

PROSPEK FERTIGASI UNTUK PENGELOLAAN HARAHARA PADA BUDIDAYA LADA

Prospect of Fertigation for Nutrient Management 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

Email: pitono2014@gmail.com; jokopitono@litbang.pertanian.go.id

ABSTRAK

Lada (*Peper nigrum* L.) tergolong tanaman pengkonsumsi hara tinggi. Sekitar 20-50% dari total pembiayaan input produksi lada adalah untuk penyediaan pupuk. Oleh karena itu, teknis pengelolaan hara menjadi faktor penentu yang perlu diperhatikan dalam meningkatkan efisiensi budidaya lada. Praktek pemupukan lada secara konvensional umumnya masih bermasalah pada kurang sinkronnya komposisi, dosis, dan proporsi pemberian hara dengan kebutuhan tanaman lada, sehingga menyebabkan pertumbuhan dan produktivitas aktual jauh di bawah potensinya. Melalui aplikasi teknologi fertigasi memungkinkan untuk mengatur komposisi dan dosis hara secara tepat sesuai dengan perkembangan fisiologis tanaman, sehingga selain penggunaan hara menjadi lebih efisien, juga memberikan efek positif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman menjadi lebih maksimal. Beberapa hasil penelitian sebelumnya membuktikan bahwa penerapan teknologi fertigasi pada kelompok tanaman hortikultura dapat mengefisiensikan penggunaan hara hingga 25-40% dibandingkan cara pemupukan konvensional, dengan disertai tambahan pendapatan pada kisaran 10-15%. Meskipun secara teknis fertigasi terbukti menguntungkan, namun penerapannya pada budidaya lada di Indonesia justru belum berkembang. Beberapa faktor disinyalir sebagai penyebab antara lain faktor kurang fahamnya petani lada terhadap keunggulan teknologi fertigasi, investasi pembiayaan yang dianggap masih mahal, dan belum tersedianya alternatif teknologi fertigasi yang mudah dan murah pembiayaannya. Tujuan penulisan review ini adalah menguraikan perkembangan teknologi fertigasi dan nilai keekonomian pada beberapa kasus implementasinya pada komoditas komersial lain, serta perspektif aplikasinya pada budidaya lada.

Kata kunci: lada, fertigasi, efisiensi hara, peningkatan hasil

ABSTRACT

Pepper is classified as nutrient demanding crop. In the field cultivation practices, 20-50% of the total cost of input production is for fertilizer provision. Therefore, nutrient management is the key to improve pepper cultivation efficiency in the field. Currently, fertilization practices in pepper cultivation in the field are lack of synchronization between composition, dosage, frequency and nutrient requirement. This lead to poor plant performance and much lesser production than its potential. Application of fertigation technology is enable to precisely adjust the composition and dosage of nutrients according to the physiological development of the plant, hence improving nutrient use efficiency. Furthermore, it promotes maximum plant growth and yield. The results of previous studies indicated that the application of fertigation technology in horticultural plants induced nutrient use efficiency up to 25-40% compared to conventional fertilization approach, hence improving farmer's income 10-15%. Even though fertigation is technically beneficial, its application in pepper cultivation in Indonesia has not yet developed. Several factors were alleged as the obstacles were lack of understanding of pepper farmers towards the superiority of fertigation technology, the technology that are considered to be still expensive hence increasing total cost, and the unavailability of alternative easy and cheap fertigation technologies. The objective of this review was to describe the development of fertigation technology, its economic value and the perspective of its application in pepper cultivation.

Keywords: pepper, fertigation, nutrient efficiency, yield increase

PENDAHULUAN

Seiring semakin tajamnya kompetisi global diantara negara penghasil lada, menuntut

percepatan perbaikan cara pengelolaan agribisnis lada nasional ke level yang lebih tinggi. Di sisi lain, hingga saat ini produksi lada nasional justru sepenuhnya bertumpu pada perkebunan lada rakyat, yang praktek pengelolaan usahatannya justru masih dilakukan secara konvensional dan acapkali kurang memenuhi prosedur standar operasional (Wahyudi dan Pribadi, 2016). Pembiaran situasi yang demikian tentunya akan semakin memperburuk kemampuan daya saing lada nasional. Untuk mengentaskan sejumlah permasalahan krusial yang masih melilit agroindustri lada nasional tersebut, selain diperlukan dukungan kebijakan yang kuat dari pihak pemerintah baik pusat maupun daerah serta keterlibatan konstruktif dari para pemangku kepentingan lada yang ada, juga perlu menghadirkan opsi inovasi teknologi yang secara efektif dapat memecahkan masalah di lapangan.

Kebutuhan inovasi teknologi untuk mendukung penguatan agribisnis lada meliputi aspek yang cukup luas, mulai dari penanganan budidaya *on-farm*, cara panen dan sejumlah proses yang menyertai, hingga teknologi penyimpanan dan distribusi yang menjamin tetap berkualitasnya produk lada sampai ke tangan konsumen (Wahyudi dan Pribadi, 2016). Bahasan review ini membatasi pada aspek budidaya *on-farm*, khususnya pada perspektif teknologi pengelolaan hara.

Secara morfologis, lada tergolong tanaman merambat berlintasan fotosintesis C₃ dengan arsitektur perakaran yang berfungsi menyerap hara (*feeder root*) hanya terkonsentrasi pada kedalaman kurang dari 40 cm dari permukaan tanah (Wahid *et al.*, 2005; Tjahjana *et al.*, 2012). Arsitektur perakaran yang demikian menyebabkan lada relatif peka terhadap defisit air dan hara. Guna mendapatkan pertumbuhan dan hasil lada yang berkualitas, status kecukupan asupan hara dan air pada area perakaran tersebut perlu dijaga keseimbangannya. Lebih lanjut, hasil kajian keekonomian pengelolaan hara pada perkebunan lada menunjukkan bahwa dampak nilai ekonomi atas penerapan teknologi pemupukan dan sistem polikultur dapat mencapai Rp 1,0 - 3,6 miliar/tahun dengan nilai *return of investment* (ROI) sekitar 11,37-81,37% (Ardana *et al.*, 2017).

Teknologi fertigasi telah dikenal secara luas memiliki keunggulan dalam pengaturan hara dan air, sehingga memungkinkan tanaman selalu tercukupi kebutuhan hara dan airnya. Beberapa testimoni penerapannya menyebabkan peningkatan yang signifikan pada produktivitas tanaman seperti pada jahe (Suhaimi *et al.*, 2014), bunga matahari (Sinha *et al.*, 2017), dan cabai (Naswir *et al.*, 2009). Selain itu, investasi pemakaian material sumber hara juga menjadi jauh berkurang dengan tingkat efisiensi hingga 25-40% (Sandal *et al.*, 2015).

Sekalipun teknologi fertigasi menawarkan beberapa kelebihan dalam pengelolaan hara tanaman, namun ironisnya penerapannya pada budidaya tanaman lada yang justru peka terhadap defisit hara dan air, terbukti belum berkembang dan belum ada pihak yang melaporkannya. Terdapat beberapa faktor penyebab yang dianggap memicu situasi demikian. Diantaranya adalah kebutuhan biaya investasi awal yang memberatkan petani, terutama untuk pengadaan perangkat unit fertigasi beserta jaringan pipa. Selain itu, cara operasionalnya juga dianggap masih rumit dan perlu pengontrolan yang rutin, sehingga dianggap kurang praktis dibanding cara manual dan petani merasa tidak punya banyak waktu untuk mengurusnya. Apalagi bila situasi harga lada sedang berfluktuasi ke nilai yang rendah, semakin memicu kurang antusiasnya petani untuk memelihara kebun ladanya. Sejumlah kekurangan pada teknologi fertigasi yang membuat kurang tertariknya petani untuk mengadopsinya merupakan hal yang wajar dan perlu dicari solusinya sehingga pemanfaatan teknologi tersebut pada budidaya lada menjadi semakin layak dan menguntungkan ke depan.

TEKNOLOGI FERTIGASI DAN PERKEMBANGANNYA

Fertigasi secara sederhana dimaknai sebagai praktek pemberian hara tanaman yang dilakukan secara bersamaan dengan irigasi (Kafka and Tarchitzky, 2011; Yuan *et al.*, 2014). Pengelolaan hara tanaman dengan teknologi fertigasi utamanya adalah pada hara makro seperti nitrogen, kalium, fosfat, dan magnesium. Untuk

melengkapi kebutuhan hara tanaman pada unsur mikro, maka dengan mudah dapat ditambahkan beberapa unsur secara bersamaan seperti mangan, boron, seng, besi, dan unsur lain sesuai dengan kebutuhan tanaman (Kafkafi and Tarchitzky, 2011).

Aplikasi sistem fertigasi yang terkontrol terbukti dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 1,9 kali lipat dibanding cara pengairan konvensional (Yuan *et al.*, 2014). Pengaturan hara yang demikian juga memungkinkan untuk mengontrol pembentukan tunas baru serta memacu proses pembentukan dan pengisian buah. Hasil studi sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi fertigasi sederhana sistem kendi pada lada perdu terbukti mampu mengurangi porsi pemberian hara hingga 50% dari rekomendasi dosis pemupukan konvensional, tanpa disertai efek penurunan pada komponen pertumbuhan vegetatif, seperti parameter tinggi tanaman dan jumlah daun (Hermantoro *et al.*, 2003). Selain itu, dengan penambahan perangkat, sistem fertigasi juga memungkinkan dipadukan dengan tindakan proteksi tanaman terhadap serangan OPT, sebagaimana yang sedang diujicobakan pada proses produksi benih jahe putih besar (Melati *et al.*, 2017; Melati *et al.*, 2018). Efek positif fertigasi terhadap tanaman juga dilaporkan terjadi pada tanaman buah batu (*Prunus* sp.) yakni terhadap peningkatan kualitas kandungan nutrisi buah, pertumbuhan, dan pendapatan (Nirgude *et al.*, 2018). Perlakuan fertigasi juga terbukti berpengaruh superior pada pertumbuhan vegetatif, hasil panen, dan kualitas cherry (Neilsen *et al.*, 2010; Salgado *et al.*, 2012).

Teknologi fertigasi saat ini telah mengalami perkembangan yang signifikan sejalan dengan perkembangan teknologi di bidang lain yang terkait, seperti informatika, elektronika, dan mekanika. Basis operasional fertigasi terkini telah beralih ke arah penggunaan sistem komputerisasi, sehingga dapat menentukan secara cepat dan tepat jenis dan jumlah hara yang perlu diberikan pada tanaman. Dalam hal ini, tingkat akurasi kinerja fertigasi sangat tergantung pada kesesuaian antara nilai input variabel komponen hara yang digunakan dalam program operasionalnya dengan fase perkembangan

fisiologis tanaman. Umumnya aplikasi fertigasi yang canggih seperti ini telah dipraktekan pada jenis komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi tinggi seperti letuce, paprika, tomat, strawbery, dan jenis lainnya (Kafkafi and Tarchitzky, 2011).

Bagian krusial dari sistem fertigasi antara lain adalah pada program operasional unit pengaturan komposisi dari beberapa jenis unsur hara beserta kontrol level dosisnya. Tingkat kecanggihan unit fertigasi dapat dilihat dari banyaknya jenis hara yang mampu diatur dan penyesuaian dosis yang bisa ditangani sesuai dengan perkembangan fisiologis tanaman. Umumnya secara komersial harga unit fertigasi tergantung pada jumlah jenis hara yang dapat dikontrolnya. Semakin banyak jenis unsur hara yang dapat dikontrol, akan semakin mahal harga unit fertigasi tersebut. Lebih lanjut, pemakaian sensor detektor baik untuk memonitor perkembangan status lengas tanah, status hara di media dan jaringan tanaman akan sangat membantu meningkatkan kemampuan dan kecanggihan unit fertigasi tersebut.

JENIS OPERASIONAL FERTIGASI

Berdasarkan target area pemberian air ke tanaman, operasional fertigasi dapat dilakukan bersamaan dengan teknik irigasi yang dapat dibedakan menjadi irigasi *overhead*, irigasi permukaan (*surface irrigation*), irigasi tetes (*drip irrigation*), dan irigasi sub permukaan atau *sub irrigation* (Susila dan Poerwanto, 2013). Pada irigasi *overhead*, air diberikan melalui unit semprotan yang menyerupai hujan dengan bantuan unit sprinkler. Cara irigasi *overhead* ini dinilai relatif kurang efisien dalam pemakaian sumber air dan biaya operasionalnya cukup mahal. Untuk sistem irigasi permukaan dapat dilakukan melalui cara irigasi saluran (*furrow irrigation*) dan cara penggenangan (*flooding method*). Sistem irigasi permukaan ini hanya efektif untuk diterapkan pada lahan yang relatif datar. Selanjutnya, untuk jenis irigasi tetes dioperasionalkan melalui unit emiter atau nozel yang menetes langsung ke area perakaran tanaman dengan kisaran debit 1-8 liter/jam. Salah satu kelebihan dari cara irigasi tetes ini adalah sangat efisien dalam penggunaan air.

Selanjutnya, untuk jenis irigasi sub permukaan sekalipun sangat efisien dalam penggunaan air karena langsung diberikan pada area perakaran melalui pipa kapiler di bawah tanah, namun jarang dipraktekkan karena memerlukan biaya investasi awal yang mahal. Studi komparasi diantara model fertigasi sub permukaan dan permukaan memperlihatkan bahwa aplikasi fertigasi tetes sub permukaan memberikan hasil dan kualitas bunga *Zinnia elegans* jauh lebih tinggi daripada dengan aplikasi fertigasi tetes di permukaan (Elhindi *et al.*, 2015). Lebih lanjut, hasil studi Hanson *et al.* (2009) menegaskan bahwa aplikasi drip fertigasi secara sub permukaan selain signifikan meningkatkan hasil tomat hingga 40,5 ton/acre dibandingkan hasil pada fertigasi sprinkler yang hanya 33,9 ton/acre, terbukti tidak memberikan efek peningkatan salinitas yang membahayakan di area perakaran.

Berdasarkan cara operasionalnya, fertigasi juga dapat dibedakan menjadi fertigasi otomatis, semi otomatis, dan manual (Kafka and Tarchitzky, 2011). Pembeda utama fertigasi otomatis dengan jenis fertigasi lainnya adalah pada sistem kendali operasionalnya. Pada jenis fertigasi otomatis penuh, seluruh sistem kendali mulai dari pengaturan komposisi dan pemilihan jenis unsur hara, penentuan level dosis, hingga pengaturan distribusi larutan hara ke jaringan pipa dapat ditangani secara akurat oleh unit mikrokontrol yang diprogram secara spesifik untuk setiap jenis tanamannya. Sebaliknya pada sistem fertigasi semi otomatis ataupun fertigasi manual, ada bagian operasional yang masih perlu ditangani secara langsung oleh tenaga operator. Implementasi teknologi fertigasi dapat digunakan baik untuk model budidaya *in door* seperti pada *nursery house* dan tipe tanaman produksi di level rumah kaca ataupun budidaya tanaman *out door* di level lapangan terbuka. Untuk model *out door* tentu diperlukan jenis fertigasi yang memiliki kemampuan lebih tinggi karena semakin kompleks variabel lingkungan yang perlu dikontrol dibandingkan untuk *in door*.

Faktor lain yang perlu diperhatikan pada operasional fertigasi adalah tingkat keseragaman distribusi larutan hara, waktu yang diperlukan untuk pendistribusian hingga titik terjauh, dan efektivitas larutan hara sampai ke perakaran

tanaman (Hanson *et al.*, 2006). Untuk aplikasi fertigasi dengan sistem irigasi tetes direkomendasikan memiliki nilai *distribution uniformity* (DU) antara 85 % - 93 % (Burt and Asce 1998). Sejalan dengan dioperasionalkannya fertigasi akan terjadi perubahan pada struktur kepadatan perakaran tanaman. Perakaran yang posisinya dekat dengan *emitter* umumnya akan cenderung lebih rapat dan berkurang dengan semakin jauhnya dari *emitter*.

KEEKONOMIAN TEKNOLOGI FERTIGASI

Penerapan teknologi fertigasi skala komersial telah banyak dilakukan pada beberapa komoditas bernilai ekonomi tinggi, utamanya pada kelompok tanaman hortikultura. Pengaturan pemberian hara nitrogen dengan fertigasi pada budidaya tomat skala lapangan dilaporkan dapat memberikan peningkatan pendapatan setara dengan penambahan hasil sebesar 250-300 kg/ha (Zhang *et al.*, 2010). Demikian juga penerapannya pada tanaman sayuran *lettuce* dapat meningkatkan secara signifikan pada hasil dan kualitasnya (de Souza *et al.*, 2017). Peningkatan nilai keekonomian budidaya tanaman dengan aplikasi teknologi fertigasi tersebut, secara umum berasal dari nilai pemangkasan biaya input hara dan air menjadi lebih rendah dan adanya peningkatan kuantitas dan kualitas hasil panen yang memberikan tambahan pendapatan secara signifikan. Aplikasi fertigasi mikro pada budidaya cabai dilaporkan dapat menghemat penggunaan air hingga 50% dan meningkatkan produksi hingga 61% dibandingkan dengan cara budidaya secara konvensional, dengan diikuti nilai B/C ratio dan IRR berturut-turut sebesar 1.51 dan 27.49% (Naswir *et al.*, 2009). Aplikasi fertigasi dengan teknik irigasi tetes juga dilaporkan dapat meningkatkan efisiensi dan nilai keekonomian pada budidaya bunga matahari (*Helianthus annuus* L.), dimana nilai optimalnya dicapai saat pemberian irigasi setara dengan 80% dari nilai evapotranspirasi aktual tanaman dan pemberian hara pada level 80% dosis rekomendasi pemupukan secara konvensional (Sinha *et al.*, 2017). Penggunaan fertigasi pada budidaya temulawak (*Curcuma longa* L.) dilaporkan dapat

meningkatkan kualitas hasil dan pendapatan petani hingga Rp. 104.923,3/ha (Krishnamoorthy *et al.*, 2015). Penghematan konsumsi nutrisi oleh fertigasi juga terjadi pada budidaya kapas, yang terbukti dapat mengefisiensikan hingga 25% pada pemberian unsur N, P₂O₅, K₂O, Zn, dan Fe (Magare *et al.*, 2018).

Prospek keekonomian teknologi fertigasi tersebut tentu dapat bervariasi pada setiap kasus aplikasinya. Secara teknis, kemampuan unit fertigasi menjaga presisi operasionalnya turut menentukan potensi besaran biaya input hara yang bisa dihemat dan tambahan volume dan nilai ekonomi hasil panen yang dapat diperoleh. Selain itu, tambahan nilai keekonomian tersebut tentu juga tergantung pada harga satuan hara dan produk hasil panen yang terjadi pada saat tersebut.

KEBUTUHAN HARA DAN PRAKTEK PEMUPUKAN LADA HINGGA SAAT INI

Jumlah dan jenis unsur hara yang dibutuhkan tanaman lada dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi agroklimat (tanah dan iklim), varietas, dan umur tanaman (Kandiannan *et al.*, 2011; Yap 2012). Observasi di lapangan menunjukkan bahwa prioritas kebutuhan hara makro pada tanaman lada adalah N>K>Ca>Mg>P (Srinivasan *et al.*, 2007). Untuk dapat tumbuh normal, tanaman lada diperkirakan memerlukan kandungan hara di jaringan daun sekitar 3.10% N, 0.16% P, 3.40% K, 1.66% Ca, dan 0.44% Mg (Sivaraman *et al.*, 1999). Selain unsur hara utama N, P, dan K, hasil evaluasi di lapangan memperlihatkan bahwa rendahnya status unsur Ca dan Mg juga dapat menjadi kendala serius untuk pengembangan lada di wilayah Bangka yang berkaitan dengan kondisi pH tanah yang rendah, kurang dari 5 (Daras *et al.*, 2012). Sementara pH tanah yang ideal untuk tanaman lada adalah pada kisaran 5.5 – 6.5 (Devasahayam *et al.*, 2015). Kasus serupa diperkirakan juga terjadi pada wilayah pengembangan lada lainnya. Lebih lanjut estimasi kebutuhan hara tanaman lada pada tahun ke-1, 2, dan 3 berturut-turut adalah sekitar 1, 2, dan 3 ton pupuk majemuk NPKMg (12:12:17:2) untuk per hektar per tahun (Daras

and Gusmaeni 2016). Hasil studi lain menunjukkan bahwa penambahan per kg input pupuk nitrogen, SP-36, dan NPK terbukti dapat meningkatkan produksi lada secara berturut-turut sebesar 0.766, 3.090, dan 0.610 kg/ha (Asnawi *et al.*, 2017).

Untuk wilayah pengembangan di Lampung dosis anjuran pemupukan tanaman lada menghasilkan (TM), adalah sebesar 1.6 kg NPKMg 12:12:17:2/tanaman/tahun (Tjahjana *et al.*, 2012). Namun dosis anjuran pemupukan tersebut masih terlalu umum belum memperhitungkan periode penambahan umur yang lebih pendek misal tiap periode 6 bulanan dan jenis tanahnya.

Besarnya kebutuhan pupuk tersebut tidak terlepas dari karakteristik tanaman lada yang membutuhkan suplai hara tinggi atau *a high nutrient demanding crop* (Yap, 2012), dengan proses pembentukan biomas jaringan yang relatif intensif sepanjang waktu baik dalam bentuk daun, sulur, maupun komponen buah. Lebih lanjut dilaporkan bahwa pada sistem perakaran lada, bagian jaringan penyerap hara (*feeder root*) adalah terbatas pada bagian perakaran yang berada di area piringan kanopi dengan kedalaman hingga 50-60 cm (Sivaraman *et al.*, 1999; Krishnamurthy *et al.* 2010). Relatif kecilnya bidang serapan hara oleh perakaran lada tersebut dan tingginya kebutuhan pasokan hara yang harus dipenuhi untuk mendukung pembentukan biomasa jaringan atas yang intensif seperti daun, sulur, bunga, dan buah, memerlukan kondisi stok hara di zona perakaran yang selalu memadai. Di sisi lain, resiko hilangnya unsur hara dari zona perakaran lada baik melalui proses pencucian (*leaching*) maupun penguapan ke atmosfer (*volatile*) sulit dihindari. Dua kondisi kontradiktif tersebut dipandang sebagai salah satu penyebab tingginya kebutuhan pemupukan pada tanaman lada. Lebih lanjut, hasil studi sosial ekonomi menunjukkan bahwa sekitar 20-50% dari biaya input produksi lada adalah untuk memenuhi kebutuhan pemupukan (Sari *et al.*, 2013; Sumantri *et al.*, 2004; Mawarnita, 2013).

Kajian lapang lainnya di Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa kimia tanah yang berpengaruh langsung pada rendahnya intensitas penyakit busuk pangkal batang lada, yakni tingginya kapasitas tukar kation (KTK),

kejemuhan basa (KB), K dan P tersedia, sedangkan sifat fisika tanah yang berpengaruh adalah lengas tanah pada kapasitas lapang (Bande *et al.* 2016). Sedangkan yang mendukung perkembangan penyakit adalah tingginya kandungan fraksi liat dan pasir, porositas, N total, C-organik, dan salinitas. Hasil kajian tersebut juga merekomendasikan bahwa strategi pengendalian penyakit busuk pangkal batang pada pertanaman lada di daerah Sulawesi Tenggara dapat dilakukan dengan meningkatkan KTK, KB, K dan P tersedia, serta perbaikan struktur tanah yang mampu meningkatkan aerasi dan porositas tanah.

TANTANGAN PENGEMBANGAN SISTEM FERTIGASI PADA BUDIDAYA LADA

Optimalisasi pengelolaan hara perlu dilakukan guna mendapatkan tingkat pertumbuhan dan produktivitas lada yang maksimal. Tujuan utama dari penerapan teknologi fertigasi pada budidaya lada adalah untuk mewujudkan kondisi yang demikian. Namun dalam prakteknya masih ditemukan beberapa kendala dan tantangan yang perlu penyelesaian. Beberapa tantangan yang perlu mendapat perhatian dalam penerapan teknologi fertigasi pada budidaya lada tersebut antara lain sebagai berikut.

Minimalisasi Pembiayaan Investasi Dan Operasional

Salah satu kendala penggunaan sistem fertigasi skala luas pada budidaya lada di lapangan adalah memerlukan tambahan

pembiayaan investasi untuk pengadaan peralatan dan operasionalnya. Besaran nilai tambahan pembiayaan tersebut tentu tergantung dari tipologi fertigasi yang digunakan. Semakin banyak jenis unsur hara dan parameter yang harus dikontrol, tentu harga mesin fertigasi tersebut akan semakin mahal. Demikian juga bila sistem fertigasi yang dipilih adalah jenis fertigasi statis, jelas selain pengadaan unit mesin fertigasi juga diperlukan biaya untuk instalasi jaringan pipa untuk penyaluran larutan hara ke tanaman lada seperti pada Gambar 1. Besaran kebutuhan biaya investasi untuk penyediaan instalasi jaringan tersebut juga tergantung pada kondisi topografi dan luasan perkebunan lada yang akan ditangani.

Adapun tantangan ke depan adalah menghadirkan inovasi teknologi fertigasi yang kebutuhan biaya investasi awalnya tidak terlalu mahal dengan biaya operasional yang *jug*a tidak memberatkan. Bila pos biaya penyediaan jaringan pipa saluran larutan hara pada sistem fertigasi statis dapat dihilangkan, maka akan menurunkan kebutuhan biaya investasi awal *secara* signifikan, apalagi bila penerapan fertigasi tersebut meliputi area perkebunan lada yang luas. Sebagai kompensasinya harus digunakan unit fertigasi non statis (*mobile*) yang dapat melakukan proses penyiraman larutan hara dari tanaman lada *yang* satu pindah ke tanaman lada berikutnya. Dalam hal ini, aplikasi teknologi robot tentunya sangat diperlukan untuk dapat menjalankan operasional sistem fertigasi non statis tersebut. Model fertigasi secara mobile tersebut kini tengah dikembangkan di Balitetro, Balitbangtan untuk nantinya dapat diaplikasikan



Gambar 1. Instalasi fertigasi statis pada pertanaman lada di KP Sukamulya, Balitetro.

Foto: Suryadi *et al* (2018)



Gambar 2. Model robot fertigasi lada yang sedang dikembangkan di Balitetro. Foto: Pitono *et al* (2018)

pada budidaya lada skala lapangan (Pitono *et al.* 2018). Penampakan model robot fertigasi lada tersebut adalah seperti terlihat pada Gambar 2.

Kemampuan Kontrol Unit Fertigasi

Semakin lengkap variabel pengaturan hara dan air yang dapat ditangani, maka akan semakin canggih dan meningkat kemampuan suatu unit fertigasi. Kehandalan unit fertigasi akan semakin meningkat manakala penanganan variabel pengaturan tersebut terhubung dengan perangkat sensor yang secara *real time* dapat memberikan input data penting sebagai dasar operasionalnya.

Sejalan dengan perkembangan teknologi sensor, tingkat presisi aplikasi fertigasi pada tanaman memungkinkan untuk ditingkatkan lagi. Paling tidak ada tiga jenis sensor yang diperlukan untuk dapat memberikan efek peningkatan kinerja unit fertigasi tersebut, antara lain adalah sensor untuk mendeteksi dinamika lengas tanah, status hara di jaringan tanaman dan status hara yang ada di area perakaran. Ketiga jenis input data tersebut bila secara terus menerus dapat disediakan oleh sensor secara *real time* akan sangat membantu operasional unit fertigasi menjadi semakin akurat dalam menentukan takaran dan komposisi hara.

Mengingat arsitektur akar penyerap hara (*feeder root*) tanaman lada terbatas pada lapisan atas saja, yakni <40 cm dari permukaan tanah, maka adanya pengontrolan jumlah dan jenis hara yang diaplikasikan akan memberikan efek baik terhadap keseimbangan konsumsi hara tanaman lada. Keseimbangan hara di media akar tersebut diharapkan tidak hanya akan menstimulasi pertumbuhan dan produksi panen lada menjadi meningkat, tetapi dalam jangka panjang akan memberikan efek baik juga *terhadap* keseimbangan lingkungan kimia dan fisika tanah. Terjadinya kondisi yang demikian diharapkan akan berimplikasi positif bagi populasi dan kelangsungan aktivitas mikroba serta mikrofauna tanah di sekitar perakaran lada. Aplikasi larutan hara dengan dosis terlalu tinggi dilaporkan dapat menekan biomas mikroba tanah pada tebu (Patil *et al.* 2017) dan menurunkan populasi mikrobia serta aktivitas enzimatik di perakaran jagung (Bharathi *et al.*, 2011). Hal tersebut diduga berkaitan dengan adanya stres osmotik yang dipicu oleh konsentrasi hara yang terlalu tinggi (Bharathi *et al.*, 2011). Melalui aplikasi fertigasi memungkinkan pengontrolan penggunaan dosis hara yang lebih rendah, sehingga efek negatif terhadap mikroba tanah seperti pada kasus tebu dan jagung dapat dihindari.

Fleksibilitas Operasional Di Lapangan

Tujuan utama aplikasi fertigasi adalah untuk dapat lebih meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan hara dan air pada budidaya lada, dan selanjutnya diharapkan dapat memberikan perbaikan mutu hasil lada dan daya saingnya. Operasional fertigasi pada perkebunan lada pada prinsipnya dapat dilakukan baik secara terus menerus di musim kering maupun musim penghujan atau secara intermiten hanya dilakukan pada musim kering saja. Namun untuk menentukan mana yang paling efisien dan ekonomis masih diperlukan dukungan data pengujian di lapangan. Untuk menekan biaya operasional, pengelolaan hara selama musim penghujan dapat dilakukan dengan pemupukan secara konvensional. Sebab pada periode musim hujan, kondisi lengas tanah relatif mendukung jaringan akar lada untuk langsung menyerap hara tanah. Sebaliknya pada musim kering, penggunaan fertigasi akan lebih menguntungkan bagi pertumbuhan dan peningkatan hasil lada.

Penerapan teknologi fertigasi lada pada skala lapangan relatif lebih kompleks dan perlu mempertimbangkan berbagai aspek yang berpengaruh pada efektivitas dibandingkan aplikasi pada skala terbatas seperti di rumah kaca. Faktor efektivitas operasional unit fertigasi selain ditentukan oleh kemampuan pengaturan komposisi dan dosis larutan hara juga tergantung pada keseragaman pembagian larutan hara diantara tanaman lada. Semakin luas pertanaman lada yang ditangani, maka akan semakin meningkat resiko distorsi keseragaman distribusi larutan hara ke setiap tanaman. Hal ini, selain dipicu oleh faktor perbedaan tekanan larutan hara dalam pipa jaringan, juga bisa dapat disebabkan oleh adanya penyumbatan di bagian nozelnya. Resiko distorsi keseragaman distribusi larutan hara tersebut akan semakin membesar pada lahan pertanaman lada yang berlereng. Pada lahan datar, tingkat keseragaman distribusi larutan hara ke tanaman lada relatif lebih mudah diatur, karena efek distorsi yang ditimbulkan oleh gaya gravitasi bumi relatif kecil.

Tipologi Budidaya Lada

Sebagai alat bantu untuk mengelola hara dan air pada tanaman lada, tingkat presisi

operasional unit fertigasi sangat tergantung pada akurasi program kendalinya. Ketepatan penetapan batasan nilai kecukupan setiap jenis hara untuk setiap fase perkembangan fisiologis merupakan kunci utama penentu kinerja unit fertigasi lada. Semakin pendek sekuensi periode waktu yang dapat dideskripsikan, maka akan semakin tinggi tingkat akurasi operasionalnya. Mengacu pada hasil penelitian pemupukan lada yang ada, pada umumnya belum mengarah pada penyediaan deskripsi data dan informasi yang diharapkan. Oleh karena itu arah penelitian hara pada tanaman lada ke depan haruslah diarahkan ke hal tersebut.

Selain faktor sekuensi periode waktu yang masih terlalu longgar pada data dan informasi yang tersedia, deskripsi kebutuhan hara tanaman lada dan *syarat minimal status hara tanahnya* juga masih terlalu umum dan belum membedakan tingkat kebutuhan hara untuk orientasi budidaya lada produksi dan untuk budidaya lada sebagai sumber benih atau setek. Memperhatikan perbedaan pola pembentukan biomasa bagian tajuk tanaman lada diantara kedua jenis orientasi budidaya lada tersebut, diduga menimbulkan variasi kebutuhan haranya. Pada kebun benih lada, secara periodik setiap 3-4 bulan sekali dilakukan panen setek, yang berarti merubah kebutuhan hara tanaman lada setelahnya. Demikian juga pada jenis kebun lada produksi, kehilangan biomassa terjadi pada pasca proses pemanenan. Namun total biomassa yang terangkut dalam periode *satu tahun* akan lebih besar pada kebun benih lada dibandingkan pada kebun lada produksi. Meskipun belum ada informasi valid tentang level kritis ketersediaan hara untuk kedua tipologi budidaya lada tersebut, namun merujuk adanya perbedaan dari intensitas dan jumlah biomassa terpanen dari kedua tipologi budidaya diduga kuat ada variasi *dalam* kebutuhan haranya. Tentunya untuk dapat memverifikasi ada dan tidaknya variasi kebutuhan hara pada kedua tipologi budidaya lada tersebut perlu dilakukan pengujian dan penelitian secara seksama *berdasarkan jenis tanahnya*. Bila level kritis ketersediaan hara dapat diketahui, maka aplikasi fertigasi akan lebih akurat baik untuk budidaya kebun benih maupun kebun produksi.



Gambar 3. Prototipe fertigasi terpadu dengan fungsi proteksi pada budidaya perbenihan jahe di KP Cibinong, Balitetro. Foto: Melati *et al* (2018)

Aspek lain yang memungkinkan sebagai penyebab adanya variasi kebutuhan hara adalah faktor varietas tanaman lada. Memperhatikan variasi morfologis dari koleksi varietas lada yang ada di Balitetro, sangat dimungkinkan level kritis kebutuhan hara diantara varietas menjadi berbeda. Meskipun secara fisiologis diduga ada variasinya, namun level kritis kebutuhan hara antar varietas lada belum didukung dengan hasil kajian yang komprehensif. Sejalan dengan upaya peningkatan efisiensi budidaya lada di lapangan, tentu akan lebih akurat bila mempertimbangkan faktor kebutuhan hara sesuai dengan jenis varietas yang digunakannya. Untuk itu penelitian ke arah sana harus lebih diperhatikan ke depannya.

Sinkronisasi dengan Pengendalian OPT

Aplikasi fertigasi pada budidaya lada akan semakin menarik dan lebih strategis bila tidak hanya sekedar ditujukan untuk pengelolaan hara dan air saja, tetapi sekaligus sebagai sarana untuk pengendalian serangan OPT. Konsep sinkronisasi antara aplikasi fertigasi untuk pengelolaan hara dan air, dengan tindak pengendalian penyakit layu bakteri tengah diuji pada proses produksi benih sehat untuk jahe putih besar yang menggunakan kombinasi bakteri endopit (Melati *et al.* 2017; Melati *et al.* 2018) (Gambar 3).

Beberapa penyakit penting tanaman lada yang perlu diwaspadai antara lain adalah penyakit busuk pangkal batang yang disebabkan oleh jamur *Phytophthora capsici* dan penyakit kuning oleh nematoda. Sementara dari kelompok hama yang serangannya berimplikasi pada penurunan hasil lada antara lain adalah hama penggerek batang *Lopobaris* sp dan penggerek buah *Dasyphus piperis* China (Hemiptera: Coreide). Hasil studi lapangan menunjukkan bahwa serangan penyakit busuk pangkal batang dapat beresiko memicu kehilangan hasil lada hingga 26 % (Hasibuan *et al.* 2011). Demikian juga adanya serangan penggerek batang di lapangan dapat menyebabkan kerugian hilang hasil hingga 40% (Soetopo, 2012). Kondisi ini akan diperparah lagi dengan keharusan melakukan eradikasi tanaman yang terserang penyakit busuk pangkal batang dan menggantinya dengan tanaman lada baru. Tentu tindakan tersebut akan menambah pembiayaan yang harus ditanggung oleh petani. Diharapkan keberhasilan sinkronisasi tindak pengendalian OPT dengan aplikasi fertigasi tersebut akan memberikan dampak langsung pada keberlanjutan budidaya lada.

KESIMPULAN

Fertigasi merupakan pendekatan penyediaan hara agar senantiasa dapat

memenuhi kebutuhan tanaman sepanjang perkembangan fisiologinya. Sekalipun fertigasi memiliki potensi manfaat yang sangat besar untuk mendukung manajemen hara yang efisien, namun praktiknya pada perladaan nasional masih sangat minim. Seiring dengan tuntutan peningkatan efisiensi budidaya *on-farm* agar lada nasional tetap kompetitif ke depan, maka penghematan penggunaan sumberdaya pupuk yang semakin mahal mengharuskan untuk diperbaiki, termasuk kemungkinan implementasi teknologi fertigasi. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam penyusunan strategi pemanfaatan fertigasi pada budidaya lada antara lain mempertimbangkan jenis tipologi budidayanya, pemilihan jenis fertigasi yang tepat sesuai luasan pertanaman lada yang harus ditangani, topografi kebun, karakteristik fisika dan kimia tanah, serta iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardana, I.K., Syakir, M. dan Karmawati, E. (2017) Potensi dampak ekonomi penerapan teknologi pemupukan dan polikultur lada di Kabupaten Purbalingga, Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Littri*. 23 (2):112–122.
- Asnawi, R., Ratna, D.A.N. dan Arief, W. (2017) Pengaruh pengelolaan faktor internal usahatani terhadap produktivitas lada di Provinsi Lampung. *Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian Indonesia*. 23 (December 2014), 1–10.
- Bande, L.O.S., Hadisutrisno, B., Somowiyarjo, S., Sunarminto, B.H. dan Wahab, A. (2016) Korelasi sifat fisik dan kimia tanah dengan intensitas penyakit busuk pangkal batang tanaman lada. *Jurnal Littri*. 22 (2), 63–70.
- Bharathi, M.J., Balachandar, D., Narayanan, R. and Kumar, K. (2011) Impact of fertigation on soil microbial community and enzyme activities cropped with maize (cultivar. COMH 1) under precision farming system. *Madras Agric. J.* 98 (1-3): 84–88.
- Burt, C.M. and Asce, M. (1998) Selection of irrigation methods for agriculture : drip / micro irrigation.In: Proceedings of the Water Resources Div., ASCE, Annual Conference. Memphis, Tenn. [Online] (August 1998), pp.1–6. Available from: doi:doi:10.1061/9780784404621.
- Daras, U. dan 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.
- Elhindi, K., El-hendawy, S., Abdel-salam, E. and Elgorban, A. (2015) Impacts of fertigation via surface and subsurface drip irrigation on growth rate , yield and flower quality of Zinnia elegans. *Bragantia*, Campinas. [Online] 20(10): 1–12. Available from: doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.176>.
- Hanson, B.R., May, D.E., Simunek, J., Hopmans, J.W. and Hutmacher, R.B. (2009) Drip irrigation provides the salinity control needed for profitable irrigation of tomatoes in the San Joaquin Valley. *California Agriculture*. [Online] 63 (3), 131–136. Available from: doi:10.3733/ca.v063n03p131.
- Hanson, B.R., Simunek, J. and Hopmans, J.W. (2006) Evaluation of urea – ammonium – nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. [Online] 86, 102–113. Available from: doi:10.1016/j.agwat.2006.06.013.
- Hasibuan, A.M., Listyati, D. dan Wahyudi, A. (2011) Analisis risiko kehilangan hasil dari lada hibrida tahan busuk pangkal batang. *Buletin RISTRI*. [Online] 2 (3), 337–346. Available from: doi:<http://ejurnal.litbang.pertanian.go.id/i>

- ndex.php/bultri/article/view/6285/5521.
- Hermantoro, Setiawan, B.I., Hardjoamidjojo, S. dan Bintoro, M.H. (2003). Efektivitas sistem fertigasi kendi pada tanaman lada perdu (*Piper nigrum* Linn). *Buletin Keteknikan Pertanian*. 17 (1): 1–7.
- Kafkafi, U. & Tarchitzky, J. (2011). Fertigation: A tool for Efficient Fertilizer and Water Management. International Fertilizer Industry Association (IFA) International Potash Institute (IPI) Paris, France.
- Kandiannan, K., Parthasarathy, U., Krishnamurthy, K.S., Thankamani, C.K., Srinivasan, V. and Aipe, K.C. (2011). Modeling the association of weather and black pepper yield. *Indian J. Hort.* 68 (1): 96–102.
- Krishnamoorthy, C., Soorianathasundaram, K. & Mekala, S. (2015) Effect of fertigation on fue, quality and economics of cultivation in tumeric (*Curcuma longa* L.) CV . BSR 2. 5 (1): 67–72.
- Krishnamurthy, K.S., Parthasarathy, V.A., Saji, K. V & Krishnamoorthy, B. (2010) Ideotype concept in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops.* 19: 1–13.
- Magare, P.N., Katkar, R.N. & Jadhao, S.D. (2018) Effect of fertigation on yield , quality and soil fertility status under cotton grown in Vertisol. *International Journal of Chemical Studies.* 6 (2): 42–46.
- Mawarnita, C. (2013). Analisis kelayakan usaha lada (*Piper nigrum* L.) di Desa Kundu Kecamatan Simpang Teritip Kabupaten Bangka Barat. Institut Pertanian Bogor.
- Melati, Susila, A.D., Pitono, J., Rusmin, D. dan Rahayu, S. (2017). Teknologi Fertigapro untuk produksi benih sehat bermutu pada jahe putih besar'KP4S Badan Litbang Pertanian Jakarta.
- Melati, Susila, A.D., Pitono, J., Rusmin, D. dan Rahayu, S. (2018). Teknologi FERTIGAPRO untuk produksi benih sehat bermutu pada jahe putih besar 'KP4S Badan Litbang Pertanian Jakarta.
- Naswir, Hardjoamidjojo, S., Pandjaitan, N.H. dan Pawitan, H. (2009). Efektivitas Sistem Fertigasi Mikro untuk Lahan Sempit (Naswir *et al.*). *Forum Pascasarjana.* 32 (1), 45–54.
- Neilsen, G.H., Neilsen, D., Kappel, F., Toivonen, P. and Herbert, L. (2010) Factors affecting establishment of one-seed juniper. *HortScience.* 45 (6), 939–945.
- Nirgude, V., Misra, K.K., Singh, P.N., Singh, A.K. and Singh, N. (2018) NPK fertigation of stone fruit crops : A review. *International journal of Chemical Studies.* [Online] 6 (2), 3134–3142. Available from: <http://www.chemijournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAR/6-2-259-922.pdf>.
- Patil, B., Hiremath, S.M., Nadagouda, B.T. and Potdar, M.P. (2017). Impact of fertigation and target yield levels on soil microbial biomass and cane yield of ratoon sugarcane. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 6 (4): 1718–1722.
- Pitono, J., Melati, Maslahah, N. dan 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.
- Salgado, E., Livellara, N. and Pinilla, J. (2012) Programmed fertigation effects on the growth and production of young cherry trees in central Chile. *Journal of soil science and plant nutrition.* [Online] 12 (1), 15–22. Available from: doi:10.4067/S0718-95162012000100002.
- Sandal, S.K., Kapoor, R., Kendra, K.V., Himachal, C.S.K. and Krishi, P. (2015) Fertigation technology for enhancing nutrient use and crop productivity: An overview. *Himachal Journal of Agricultural Research.* 41 (2): 114–121.
- Sari, R., Gunawati, E.S. dan Gunawan, R.S. (2013) Usaha tani lada putih di Desa Kedarpun Kecamatan Kejobong Kabupaten Purbalingga. *Eko-Regional.* 10 (2): 112–120.
- Sinha, I., Buttar, G.S. and Brar, A.S. (2017) Drip irrigation and fertigation improve economics, water and energy productivity of spring sunflower (*Helianthus annuus* L.) in Indian Punjab.

- Agricultural Water Management. [Online] 185, Elsevier B.V., 58–64. Available from: doi:10.1016/j.agwat.2017.02.008.
- Sivaraman, K., Kandiannan, K., Peter, K. V and 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 Mmnghadapi isu pembatasan residu pestisida. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 5 (1): 32–43.
- de Souza, R.S., Rezende, R., Hachmann, T.L., Lozano, C.S., Felipe, A., Alves, B., Sérgio, P. & Freitas, L. De (2017) Lettuce production in a greenhouse under fertigation with nitrogen and potassium silicate. [Online] 211–216. Available from: doi:10.4025/actasciagron.v39i2.32897.
- Srinivasan, V., Dinesh, R., Krishnamurthy, K.S. and Hamza, S. (2007). Nutrition and Physiology. In: Singh, H.P., Parthasarathy, V.A. and Srinivasan, V. (eds.) *Piperaceae Crops — Production and Utilization*. First. (March), Westvilee Publishing House, pp.101–121.
- Suhaimi, M.Y., Mohamad, A.M. and Hani, M.N.F. (2014) Potential and Viability Analysis for Ginger Cultivation using Fertigation Technology in Malaysia. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 9 (1): 9324.
- Sumantri, B., Priyono, B.S. dan Isronita, M. (2004). Analisis kelayakan finansial usahatani lada (*Piper nigrum* L.) di Desa Kunduran Kecamatan Ulu Musi Kabupaten Lahat Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmu Ilmu Pertanian Indonesia*. 6 (1): 32–42.
- 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).
- Susila, A.D. & Poerwanto, R. (2013) *Irigasi Dan Fertigasi*. Bogor, Departemen Agronomi dan Hortikultura Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Tjahjana, B.E., Daras, U. dan Heryana, N. (2012) Formula pupuk berimbang tanaman lada di Lampung. *Buletin RISTRI*. 3 (3): 239–244.
- Wahid, P., Syakir, M., Hermanto, Surmaini, E. dan Pitono, J. (2005) Pencian 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.
- Yap, C.A. (2012). Impact of different fertilization methods on the soil, yield and growth performance of black pepper (*Piper Nigrum* L.). *Malaysian Journal of Soil Science*. 16 (1): 71–87.
- Yuan, H., Cheng, M. and Pang, S. (2014) Construction and performance experiment of integrated water and fertilization irrigation recycling system. *Trnasaction of the Chinese Society of Agricultural Engeneering*. 30 (12): 72–78.
- Zhang, T.Q., Canada, A., Tan, C.S., Canada, A., Liu, K., Canada, A., Drury, C.F. and Canada, A. (2010). Yield and economic assessments of fertilizer nitrogen and phosphorus for processing tomato with drip fertigation. [Online] (March). Available from: doi:10.2134/agronj2009.0346.