkan. Sesungguhnya lubang tanam merupakan lingkungan yang paling mendasar bagi tanaman lada muda, dan akan berpengaruh besar terhadap perkembangan selanjutnya. Melalui konstruksi lubang tanam yang benar diharapkan diperoleh kondisi fisika dan kimia media yang ideal dengan keseimbangan kandungan hara, air, udara, dan pH yang proporsional untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan jaringan akar tanaman lada muda. Dalam prakteknya, kekeliruan yang sering ditemukan dalam pembuatan lubang tanam pada budidaya lada adalah kurang tepatnya dimensi volumetrik dan komposisi media yang diisikan kurang memenuhi persyaratan teknis. Lubang tanam yang bermasalah tersebut tentu akan menjadi semakin sulit untuk dikonstruksi ulang, manakala benih lada telah terlanjur tertanam dan berkembang. Pembuatan lubang tanam lada selain harus pada posisi titik yang tepat sesuai dengan kondisi topografi lahan dan arsitektur pola tanamnya, juga ukuran volumetrik lubang serta karakteristik campuran tanah beserta material organik dan tambahan amelioran yang akan diisikan ke dalamnya harus tepat sesuai kebutuhan fisiologis tanaman lada.

Proses konstruksi lubang tanam lada yang ideal dan seragam tentu akan menjadi tantangan tersendiri bila dilakukan secara konvensional pada hamparan lahan yang luas. Belum lagi masalah tingginya upah tenaga kerja dan cenderung kurang tersedia akan semakin menyulitkan proses pembuatan lubang tanam yang ideal tersebut. Secara teknis, rekomendasi ukuran lubang tanam pada budidaya lada adalah berdimensi antara 45 cm x 45 cm x 45 cm hingga 60 cm x 60 cm x 60 cm (Manohara and Wahyuno 2016). Dengan ukuran tersebut dianggap sudah cukup memadai untuk mendukung perkembangan perakaran lada. Lebih lanjut disebutkan bahwa tindakan ameliorasi media dalam lubang tanam dapat dilakukan dengan penambahan material organik sekitar 10 kg/lubang dan bisa ditambahkan material kapur

secukupnya untuk menetralkan sifat keasaman bila pH tanah < 5,5.

Melalui penerapan pertanian presisi diharapkan dapat membantu proses konstruksi lubang tanam pada budidaya lada yang benar semakin mudah dilakukan di lapangan. Misalnya dengan memanfaatkan inovasi alat pembuat lubang tanam yang kompatibel dengan operasional traktor. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan kinerja inovasi alat tersebut setara dengan 27 lubang/1,5 jam dengan biaya Rp.1.360.800,- per hektarnya (Ahmad and Putra 2016), dan jauh lebih efisien dibanding secara konvensional dengan tenaga orang yang hanya mampu membuat sekitar 5-7 lubang/jam (Lukman, komunikasi personal). Dari segi presisi, pengerjaan secara manual juga beresiko menurun dengan semakin panjangnya waktu kerja dibandingkan dengan operasional traktor. Pengembangan lebih lanjut diharapkan alat pembuat lubang tanam tersebut sekaligus bisa melakukan penambahan material organik atau amelioran lain dan mencampurnya. Dengan dukungan kelengkapan perangkat automasi yang memadai, diharapkan platform kinerja alat tersebut benar-benar dapat menghasilkan lubang tanam yang ideal, efisien, dan berdampak pada perbaikan performansi pertumbuhan dan hasil panen lada di lapangan.

Bahan Tanaman

Mengingat budidaya lada merupakan investasi berjangka panjang, maka perlu dihindari kesalahan dalam penggunaan bahan tanaman. Penggunaan benih bermutu yang memiliki sifat unggul dan sehat harus dipenuhi pada saat seting awal kebun lada. Untuk keperluan produksi benih lada unggul secara masal, telah tersedia teknologi praktis pendukungnya (Ee and Shang 2017; Rukmana, 2010). Inovasi baru dengan merubah arsitektur pohon induk lada menjadi berkonfigurasi huruf "W" terbukti dapat menghasilkan stek benih lada yang lebih efektif dan efisien (Ee and Shang 2017). Dengan konfigurasi pohon induk yang demikian dapat diperoleh kenaikan jumlah setek lada sekitar 71% dibandingkan model konfigurasi pohon induk yang tradisional. Secara ekonomi,

inovasi ini juga dapat memberikan keuntungan yang lebih besar bagi petani penangkarnya.

Sekalipun pemakaian bahan tanaman unggul sangat krusial dalam budidaya lada, namun dalam prakteknya masyarakat acapkali memakai bahan tanaman yang tidak jelas sumber varietas dan kondisi fisiologis benihnya. Salah satu alasannya adalah karena harga benih unggul yang mahal dan kurang tersedia di lapangan. Adapun pedoman produksi benih lada beserta proses sertifikasi, peredaran, dan pengawasannya telah diatur secara detil pada Kepmentan 316/Kpts/KB 020/10/2015 (Kementan, 2015).

Point krusial pada penyediaan benih lada adalah pada ketersediaan benih secara kuantitas dan kualitasnya. Melalui praktek pertanian presisi dan penarapan mekanisasi yang tepat diharapkan dapat membantu proses produksi benih lada memenuhi kualifikasi tersebut secara efisien. Hal ini dapat dicapai misalnya melalui tata pemberian hara dan air yang optimal pada pohon induk agar menghasilkan stek yang berkualitas. Rusmin et al. 2018 melaporkan bahwa aplikasi teknologi fertigasi statis dengan pelarutan komponen hara N,P,K,Ca,Mg pada air irigasi berpengaruh nyata terhadap peningkatan produksi benih lada. Aplikasi fertigasi dengan hanya memakai 75% jumlah dosis pupuk anjuran terbukti masih lebih baik daripada yang dipupuk dengan 100% jumlah dosis pupuk anjuran yang diberikan secara konvensional langsung ke tanah. Dari contoh ini menunjukkan bahwa penanganan produksi benih lada bermutu memungkinkan dilakukan melalui penerapan pertanian presisi.

Pengelolaan Hara

Lada tergolong tanaman pengonsumsi hara yang tinggi, dengan *root feeder* terkonsentrasi pada kedalaman 0-40 cm dari permukaan tanah. Menurut Srinivasan et al. (2007) urutan kebutuhan hara makro tanaman lada adalah $N > K > Ca > Mg > P$, dan tingkat kebutuhan normalnya setara dengan kandungan hara di jaringan daun 3.10% N, 0.16% P, 3.40% K, 1.66% Ca, dan 0.44% Mg (Sivaraman et al. 1999). Hasil studi lain juga memperkirakan kebutuhan hara tanaman lada adalah setara 1, 2, dan 3 ton pupuk manjemuk NPKMg (12:12:17:2) per hektar untuk umur 1, 2, dan 3 tahun (Daras and Gusmaeni

2016). Dan analisis lebih lanjut memperkirakan bahwa pemupukan nitrogen, SP-36, dan NPK per kg dapat berkontribusi meningkatkan produksi lada sekitar 0.766, 3.09, dan 0.610 kg/ha (Asnawi et al. 2017). Di sisi lain, Rendahnya status unsur Ca dan Mg yang distimulir oleh pH rendah, juga dapat menjadi kendala serius pada pengembangan lada (Daras et al. 2012). Dan kisaran pH tanah yang ideal untuk tanaman lada adalah sekitar 5.5 – 6.5 (Devasahayam et al., 2015).

Penambahan air tanah selama periode defisit pada musim kering dapat dilakukan baik secara irigasi maupun fertigasi. Aplikasi fertigasi pada prinsipnya sama dengan irigasi yakni memberikan sejumlah air tertentu pada tanaman, hanya saja pada teknik fertigasi, air irigasi tersebut diperkaya dengan sejumlah unsur hara yang dilarutkan didalamnya. Badan Litbang Pertanian melalui Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balitro) telah mulai mengembangkan metode aplikasi fertigasi pada budidaya lada, baik dengan aplikasi fertigasi statis maupun dengan fertigasi non statis dengan berpengerak robot (Pitono et al. 2018). Melalui pendekatan ini diharapkan aplikasi pemberian hara dan air pada budidaya lada diharapkan dapat lebih presisi. Hasil sementara dari observasi di lapangan menunjukkan bahwa aplikasi fertigasi pada musim kering secara nyata mampu mendorong pertumbuhan lada menjadi lebih baik dibandingkan tanaman kontrol yang dibudidayakan secara konvensional, dan efek positif dari aplikasi fertigasi tersebut terlihat jelas baik pada lada yang dibudidayakan dengan tiang panjat hidup maupun dengan tiang panjat mati (Suryadi et al. 2018; Rusmin et al. 2018). Evaluasi lebih detil dari studi ini juga memberikan klarifikasi bahwa penggunaan teknik fertigasi terbukti dapat menghemat penggunaan input hara hingga 25% pada pertanaman lada umur 2 tahun bertajar hidup *glycirida*. Bahkan pada level penghematan input hara sampai 50% masih dapat menghasilkan pertumbuhan lada umur 2 tahun tetap baik, manakala fertigasi diaplikasikan pada pertanaman lada bertajar mati (Rusmin et al. 2018). Dari hasil studi tersebut memberikan gambaran bahwa praktek pertanian presisi sangat terbuka untuk diaplikasikan pada budidaya lada, dan teknologi fertigasi cukup

efektif untuk mengontrol pemberian hara dan air agar lebih efisien dan tepat ukuran. Berdasarkan beberapa manfaat dan efek positifnya tersebut, bahkan fertigasi dapat dianggap sebagai salah satu komponen kunci pada praktek pertanian presisi (Sureshkumar et al., 2016).

Di sisi lain, pemakaian jasad mikro untuk perbaikan kesuburan tanah telah banyak dipraktikkan pada budidaya tanaman. Studi mikrobiologi tanah juga membuktikan bahwa penggunaan mikroba rizosfer indigeneous dapat meningkatkan efisiensi penggunaan input hara pada tanaman lada (Herman et al. 2012). Aplikasi inokulum mikroba penambat N_2 dan pelarut P, terbukti cukup efektif meningkatkan serapan hara tanaman lada dan tetap menghasilkan pertumbuhan yang tinggi sekalipun input hara dikurangi hingga 50%. Bila aplikasi mikroba rizosfer tersebut dapat dikontrol sebagaimana yang diharapkan, tidak menutup kemungkinan untuk dijadikan sebagai salah satu komponen dalam penerapan pertanian presisi pada budidaya lada ke depan.

Pengelolaan Air

Dengan sebaran perakaran yang dominan di lapisan tanah dangkal, menyebabkan tanaman lada cenderung sensitif terhadap defisit air tanah yang mudah terjadi akibat tidak seimbangnya antara jumlah air yang masuk dan yang hilang melalui proses evaporasi di permukaan. Terjadinya defisit air tanah yang berkepanjangan tentu akan berdampak menghambat pertumbuhan dan produksi lada. Oleh sebab itu, umumnya untuk budidaya lada dipilihlah wilayah tertentu yang memiliki sebaran curah hujan yang cukup sepanjang tahunnya. Rekomendasi pengembangan lada adalah sangat sesuai untuk wilayah yang memiliki curah hujan 2.000-3.000 mm/tahun dengan jenis tanah aluvial, andosol, dan latosol (Rosman, 2014).

Ketersediaan air yang memadai merupakan salah satu faktor krusial dalam praktek pertanian presisi pada budidaya lada. Wahid et al. (2005) dalam studi aplikasi irigasi skala pot menemukan bahwa pemberian irigasi 21 mm / 2 dua hari sekali menghasilkan pertumbuhan dan hasil lada perdu terbaik pada umur 2 tahun. Berdasarkan data tersebut dapat diperkirakan bahwa

kebutuhan air tanaman lada perdu umur 2 tahun adalah berkisar 10 mm/hari.

Di sisi lain, kebutuhan air lada dapat tercukupi dengan baik selama periode musim hujan. Seiring dengan berjalannya musim kering, secara bertahap ketersediaan air tanah di sekitar perakaran lada akan semakin berkurang hingga pada level tertentu akar lada tidak mampu menyerapnya akibat terlalu tingginya nilai negatif potensial air tanah. Secara teori, status air tanah akan tersedia bagi tanaman diantara titik layu permanen (TLP) pada $pF=4,2$ dan kapasitas lapang (KL) pada $pF=2,5$. Selisih status air tanah tersebut cenderung bervariasi antara bidang tanah satu dengan bidang tanah lainnya, utamanya disebabkan oleh perbedaan tekstur tanahnya. Pada situasi tersebut penambahan air melalui tindakan irigasi sangat diperlukan untuk tetap menjaga proses metabolisme dan pertumbuhan tanaman lada berjalan dengan baik. Secara umum ketersediaan air tanah dianggap memadai bagi tanaman bila rasio antara transpirasi aktual dan transpirasi potensial tidak kurang dari 0,85 (Irianto, 2000).

Pendekatan lain yang perlu dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan air tanah pada area kebun lada adalah melalui tindakan konservasi. Cara sederhananya adalah dengan meningkatkan kapasitas simpan air tanah melalui pengkayaan kandungan bahan organik dan meningkatkan infiltrasi air dalam tanah, terutama pada saat menjelang akhir musim hujan. Tindakan konservasi air tanah pada area kebun lada perlu dilakukan secara hati-hati dan terkontrol, mengingat tingkat kelengasan yang terlalu tinggi pada musim hujan akan memicu serangan *Phytophthora* sp. Oleh karena itu, monitoring tingkat kelengasan tanah secara terus menerus dengan perangkat khusus perlu dilakukan, agar dapat dilakukan tindakan secara tepat dan menjaga kondisi lahan lada tetap optimal.

Pengendalian OPT

Tanaman lada tergolong rentan terhadap serangan OPT, khususnya jamur *Phytophthora capsici* yang menimbulkan penyakit busuk pangkal batang (BPB). Selain itu juga ada hama penggerek batang dan pengisap buah yang perlu diwaspadai, karena sering menyerang pada

hamparan kebun lada dan berdampak pada penurunan hasil. Penyakit BPB oleh *Phytophthora capsici* tergolong penyakit tular tanah yang sebarannya dapat secara cepat meluas mengikuti aliran masa air dan kejadiannya hampir ditemukan pada semua pertanaman lada di Indonesia (Wahyuno, 2009). Hasil studi korelasi epidemi penyakit BPB dengan kondisi lingkungan menyimpulkan bahwa jenis tanah tidak berpengaruh bagi perkembangan penyakit BPB tetapi berkontribusi pada laju infeksinya (Bande et al. 2015). Laju infeksi penyakit BPB lebih rendah pada jenis tanah Ultisol dibandingkan tanah Entisol. Pemicu utama penyakit BPB adalah kondisi iklim mikro kebun yang terlalu lembab dan drainase air kurang berfungsi dengan baik. Oleh sebab itu pengontrolan parameter RH udara dan lengas tanah kebun menjadi penting untuk diperhatikan. Melalui pemasangan sensor RH udara dan sensor lengas tanah pada beberapa titik yang mewakili hamparan kebun lada akan memudahkan proses pemantauan dinamika nilai riilnya. Dengan mengacu hasil korelasi kecenderungan serangan penyakit BPB dan nilai parameter RH udara serta lengas tanah, maka memungkinkan dilakukan pendugaan potensi kejadian serangannya.

Tindakan terhadap kondisi RH udara yang terlalu tinggi pada musim penghujan dapat dilakukan melalui pemangkasan pada tanaman tiang panjatnya. Prinsip tindakan pemangkasan tersebut adalah memberikan penetrasi radiasi surya dan sekaligus sirkulasi gerakan udara yang cukup, utamanya pada bagian dasar pertanaman lada. Mengingat proses pemangkasan membutuhkan alokasi biaya tenaga kerja, maka pemangkasan dapat dilakukan secara selektif hanya pada blok tanaman tiang panjat tertentu yang diperlukan. Keputusan penetapan blok tanaman tiang panjat yang harus dipangkas tersebut, dapat ditentukan dengan mengacu pada data iklim mikro yang direkam oleh sejumlah sensor yang terinstal di kebun lada.

Bila kondisinya mengharuskan tindakan aplikasi pestisida, maka dapat dilakukan secara simultan dengan kegiatan lainnya. Sebagai contoh, untuk aplikasi pestisida melalui penyiraman larutan pestisida di sekitar

perakaran, dapat dilakukan melalui sarana fertigasi yang telah ada. Penggabungan operasional pengendalian penyakit dengan fertigasi juga telah diuji pada proses produksi benih jahe putih besar dan terbukti cukup efektif (Melati et al. 2018).

Kerugian hasil lada juga dapat dipicu oleh adanya serangan hama penggerek batang, *Lophobaris* sp (Soetopo 2012; Daba et al. 2017) dan penghisap buah (Prianto et al. 2019; Pribadi et al. 2015). Sebagaimana diketahui bahwa secara umum serangan hama terhadap tanaman erat sekali dengan perubahan kondisi lingkungan sekitar tanaman atau iklim mikro, dan respon perilaku hama tersebut menunjukkan karakteristik ekobiologinya. Bila diketahui parameter kunci lingkungan yang menentukan serangan hama dan nilainya dapat diukur menggunakan sensor, maka potensi adanya serangan tersebut memungkinkan untuk dapat diprediksi. Adanya sistem peringatan dini tersebut tentu akan dapat meningkatkan akurasi tindakan yang harus dilakukan sebagai salah satu komponen dalam praktek pertanian presisi. Hasil observasi lain di level rumah kaca juga menemukan fenomena baru, bahwa tanaman lada muda yang diberi perlakuan iradiasi 150 Gy cenderung lebih toleran terhadap gerkakan *Lophobaris* sp (Rismayani et al. 2017). Hal ini diduga ada kaitannya dengan kemungkinan hilangnya beberapa jenis nutrisi di batang lada akibat perlakuan iradiasi tersebut, sehingga *Lophobaris* sp kurang tertarik menggereknya. Tentunya untuk dapat diaplikasikan lebih lanjut, masih diperlukan dukungan data dan informasi yang lebih komprehensif.

Dengan menggunakan sensor khusus memungkinkan dilakukan penilaian secara optik terhadap tanaman yang sedang mengalami perubahan fisiologis akibat stres biotik seperti perubahan warna jaringan, bentuk daun, laju transpirasi, morfologi kanopi dan tingkat kerapatan tanaman (Sankaran et al. 2010). Perkembangan teknologi sensor seperti RGB, multispektral, hiperspektral, panas, chlorophyll-florescence, dan 3D memungkinkan untuk dimanfaatkan dalam proses penilaian serangan penyakit pada tanaman (Mahlein 2016).

Tabel 3. Contoh aplikasi sensor untuk deteksi penyakit tanaman (Mahlein 2016)

Sensor	Tanaman	Jenis penyakit/patogen
RGB	Kapas	Bacterial angular (<i>Xanthomonas campestris</i>) Ascochyta blight (<i>Ascochyta gossypii</i>)
	Bit gula	Cercospora leaf spot (<i>Cercospora betae</i>), Rumalaria leaf spot (<i>Rumalaria beticola</i>), Phoma leaf spot (<i>Phoma betae</i>), Bacterial leaf spot (<i>Pseudomonas syringae</i> pv. Apta)
	Anggur	Citrus canker (<i>X. axonopadis</i>)
	Tembakau	Anthracnose (<i>Colletotrichum destructivium</i>)
	Apel	Apple scab (<i>Venturia inaequalis</i>)
Spectral	Barle	Net blotch (<i>Pyrenophora teres</i>). Brown rust (<i>Puccinia hardei</i>), Powder mildew (<i>Blumeria graminis hordei</i>)
	Gandum	Head blight (<i>Fusarium graminearum</i>) Yellow rust (<i>Puccinia striiformis</i> f sp <i>tritici</i>)
	Bit gula	Cercospora leaf spot (<i>C. beticola</i>), Sugar beet rust (<i>U. betae</i>) Powdery mildew (<i>Erysiphe betae</i>), Root rot (<i>Rhizoctonia solani</i>), Rhizomania (Beet necrotic yellow vein virus)
	Tomat	Late blight (<i>Phytophthora infestans</i>)
	Apel	Apple scab (<i>V. inaequalis</i>)
	Tulip	Tulip breaking virus (TBV)
	Tebu	Orange rust (<i>Puccinia kuehnii</i>)
	Panas	Bit gula
Timun		Downey mildew (<i>Pseudoperonospora cubensis</i>), Powdery mildew (<i>Podosphaera xanthi</i>)
Apel		Apple scab (<i>V. inaequalis</i>)
Mawar		Downey mildew (<i>Peronospora sparsa</i>)
Fluorescence imaging	Gandum	Leaf rust (<i>Puccinia triticina</i>), Powdery mildew (<i>Blumeria graminis</i> f sp. <i>tritici</i>)
	Bit gula	Cercospora leaf spot (<i>C. beticola</i>)
	Kacang polong	Common bacterial blight (<i>Xanthomonas fuscans</i> subsp. <i>fuscans</i>)
	Luttuce	Downy mildew (<i>Bremia lactucae</i>)

Sanitasi Kebun Lada

Lingkungan kebun lada secara tidak langsung turut mempengaruhi penampilan pertumbuhan dan hasil lada. Sanitasi kebun lada yang terjaga dengan baik, sehingga penetrasi radiasi menjadi cukup sepanjang waktu, RH udara tidak berlebihan tingginya, dan lahan kebun yang terhindar dari genangan sisa air limpasan akan menghasilkan kondisi yang maksimal untuk mendukung proses metabolisme dan perkembangan tanaman lada.

Menjaga sanitasi kebun lada akan menjadi krusial bilamana budidayanya menggunakan tiang panjat hidup. Tajuk tiang panjat perlu dijaga kerapian dan keseimbangan luasan kanopinya agar dapat memberikan efek positif

bagi pertumbuhan dan hasil lada. Terlebih penggunaan tiang panjat hidup tertentu seperti *Glyciridia* justru rawan memicu serangan jamur jelaga, dan pada perkembangan selanjutnya tentu dapat berimbas pada kesehatan tanaman lada yang posisinya berada di bawahnya.

Proses pemeliharaan sanitasi kebun lada yang dilakukan secara manual dengan peralatan sederhana acapkali beresiko melukai jaringan tanaman lada. Seperti proses pembabatan gangguan gulma, ataupun saat aplikasi herbisida yang kurang terkontrol sehingga justru dapat mengenai jaringan lada. Agar lebih presisi, kegiatan pemeliharaan kebun lada tersebut perlu didukung dengan penggunaan instrumentasi yang sesuai. Untuk kebun lada yang bertopografi

kurang beraturan, tindakan sanitasi kebun yang perlu diperhatikan adalah cara pembuangan air limpasan (drainase) sepanjang periode musim hujan. Agar dipastikan bahwa kelebihan limpasan dari sisa air hujan dapat dengan mudah keluar dari hamparan kebun lada.

KENDALA DAN TANTANGAN PENERAPAN PERTANIAN PRESISI

Meskipun beberapa testimoni di lapangan menunjukkan dapat diraihinya keunggulan dari penerapan pertanian presisi, mungkin tidak serta merta dengan mudah inovasi ini diterima dan diadopsi oleh petani/pengguna. Beberapa faktor yang berpotensi akan menjadi kendala utama pada penerapan inovasi pertanian presisi tersebut adalah terkait dengan kebutuhan investasi tambahan untuk pengadaan sarana penunjang inovasi presisi, tingkat kesesuaian inovasi presisi dengan kebiasaan petani dalam berbudidaya lada, serta tingkat kehandalan dan efektivitasnya.

Adapun tantangan penerapan pertanian presisi ke depan adalah dengan mengatasi beberapa faktor yang berpotensi sebagai kendala tersebut. Bila kebutuhan tambahan investasi adalah keniscayaan untuk penerapan inovasi pertanian presisi, maka harus diupayakan kebutuhan investasi tersebut tidaklah mahal dan memberatkan petani. Selain harga komponen yang terjangkau juga dapat diakses dengan mudah. Kreasi komponen pertanian presisi juga musti memprioritaskan pada aspek yang penanganan secara manualnya dirasakan menyulitkan petani. Misalnya dalam pembuatan lubang tanam, sekalipun nampak sederhana namun cukup menguras tenaga petani dan sulit mengontrol keseragaman ukurannya. Dan komponen yang dimasukkan dalam inovasi pertanian presisi tersebut juga harus memiliki kinerja yang handal dan efektif, agar potensi keunggulannya dapat teraktualisasi.

STRATEGI PERCEPATAN PENERAPAN PERTANIAN PRESISI PADA BUDIDAYA LADA

Agar pertanian presisi dapat segera dipraktikkan secara meluas di perkebunan lada,

maka diperlukan strategi percepatannya. Beberapa aspek yang dianggap dapat menjadi pemacu percepatan implementasi pertanian presisi pada budidaya lada adalah sebagai berikut.

Peningkatan Kapasitas SDM dan Kelembagaan

Agar penerapan pertanian presisi pada budidaya lada berjalan maksimal tentu memerlukan prasyarat kecukupan minimal pada pengetahuan, skil, dan kelembagaan pendukung yang dimiliki petani. Terkait dengan hal tersebut, diperlukan perhatian pada aspek sebagai berikut.

1. *Bimbingan dan pendampingan*

Pendampingan secara melekat diperlukan agar petani lada tetap termotivasi untuk mempraktekan pertanian presisi secara benar. Mengingat kondisi lingkungan dan tantangan setiap kebun lada berbeda, tentu adanya bimbingan dan pendampingan ini akan memudahkan petani dalam menerapkan pertanian presisi. Selain itu, kehadiran pilot project sebagai wahana riil untuk dinilai, diyaqini, dicontoh, dan diikuti oleh para petani lada di sekitarnya adalah suatu kebutuhan untuk proses diseminasi atas peluang praktek pertanian presisi pada budidaya lada. Unit pilot project tersebut juga sekaligus sebagai sarana validasi tingkat efektivitas dari setiap komponen teknologi pertanian presisi lada tersebut.

2. *Penguatan kelembagaan*

Keberlanjutan merupakan kata kunci yang perlu diperhatikan dalam membangun pertanian presisi pada budidaya lada. Untuk bisa berkelanjutan maka harus ada jaminan bahwa *looping system* dari hulu hingga hilir yang melingkupi operasional pertanian presisi lada dapat bekerja dengan baik. Penguatan kelembagaan dan kesadaran sosial harus senantiasa dibangkitkan. Penguatan kelembagaan yang perlu menjadi perhatian diantaranya adalah kelembagaan yang terkait dengan penyediaan sarana produksi, penanganan dan pemasaran hasil, serta akses permodalan untuk pengembangan skala usaha.

3. *Konsolidasi dan korporasi*

Mengingat kepemilikan perkebunan lada oleh petani umumnya sempit, dan untuk

mendapatkan benefit dari praktek pertanian presisi memerlukan hamparan perkebunan lada yang relatif lebih luas, maka para petani tersebut perlu berhimpun dalam mengelola kebun lada secara kolektif. Keberhasilan konsolidasi pengelolaan lahan perkebunan lada diantara petani tersebut menjadi kunci penting untuk keberhasilan praktek pertanian presisi.

Mekanisasi dan Digitalisasi di Tataran *On-Farm* dan *Off-Farm*

Praktek pertanian ke depan termasuk dalam budidaya lada dituntut untuk bisa dilakukan secara presisi dan efisien. Konversi penggunaan tenaga manusia yang cenderung kurang efisien dan bervariasi kualitas output pekerjaannya ke penggunaan alat dan mesin yang lebih cepat diperlukan untuk mencapai efisiensi yang diharapkan. Demikian pula praktek pertanian presisi dengan dukungan perangkat dan standar yang memadai diharapkan menghasilkan pengelolaan input yang lebih akurat. Tentunya, pendekatan mekanisasi tersebut juga harus dibarengi dengan aplikasi digital yakni memanfaatkan rangkaian komponen elektronik yang tepat beserta pengelolaan program kontrolnya, sehingga output pekerjaan yang dilakukan dengan menggunakan alat dan mesin tersebut selain efisien dan cepat, juga terjamin akurasi dan presisinya. Untuk mendapatkan benefit yang besar, tentunya aplikasi mekanisasi dan digitalisasi tersebut perlu dilakukan baik pada tataran *on-farm* maupun *off-farm*. Agar petani/pengguna lebih mudah mengakses dan mendapatkan komponen mekanisasi dan digitalisasi tersebut, maka perlu disediakan semacam Unit Pelayanan Jasa Alat dan mesin (UPJA). Penggunaan sistem *remote control* beraplikasi Android pada praktek pertanian presisi diperkirakan akan semakin meningkat ke depan misalnya untuk mendeteksi cadangan air tanah, iklim mikro kebun dan mengaktifkan perangkat penting di kebun, sehingga perluasan penyediaan jaringan seluler yang memadai di kawasan perkebunan lada juga perlu diantisipasi.

Insentif Penerapan Pertanian Presisi

Untuk lebih meningkatkan semangat petani/pengguna dalam mempraktekkan

pertanian presisi, maka perlu diberikan insentif yang memadai. Misalnya, kemudahan dalam mendapatkan akses pinjaman penambahan modal, dan fasilitas menarik lain yang dibutuhkan oleh petani/pengguna.

KESIMPULAN

Pertanian presisi relevan diterapkan pada budidaya lada yang padat input dan tenaga kerja. Melalui penerapan prinsip pertanian presisi yang didukung mekanisasi yang tepat diharapkan cara budidaya lada di lapangan dapat lebih efektif dalam penerapan teknologi dan penggunaan input untuk mencapai produktivitas yang optimal, sehingga dicapai efisiensi secara teknis dan ekonomis. Pendekatan sederhana yang memungkinkan adalah melalui perbaikan presisi mulai dari pembuatan lubang tanam, penggunaan benih unggul, pengaturan pemberian hara dan air, aplikasi pengendalian OPT dan sanitasi kebun. Adapun strategi akselerasi adopsi inovasi pertanian presisi pada budidaya lada oleh petani dapat dilakukan melalui peningkatan kapasitas SDM dan kelembagaan, penguatan mekanisasi dan digitalisasi di tataran *on-farm* dan *off-farm*, serta pemberian insentif atas penerapan pertanian presisi. Melalui pendekatan tersebut diharapkan produktivitas budidaya lada nasional dapat lebih ditingkatkan sehingga dapat tetap kompetitif di tengah persaingan pasar yang semakin ketat ke depan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A.M. & Putra, D.P. (2016) Uji kinerja dan analisa finansial alat pembuat lubang tanam berpengerak traktor roda dua pada lahan jati. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*. 4 (2), 1–11.
- Asnawi, R., Ratna, D.A.N. & Arief, W. (2017) Pengaruh pengelolaan faktor internal usahatani terhadap produktivitas lada di Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian Indonesia*. 23 (December 2014), 1–10.
- Aune, J.B., Coulibaly, A. & Giller, K.E. (2017) Precision farming for increased land and

- labour productivity in semi-arid West Africa. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. [Online] 37 (3), Agronomy for Sustainable Development. Available from: doi:10.1007/s13593-017-0424-z.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van Der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A. & Eory, V. (2017) Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability (Switzerland)*. [Online] 9 (8), 1–28. Available from: doi:10.3390/su9081339.
- Bande, L.O.S., Hadisutrisno, B., Somowiyarjo, S. & Sunarminto, B.H. (2015) Epidemi penyakit busuk pangkal batang lada pada kondisi lingkungan yang bervariasi. *Jurnal HPT Tropika*. 15 (1), 95–103.
- Daba, T., Kifelew, H., Hailemichael, G. & Getachew, W. (2017) Insect pests infesting black pepper (*Piper nigrum* L.) in southwestern part of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*. [Online] 12 (21), 1817–1823. Available from: doi:10.5897/AJAR2016.11684.
- Daras, U. & Gusmaeni (2016) Strategi mengatasi budidaya lada berpindah: Kasus lada Bangka Belitung. *Perspektif Review Penelitian Tanaman Industri*. 15 (2), 96–109.
- Daras, U., Tjahjana, B.E. & Herwan (2012) Status hara tanaman lada Bangka Belitung. *Buletin RISTRI*. 3 (1), 23–32.
- Devasahayam, S., John Zachariah, T., Jayashree, E., Kandiannan, K., Prasath, D., Santhosh, J.E., Sasikumar, B., Srinivasan, V. & Suseela, B.R. (2015) *Black Pepper*. Liji, T. & Rajeev, P. (eds.) *Indian Institute of Spices Research*. Black pepp. [Online] Kerala, Director ICAR-Indian Institute of Spices Research, Kozhikode. Available from: doi:10.1007/978-1-4614-4310-0.
- Ditjenbun (2017) *Statistik Perkebunan Indonesia Lada 2015-2017*.
- Ee, K.P. & Shang, C.Y. (2017) Novel Farming Innovation for High Production of Black Pepper (*Piper nigrum* L.) Planting Materials. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. [Online] 7 (5), 301–308. Available from: doi:10.17265/2161-6264/2017.05.001.
- Gebbers, R. & Adamchuk, V.I. (2010) Precision agriculture and food security. *Science*. [Online] 327 (5967), 828–831. Available from: doi:10.1126/science.1183899.
- Hakkim, V., Joseph, E., Gokul, A. & Mufeedha, K. (2016) Precision Farming: The Future of Indian Agriculture. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*. [Online] (November), 068–072. Available from: doi:10.7324/JABB.2016.40609.
- Herman, M., Sasmita, K.D. & Pranowo, D. (2012) Pemanfaatan mikroba rizosfer untuk meningkatkan pertumbuhan dan serapan hara pada tanaman lada. *Buletin RISTRI*. 3 (2), 143–150.
- Irianto, G. (2000) Panen hujan dan aliran permukaan untuk peningkatan produktivitas pertanian lahan kering, penanggulangan banjir dan kekeringan. 5 (1), 29–39.
- Kementan (2015) *Pedoman produksi, sertifikasi, peredaran dan pengawasan benih tanaman lada (Piper nigrum L)*. Republik Indonesia, pp.10–12.
- Mahlein, A.K. (2016) Present and Future Trends in Plant Disease Detection. *Plant Disease*. [Online] 100 (2), 1–11. Available from: doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- Manohara & Wahyuno, D. (2016) *Pedoman Budidaya Merica*. ICRAF Southeast Asia Regional Office (ed.) Yayasan Adudu Nantu Internasional.
- Melati, Susila, A.D., Pitono, J., Rusmin, D. & Rahayu, S. (2018) 'Teknologi FERTIGAPRO untuk produksi benih sehat bermutu pada jahe putih besar' *KP4S Badan Litbang Pertanian* Jakarta.
- Pitono, J., Melati, Maslahah, N. & Wiyono, J. (2018) *Teknologi robot fertigasi untuk peningkatan efisiensi pengelolaan hara dan air pada budidaya lada*. (Rencana Operasional Pelaksanaan Penelitian TA 2018, Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat), Bogor.
- Pranoto, Y.S. (2016) Pengaruh input terhadap produksi usahatani lada putih (Muntok White Pepper) di Desa Kundi Kecamatan

- Simpang Teritip Kabupaten Bangka Barat. 9 (3), 1–7.
- Prianto, D., Tri, E. & Handayani, E. (2019) Sistem pakar diagnosa penyakit dan hama pada tanaman lada dengan metode forward chaining berbasis android. *Ensiklopedia of Journal*. 1 (2), 144–150.
- Pribadi, E.R., Laba, I.W., Yolanda, K. & Willis, M. (2015) Kelayakan ekonomi pengendalian hama pengisap buah lada (*Dasynus piperis* China) dengan insektisida nabati berbahan aktif minyak seraiwangi dan cengkeh. 26 (2), 155–165.
- Purwadi, M.A. (2018) Budidaya tanaman kopi Arabika sebagai pendorong ekonomi masyarakat di Kabupaten Intan Jaya. *Jurnal Manajemen dan Bisnis*. 2, 1–11.
- Rismayani, Rohimatun & Kristina, N.N. (2017) Uji preferensi penggerek batang (*Lophobaris piperis* Marsh) terhadap lada (*Piper nigrum* L.) mtan hasil iradiasi sinar gamma. Gusmaeni, Bermawie, N., Rizal, M., Wahyuno, D., Pribadi, E.R. & Nurhayati, H. (eds.) (October), Bogor, IAARD Press, pp.183–187.
- Rosman, R. (2014) Model simulasi kelayakan lahan pengembangan lada organik. In: *Presiding Seminar Nasional Pertanian Organik*. 200 (3), pp.77–82.
- Rukmana, D. (2010) Teknik perbanyak setek lada melalui kebun induk mini. *Buletin Teknik Pertanian*. [Online] 14 (2), 5–7. Available from: doi:10.1186/1741-7007-9-22.
- Rusmin, D., Suryadi, R., Pitono, J., Melati & Permadi, R.A. (2018) Optimasi produksi benih lada bermutu melalui fertigasi statis dan sistem tanam sisip dalam baris. Bogor Indonesia.
- Sahara, Haryadi & N., K. (2018) Pembiayaan bagi petani kecil di sektor kelapa sawit: Analisis kesenjangan antara skema kredit yang tersedia dan pembiayaan yang dihadapi petani kecil. *Pembiayaan bagi petani kecil di sektor kelapa sawit: Analisis kesenjangan antara skema kredit yang tersedia dan pembiayaan yang dihadapi petani kecil*. [Online] Available from: doi:10.17528/cifor/006885.
- Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R. & Davis, C. (2010) A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*. [Online] 72 (1), Elsevier B.V., 1–13. Available from: doi:10.1016/j.compag.2010.02.007.
- Saputra, F.I., Rahayu, L. & Istiyanti, E. (2017) Pengembangan usahatani lada putih di Kabupaten Belitung Timur Provinsi Bangka Belitung. Yogyakarta.
- Sari, I.N., Lestari, E.R. & Astuti, R. (2016) Analisis produktivitas sektor kebun menggunakan Craig-Harris Productivity Model (Studi asus di PT Candi Loka-Kebun Teh Jamus). 5 (2), 75–83.
- Schimmelpfennig & David (2016) *Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Economic Research Report*. [Online] (217). Available from: <https://ideas.repec.org/p/ags/uersrr/249773.html>.
- Sivaraman, K., Kandiannan, K., Peter, K. V & Thankamani, C.K. (1999) Agronomy of black pepper (*Piper nigrum* L.) - a review. *Journal of Spices and Aromatic Crops*. 8.
- Soetopo, D. (2012) Pengendalian hama penggerek batang lada menghadapi isu pembatasan residu pestisida. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 5 (1), 32–43.
- Srinivasan, V., Dinesh, R., Krishnamurthy, K.S. & Hamza, S. (2007) Nutrition and Physiology. In: Singh, H.P., Parthasarathy, V.A. & Srinivasan, V. (eds.) *Piperaceae Crops – Production and Utilization*. First. (March), Westvilee Publishing House, pp.101–121.
- Sureshkumar, P., Geetha, P., Narayanan Kutty, M.C., Narayanan Kutty, C. & Pradeepkumar, T. (2016) Fertigation - the key component of precision farming. *Journal of Tropical Agriculture*. 54 (2), 103–114.
- Suryadi, R., Pitono, J., Rusmin, D. & Setiawan, S. (2018) Teknologi fertigasi statis untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan hara pada kebun produksi lada. *Rencana Operasional Pelaksanaan Penelitian, Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat*. (3).
- Wahid, P., Syakir, M., Hermanto, Surmaini, E. & Pitono, J. (2005) Pencucian dan serapan hara lada perdu (*Piper nigrum* L.) pada

- berbagai tingkat dan frekuensi pemberian air. *Jurnal Littri*. 11 (1), 13–18.
- Wahyudi, A. & Pribadi, E.R. (2016) Inovasi untuk meningkatkan daya saing lada Indonesia. *Perspektif Review Penelitian Tanaman Industri*. 15 (2), 134–145.
- Wahyuno, D. (2009) Pengendalian Terpadu Busuk Pangkal Batang Lada. *Perspektif Review Penelitian Tanaman Industri*. 8 (1), 17–29.
- Widyasari, T., Hartono, S. & Irham, I. (2015) Peremajaan optimal tanaman karet di PT. Perkebunan Nusantara IX (Analisis Simulasi Pada Kebun Getas). *Jurnal Penelitian Karet*. [Online] 33 (1), 47. Available from: doi:10.22302/jpk.v33i1.170.
- Yasmi, Suyatno, A. & Imelda (2017) Analisis Finansial Usahatani Lada Putih (*Piper nigrum* Linn) di Desa Ratu Sepudak Kecamatan Galing Kabupaten Sambas Provinsi Kalimantan Barat. 6 (2), 42–56.