

**MITIGASI KEKERINGAN PADA PERKEBUNAN KARET
(*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) MELALUI PENDEKATAN *PHYTOBIOME***

*Drought Mitigation of Rubber (Hevea brasiliensis Müll. Arg.)
Plantation through Phytobiome Approach*

Andi Nur Cahyo¹, Rudi Hari Murti², dan Eka T. S. Putra²

¹Pusat Penelitian Karet, Jl. Palembang-Pangkalan Balai km.29
Po Box 1127, Palembang 30001

²Fakultas Pertanian UGM, Jl. Flora, Bulaksumur, Depok, Sleman, Yogyakarta
Email : nurcahyo.andi@yahoo.co.uk

Diterima 24 Februari 2020 / Direvisi 27 April 2020 / Disetujui 19 Mei 2020

Abstrak

El-Nino menimbulkan dampak musim kemarau yang berkepanjangan di wilayah Asia Tenggara termasuk Indonesia. Kekeringan yang terjadi pada saat musim kemarau dapat menurunkan produksi karet hingga 50%. Mitigasi untuk meminimalisir dampak kekeringan tersebut dapat dilakukan dengan pendekatan *phytobiome*. Pendekatan *phytobiome* diharapkan dapat meningkatkan ketahanan tanaman karet terhadap kekeringan baik dengan mekanisme *drought tolerance* maupun *drought avoidance*. Selain itu, dengan lingkungan biotik dan abiotik yang mendukung, lengas tanah juga semakin tersedia untuk tanaman. Upaya mitigasi dengan pendekatan *phytobiome* dilakukan secara komprehensif baik terhadap tanaman, lingkungan hidup tanaman, maupun organisme yang hidup di sekitar tanaman tersebut. Mitigasi dampak kekeringan terhadap tanaman karet dengan pendekatan *phytobiome* dapat dilakukan dengan perakitan dan adopsi klon-klon unggul toleran kekeringan, penggunaan *root trainer* untuk memperbaiki arsitektur akar, aplikasi senyawa osmoregulator, aplikasi asam humat, irigasi, penggunaan LCC sebagai mulsa, pembuatan rorak, dan inokulasi jamur mikoriza atau DSE. Penelitian tentang upaya mitigasi tersebut pada tanaman karet masih tergolong minim, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut agar pertumbuhan dan produksi karet tetap stabil selama terjadi kekeringan.

Kata kunci : *Hevea brasiliensis*, kekeringan, mitigasi, *phytobiome*

Abstract

El-Nino causes prolonged dry season in South East Asia including Indonesia. This situation has led to the drop of rubber yield up to 50% by the normal yield. To cope the drought effect on rubber growth and yield, the mitigation using phytobiome approach is required to conduct. By phytobiome approach, rubber tree is expected to survive from drought through drought tolerance or drought avoidance adaptation mechanism. Furthermore, by biotic and abiotic approach, soil moisture will be more available for the plant. In the phytobiome approach, the entire aspects including plant, environment, as well as the surrounding organism should be involved in the assessment. Phytobiome approach in rubber plantation is probably applied by breeding and adoption of drought tolerance rubber clones, production of rubber planting material using root trainer, osmoregulator application, utilization of humic acid, irrigation, mulching using LCC, application of silt pit, and inoculation of mycorrhiza and DSE fungi. The comprehensive study about these mitigation approach is still limited, therefore further researches are needed to maintain the growth and yield of rubber tree during drought condition.

Keywords: *Hevea brasiliensis*, mitigation, *phytobiome*

Pendahuluan

Tanaman karet sangat rentan terhadap kekeringan. Kekeringan yang terjadi pada saat musim kemarau dapat menurunkan hasil hingga 50% dibandingkan dengan hasil karet pada bulan-bulan basah (Wijaya *et al.*, 2011). Pada saat terjadi kekeringan, tanaman melakukan adaptasi dengan menurunkan bukaan stomata. Hal ini berakibat pada penurunan jumlah CO₂ yang masuk ke dalam kloroplast. Penurunan konsentrasi CO₂ dalam kloroplast yang merupakan substrat dalam reaksi gelap ini menyebabkan reaksi gelap terhambat, namun reaksi terang tetap berjalan dengan normal karena cahaya matahari tetap tersedia. Hal ini berakibat kelebihan energi yang dihasilkan dari reaksi terang menyebabkan molekul O₂ tereksitasi dan berubah menjadi ROS (*reactive oxygen spesies*), misalnya O₂⁻, H₂O₂, dan OH⁻. Akumulasi ROS dapat merusak jaringan dan menyebabkan stres oksidatif (Hamim *et al.*, 2017). ROS dibentuk dalam rantai transport elektron mitokondria dan kloroplas (Kholová *et al.*, 2011). Konsentrasi ROS yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kebocoran membran sel jaringan fotosintesis. Hal ini menyebabkan produksi sukrosa yang merupakan hasil dari proses fotosintesis menurun. Sukrosa adalah sumber karbon dalam biosintesis lateks (*cis*-1,4-polyisoprene) yang dibentuk dalam sel laticifer pada bagian kulit tanaman karet (Putranto *et al.*, 2015). Oleh karena itu, penurunan laju fotosintesis menyebabkan penurunan produksi lateks tanaman karet.

Penurunan produksi karet biasanya terjadi pada saat musim kemarau dimana ketersediaan air terbatas. Hal ini diperparah dengan adanya musim kemarau yang berkepanjangan akibat adanya fenomena El-Nino yang dalam periode tertentu melanda wilayah-wilayah di Asia Tenggara termasuk Indonesia (Saputra *et al.*, 2016). Pada tahun 2019, secara umum diperkirakan bahwa terjadi El-Nino lemah di awal tahun namun berubah menjadi normal di akhir tahun, sehingga tidak terjadi musim kemarau yang panjang. Pada tahun-tahun yang akan datang, perubahan

iklim tetap harus diwaspadai karena diprediksi terjadi peningkatan suhu mencapai 1,5°C antara 2030 dan 2052, serta terjadi kekeringan dan defisit curah hujan di beberapa daerah (IPCC, 2018). Tulisan ini bertujuan untuk mengulas upaya mitigasi yang dapat dilaksanakan untuk meminimalisir dampak buruk kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman karet melalui pendekatan *phytobiome*.

Pendekatan *Phytobiome* dalam Mitigasi Kekeringan

Upaya mitigasi kekeringan tidak cukup hanya dengan pendekatan parsial seperti perlakuan terhadap tanamannya saja, namun akan lebih efektif apabila dilakukan pendekatan dari segala aspek. *Phytobiome* merupakan pendekatan secara komprehensif meliputi tanaman itu sendiri, lingkungan tumbuh tanaman, maupun makhluk hidup baik makroorganisme maupun mikroorganisme yang ada di sekitar tanaman tersebut (Leach *et al.*, 2017).

Dalam konsep *phytobiome*, selain pendekatan terhadap tanaman, untuk melakukan mitigasi terhadap dampak kekeringan juga perlu dilakukan upaya konservasi air di daerah perakaran tempat tanaman tersebut tumbuh. Upaya mitigasi tersebut misalnya dapat dilakukan dengan cara irigasi, penggunaan mulsa, penanaman penutup tanah (*cover crop*), dan penggunaan rorak. Dengan beberapa tindakan tersebut, diharapkan kebutuhan air tanaman dapat tercukupi dengan baik. Secara umum ketersediaan air sebanyak 5 mm/hari telah mencukupi kebutuhan air tanaman karet menghasilkan dengan umur lebih dari 5 tahun (Cahyo *et al.*, 2011).

Upaya mitigasi kekeringan melalui pendekatan terhadap tanaman karet dapat dilakukan agar tanaman menyerap air yang cukup dan sedikit mungkin kehilangan air, antara lain melalui modifikasi dan pengaturan perakaran dan stomata baik secara fisik, fisiologis, maupun genetis. Secara genetis, upaya mitigasi kekeringan dapat dilakukan

dengan perakitan klon-klon unggul tahan kering (Karyudi, 2001). Klon-klon yang tahan kering akan lebih toleran terhadap kekeringan apabila secara fisik pertumbuhan akarnya diatur dan dirancang agar tumbuh lebih dalam dan menjangkau daerah yang lebih luas. Manajemen pertumbuhan akar ini dapat dilakukan dengan menggunakan kontainer (pot) khusus untuk menumbuhkan bibit karet yang disebut *root trainer* (Ardika & Herlinawati, 2014; Cahyo *et al.*, 2016). Pertumbuhan akar agar lebih cepat dapat dipacu dengan aplikasi asam humat (Cahyo *et al.*, 2014). Selain manajemen pertumbuhan akar, upaya mitigasi kekeringan pada tanaman karet juga dapat dilakukan dengan pengaturan bukaan stomata agar laju transpirasi tidak terlalu tinggi yang mengakibatkan efisiensi penggunaan air menjadi rendah. Pengaturan bukaan stomata ini dapat dilakukan dengan senyawa-senyawa yang berpengaruh terhadap *osmoregulasi* daun tanaman karet (*osmoregulator*) (Karyudi, 2001).

Selain pendekatan terhadap tanaman dan lingkungan, upaya mitigasi kekeringan pada perkebunan karet akan lebih efektif apabila dilakukan pendekatan terhadap makhluk hidup terutama mikroorganisme di sekitar tempat tumbuh tanaman karet tersebut. Hal ini disebabkan beberapa mikroorganisme dapat membantu tanaman untuk bertahan pada saat musim kemarau yang berkepanjangan, misalnya jamur mikoriza (Herrmann *et al.*, 2016; Symanczik *et al.*, 2015; Ulfa *et al.*, 2015) dan DSE (*dark septate endophyte*) (Mandyam & Jumpponen, 2005; Porras-Alfaro *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2017).

Penggunaan Klon-klon Toleran Kekeringan

Pemilihan klon karet sangat berpengaruh terhadap fluktuasi produksi pada musim kemarau atau saat terjadi anomali iklim. Beberapa klon dilaporkan memiliki karakteristik yang berbeda dalam merespon kekeringan. Mekanisme adaptasi tanaman dalam merespon kekeringan dapat dibedakan menjadi *drought escape*, *drought tolerance*, *drought*

avoidance, dan *drought recovery*. *Drought escape* adalah mekanisme adaptasi tanaman terhadap kekeringan dengan cara penyesuaian *timing* fenologi tanaman yang berhubungan dengan ketersediaan air tanah, oleh karena itu tanaman tidak terpengaruh oleh kejadian kekeringan karena siklus hidupnya telah berakhir ketika terjadi kekeringan. *Drought avoidance* adalah mekanisme adaptasi terhadap kekeringan dengan cara pemeliharaan status air tanaman. Status air tanaman yang terjaga pada level yang tinggi dihasilkan dari kemampuan tanaman menyerap maupun menahan air untuk tetap berada di dalam tubuh tanaman. Sebagai contoh, peningkatan kemampuan tanaman dalam menyerap air pada saat terjadi kekeringan didapatkan dari adanya sistem perakaran yang dapat masuk ke dalam tanah hingga mencapai daerah yang dalam yang kadar air tanah berada di antara kapasitas lapang dan titik layu permanen. Selain itu, air yang sudah diserap dalam tubuh tanaman juga dapat ditahan untuk tetap berada dalam tubuh tanaman dengan cara pengaturan bukaan stomata untuk mengurangi laju transpirasi. *Drought tolerance* adalah kemampuan tanaman untuk memelihara fungsi organ tanaman dalam keadaan status air tanaman yang rendah. Contoh dari mekanisme *drought tolerance* adalah pengaturan tekanan osmotik sel untuk memelihara turgor tanaman maupun produksi antioksidan untuk meminimalisir efek negatif dari kekeringan. *Drought recovery* adalah kemampuan tanaman untuk pulih dari kondisi tercekam ketika terjadi kekeringan (Fang & Xiong, 2015; Lawlor, 2013; Luo, 2010)..

Mekanisme adaptasi terhadap cekaman kekeringan yang berupa pengaturan tekanan osmotik merupakan sifat yang dapat diturunkan sehingga sifat tersebut dapat dipakai dalam program pemuliaan tanaman untuk merakit klon karet yang toleran terhadap kekeringan (Turner, 1986). Beberapa klon karet ditemukan dapat melakukan mekanisme adaptasi terhadap kekeringan dengan cara mengurangi laju transpirasi melalui

mekanisme peningkatan tahanan stomata. Mekanisme adaptasi yang tergolong ke dalam *drought avoidance* ini ditemukan pada klon RRII 105 (Devakumar *et al.*, 1988). Selain itu, klon RRII 414, RRII 105, dan RRII 208 berturut-turut dilaporkan memiliki toleransi yang rendah, sedang, dan tinggi terhadap kekeringan (Luke *et al.*, 2015). Selain mekanisme *drought avoidance*, pada tanaman karet juga ditemukan mekanisme *drought tolerance* yang terjadi pada klon GT1. Membran sel pada klon karet GT1 dilaporkan lebih tahan terhadap kekeringan dibandingkan dengan klon RRIM 600 (Bahari & Samsuddin, 1984). Selain itu, Wijaya & Lasminingsih (1994) juga menyatakan bahwa klon GT1 juga menunjukkan ketahanan terhadap cekaman kekeringan melalui mekanisme penghambatan proses transpirasi melalui peningkatan resistensi stomata dan penyesuaian potensial osmotik daun. Sebaliknya, klon PB260 dilaporkan lebih sensitif terhadap cekaman kekeringan (Inonu *et al.*, 2011).

Pemilihan komposisi klon di perkebunan karet sangat menentukan produksi karet pada waktu musim kemarau. Perbedaan fluktuasi produksi antara klon yang satu dengan lainnya disebabkan karena perbedaan waktu gugur daun karet. Titik terendah produksi lateks oleh tanaman karet terjadi pada saat fase mulai terbentuknya daun baru pada pergantian antara musim kemarau dan musim penghujan yang biasanya terjadi pada bulan September (Cahyo *et al.*, 2011). Ardika *et al.* (2011) menyebutkan bahwa klon GT1 adalah yang paling akhir menggugurkan daunnya dibandingkan klon PB260, BPM24, dan RRIC100, sehingga produksi lateksnya pada saat musim kemarau adalah yang paling stabil dibandingkan dengan klon lainnya. Gugur daun adalah mekanisme *avoidance* dalam menghadapi cekaman kekeringan. Dampak negatif dari peristiwa gugur daun sebagai mekanisme adaptasi terhadap cekaman kekeringan ini adalah turunnya produksi tanaman yang dapat mencapai 50% dari produksi tanaman pada saat musim hujan (Wijaya *et al.*, 2011).

Penggunaan *Root Trainer* dalam Pembibitan Karet

Root trainer adalah pot beralur vertikal yang dapat digunakan untuk membentuk akar agar tidak menggulung, lebat, serta mengarah ke bawah. Pada mulanya, untuk mengatasi masalah terbentuknya akar yang melingkar di dasar polibag, digunakan kontainer plastik yang digantung dan berlubang di sebelah bawah agar pertumbuhan akar terhenti dan tidak menggulung di dasar polibag. Hal ini dimungkinkan karena terjadi mekanisme *air pruning* pada akar yang bertemu udara di dasar kontainer. Pada perkembangannya, lubang di dasar kontainer ini dapat mencegah penggulangan akar di bagian dasar kontainer, namun pada bagian tengah kontainer masih terbentuk akar yang spiral. Untuk mengatasi masalah tersebut, pada dinding sebelah dalam kontainer ditambahkan alur setebal 1 – 2 mm agar akar yang tumbuh terarah ke bawah dan tidak membentuk spiral (Mullan & White, 2001).

Root trainer untuk tanaman karet didesain khusus dengan bentuk silindris yang mengecil di bagian bawah. Diameter bagian atas silinder tersebut sekitar 6 – 7,5 cm dan diameter bagian bawahnya 1,5 – 2 cm dengan panjang (tinggi) silinder sekitar 30 cm. Dengan dimensi tersebut, *root trainer* yang berbentuk silindris tersebut mempunyai volume sekitar 800 cc. Selain itu, *root trainer* juga dilengkapi dengan sekat yang menonjol vertikal dengan ketebalan sekitar 2 mm di sebelah dalam *root trainer*. Sekat ini dimaksudkan agar arah pertumbuhan akar menjadi lurus ke arah bawah dan tidak menggulung di dinding pot *root trainer*. Dengan arah pertumbuhan akar yang lurus ke arah bawah, diharapkan akar dapat menembus lapisan tanah yang lebih dalam dari pada yang dapat ditembus oleh bibit karet yang dikembangkan dalam polibeg. Dengan jangkauan akar tanaman yang lebih dalam tersebut, diharapkan tanaman karet yang dikembangkan dengan penataan akar menggunakan *root trainer* ini lebih tahan terhadap kondisi kering ketika musim kemarau terjadi dan tidak mudah tumbang.

Media tanam dalam *root trainer* yang sesuai diperlukan agar didapatkan pertumbuhan akar yang optimal. Sifat fisik media tanam berpengaruh terhadap arsitektur akar, misalnya diameter akar, perkembangan rambut akar, dan pola percabangan akar lateral (Al-Zalzelah, 2013; Lucas, 1987). Akar cenderung memanjang apabila tumbuh pada tanah berpasir. Sebaliknya akar cenderung pendek dan membentuk percabangan yang banyak apabila tumbuh pada media bertekstur liat (Al-Zalzelah, 2013; Muthana *et al.*, 1984; Perry, 1982). Dengan memperhatikan pengaruh tekstur media tanam terhadap arsitektur perakaran tersebut tersebut, sebaiknya media tanam untuk menumbuhkan tanaman karet dalam *root trainer* mempunyai kapasitas pegang air, drainase, aerasi, dan kandungan bahan organik yang tinggi, tidak terlalu masam, bebas dari spora jamur, biji gulma, dan serangga (Ingram *et al.*, 1993). Salah satu media tanam yang cocok dengan spesifikasi tersebut adalah *cocopeat*.

Cocopeat sebenarnya adalah limbah dari industri pengolahan kelapa (Arenas *et al.*, 2002). *Cocopeat* merupakan bagian dari sabut kelapa yang berupa serbuk yang telah dipisahkan dari serat sabut kelapa. Serat sabut kelapa kebanyakan digunakan sebagai bahan jok mobil maupun tali, sedangkan serbuk sabut kelapa yang dinamakan *cocopeat* saat ini banyak dimanfaatkan sebagai media tanam tanpa tanah (Evans & Stamps, 1996). *Cocopeat* merupakan media tanam yang ideal bagi

tanaman karena sifat fisiknya yang menguntungkan, yaitu memiliki total pori yang tinggi, tingkat penyusutan yang rendah, dan bobot volume yang rendah (Treder, 2008). Nazari *et al.* (2011) menyebutkan bahwa *cocopeat* mempunyai jumlah pori total, bobot isi, dan kapasitas pegang air sekitar 87%; 0,13g/cm³, dan 715% b/b berturut-turut. Rendahnya berat volume *cocopeat* ini juga memberikan kemudahan bagi transport dan pendistribusian di lapangan.

Tabel 1 menunjukkan bahwa pada perlakuan campuran antara *cocopeat* dan tanah, didapatkan bahwa penggunaan *cocopeat* 100% dapat meningkatkan bobot segar dan volume akar sebesar lebih dari 100% dari pada akar dengan media tanam 100% tanah (Cahyo *et al.*, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa media tanam *cocopeat* cocok digunakan sebagai media tanam pada *root trainer* yang memang bertujuan memperbaiki dan mengarahkan pertumbuhan akar.

Menurut Ardika & Herlinawati (2014); Soman & Saraswathyamma (2005), bibit tanaman asal *root trainer* yang ditanam di lapangan, tingkat kesintasannya lebih tinggi daripada bibit yang dikembangkan dalam polibeg (Tabel 2). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman karet yang berasal dari bibit dalam *root trainer* lebih toleran terhadap kekeringan yang terjadi pada saat musim kemarau dari pada tanaman karet yang berasal dari bibit dalam polibeg.

Tabel 1. Pengaruh rasio campuran tanah dan *cocopeat* terhadap bobot segar dan volume akar

Media Tanam	Berat segar akar (g)	Volume akar (cc)
Tanah 100%	14,33	13,33
<i>Cocopeat</i> 20%; tanah 80%	20,00	20,83
<i>Cocopeat</i> 40%; tanah 60%	18,00	16,67
<i>Cocopeat</i> 60%; tanah 40%	29,33	26,83
<i>Cocopeat</i> 80%; tanah 20%	26,00	26,67
<i>Cocopeat</i> 100%	36,66	33,67

Tabel 2. Perbandingan pertumbuhan bibit karet asal *root trainer* dan polibeg

Parameter	<i>Root Trainer</i>	Polibeg
Rasio tinggi dan diameter batang	67,02	74,47
Jumlah akar lateral	18,09±2,09	5,61±1,46
Bibit mati di lapangan (%)	-	4,66

Sumber: Ardika & Herlinawati (2014); Soman & Saraswathyamma (2005)

Sumber : Ardika & Herlinawati (2014); Soman & Saraswathyamma (2005)

Aplikasi Asam Humat

Akar merupakan salah satu organ tanaman yang mempengaruhi kemampuan tanaman dalam beradaptasi pada kondisi kekeringan. Dengan perakaran yang dalam, tanaman dapat menjangkau lengas tanah yang berada pada lapisan tanah yang dalam. Oleh karena itu dengan pertumbuhan akar tanaman karet yang optimal, diharapkan tanaman karet menjadi lebih tahan terhadap kekeringan. Pertumbuhan akar tanaman karet dapat dipacu dengan aplikasi asam humat (Cahyo *et al.*, 2014).

Pengaruh asam humat terhadap tanaman telah banyak dilaporkan. Chen *et al.* (2002) melaporkan bahwa terjadi peningkatan pertumbuhan tanaman karena aplikasi asam dan Nardi *et al.* (2002) humat sebagai pembenah tanah yang meningkatkan beberapa nutrisi (zat besi dan seng). Aplikasi asam humat pada daun juga dapat meningkatkan pertumbuhan beberapa jenis tanaman, misalnya tomat, kapas, dan anggur (Brownell *et al.*, 1987; Fernández-Escobar *et al.*, 1996). Penelitian lain menemukan bahwa asam humat dapat mempengaruhi metabolisme tanaman secara langsung (Nardi *et al.*, 2002).

Beberapa sumber mengatakan bahwa asam humat dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman sebagai zat seperti hormon (Bottomley, 1917; Muscolo *et al.*, 1998). Penelitian yang dilakukan Trevisan *et al.* (2011) membuktikan bahwa zat humat dapat meningkatkan metabolisme fotosintesis di daun jagung. Kemudian dihipotesiskan bahwa zat humat mungkin berpengaruh pada fisiologi tanaman sebagai hormon seperti auksin. Selain itu, efek positif pemberian asam humat

dapat meningkatkan metabolisme tanaman misalnya meningkatkan fungsi membran sel dan merangsang serapan hara (Nardi *et al.*, 2002; Varanini & Pinton, 1995).

Selain penelitian pengaruh asam humat, penelitian mengenai konsentrasi asam humat bagi peningkatan pertumbuhan tanaman juga telah dilakukan. Arancon *et al.* (2003), menyebutkan bahwa asam humat dari kotoran sapi dapat meningkatkan berat kering akar marigold dan stroberi secara signifikan pada konsentrasi 500 mg/kg. Asam humat dari kompos cacing pada konsentrasi 250 - 1000 mg/kg juga bisa meningkatkan berat kering akar tomat. Atiyeh *et al.* (2002) menemukan bahwa biasanya pada konsentrasi rendah (50-500 mg/kg), asam humat dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, tetapi ketika diterapkan pada konsentrasi yang lebih tinggi (500-1000 mg/kg) tidak dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan. Pengaruh aplikasi asam humat terhadap pertumbuhan tanaman menunjukkan pertumbuhan yang tajam seiring dengan peningkatan konsentrasi asam humat sampai mencapai puncak dan kemudian biasanya menurun pada konsentrasi asam humat yang lebih tinggi (Atiyeh *et al.*, 2002; Chen & Aviad, 1990).

Pengaruh asam humat dalam memacu pertumbuhan tanaman diperkirakan karena substansi asam humat bersifat seperti hormon auksin, sitokinin, dan giberelin (Atiyeh *et al.*, 2002; Muscolo *et al.*, 1999). Selain itu, Atiyeh *et al.* (2002) dan Cahyo *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa asam humat lebih berpengaruh terhadap peningkatan pertumbuhan akar daripada tajuk. Hal ini diperkirakan karena hormon auksin dapat

menginisiasi pembentukan akar, sedangkan hormon sitokinin dapat meningkatkan pertumbuhan akar (Gardner *et al.*, 1991).

Selain karena peningkatan pertumbuhan akar, pengaruh positif asam humat dalam mitigasi kekeringan pada perkebunan karet adalah karena kemampuannya dalam meningkatkan aktivitas enzim-enzim yang mampu menurunkan konsentrasi *reactive oxygen species* (ROS) dalam tubuh tanaman. Penelitian Elmongy *et al.* (2018) menunjukkan bahwa pemberian asam humat sebanyak 1 mg/l dapat meningkatkan aktivitas enzim SOD, APX, dan CAT pada tanaman evergreen azalea. SOD adalah enzim yang mengubah O_2^- yang dapat terbentuk saat terjadi proses foto respirasi karena cekaman kekeringan menjadi H_2O_2 (Leclercq *et al.*, 2012). CAT adalah enzim yang berperan mengubah H_2O_2 menjadi H_2O dan O_2 (Fikret *et al.*, 2013). Selain itu, APX berfungsi untuk mengubah H_2O_2 menjadi H_2O dan MDHA (monodehydroascorbate) (Singh *et al.*, 2017). Peranan asam humat sebagai antioksidan pernah dikemukakan sebelumnya oleh (Moghadam, 2015) dan sebagai antioksidan sekaligus auksin aktivator oleh (Cordeiro *et al.*, 2011).

Aplikasi Osmoregulator

Salah satu efek cekaman kekeringan adalah terjadinya penurunan tekanan turgor dan potensial air sel tanaman (Shao *et al.*, 2008). Hal ini menyebabkan proses fisiologis tanaman terganggu. Efek kekeringan pada proses fisiologis tanaman karet dipengaruhi oleh tingkat keparahan dan durasi kekeringan serta kemampuan tanaman dalam mengatasi kondisi kekeringan. Oleh karena itu pemulihan status air tanaman yang cepat diperlukan sebagai mekanisme toleransi tanaman terhadap kekeringan (Falqueto *et al.*, 2017; Waseem *et al.*, 2011). Mekanisme toleransi tanaman dalam menghadapi kekeringan misalnya adalah dengan menekan laju transpirasi serta penyesuaian tekanan osmotik sel. Penyesuaian tekanan osmotik dapat dilakukan dengan mengakumulasi solut yang kompatibel seperti sorbitol, manitol,

sukrosa, fruktan, oligosakarida, dan prolin (Rhodes & Hanson, 1993; Wang, 2014). Osmoregulasi adalah kemampuan tanaman untuk menurunkan tekanan osmotik sebagai akumulasi solut dalam jaringan tanaman. Klon karet dengan kemampuan osmoregulasi yang tinggi memiliki tingkat tekanan osmotik yang tinggi sehingga mampu mempertahankan turgiditas sel dan kadar air relatif daun selama berada dalam kondisi kekeringan (Karyudi, 2001). Wang (2014) menyebutkan bahwa pada tanaman karet, gula terlarut lebih berperan dalam osmoregulasi daun tanaman karet dalam menghadapi kekeringan dibandingkan dengan prolin. Prolin berperan sebagai senyawa osmoregulator yang memelihara integritas membran dan mempengaruhi kelarutan dari berbagai protein sehubungan dengan interaksinya dengan residu hidrofobik pada permukaan protein dalam kondisi kekurangan air (Din *et al.*, 2011).

Aplikasi senyawa osmoregulator pada daun karet lebih mudah dilaksanakan pada fase pembibitan dan tahun pertama penanaman di lapangan. Setelah fase tersebut, aplikasi osmoregulator pada daun tanaman karet sangat sulit dilaksanakan karena selain biayanya mahal, posisi daun karet juga sudah lebih dari dua meter, sehingga menjadi sulit dijangkau oleh aplikator senyawa osmoregulator. Untuk mengatasi masalah tersebut, dapat digunakan pupuk KCl yang diaplikasikan di tanah. Unsur K^+ dapat berfungsi sebagai osmoregulator yang membantu tanaman dalam mengatur tekanan turgor sel penjaga pada stomata (Cochrane & Cochrane, 2009a, 2009b; Khanna-Chopra *et al.*, 1994; Yu & Assmann, 2016). Ketika konsentrasi K^+ dan Cl^- pada sel penjaga tinggi, cairan dalam sel penjaga menjadi hipertonis. Sifat cairan dalam sel yang hipertonis tersebut menyebabkan air di luar membran sel yang hipotonis cenderung terosmosis masuk ke dalam sel penjaga. Pada keadaan lingkungan yang kekeringan, perbedaan potensial osmosis tersebut menyebabkan air tetap berada dalam sel penjaga sehingga tekanan turgor sel penjaga tetap terjaga. Tingginya tekanan turgor ini

menyebabkan bukaan stomata tetap terjaga selama terjadi kekeringan dan produksi *reactive oxygen species* yang berlebihan dapat ditekan (Taiz & Zeiger, 2002). Oleh karena itu pemupukan ekstra KCl dapat membantu mengurangi dampak kemarau pada tanaman karet. Hasil penelitian tentang aplikasi berbagai dosis K pada tanaman karet belum menghasilkan saat musim kemarau menunjukkan bahwa pemupukan K dengan dosis dua kali lipat dosis rekomendasi secara signifikan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan. Hal ini dapat dilihat dari pertumbuhan lilit batang karet yang lebih baik pada perlakuan pemupukan K dengan dosis dua kali lipat dosis rekomendasi dibanding perlakuan dosis yang lain saat mengalami cekaman kekeringan (Samarappuli, 1992; Saputra *et al.*, 2016).

Irigasi pada Pembibitan dan TBM Karet

Irigasi adalah salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan air tanaman selama periode kering. Pada saat musim kemarau curah hujan tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air tanaman karet, sehingga diperlukan pemberian tambahan air ke daerah perakaran karet hingga kadar air tanahnya mencapai kapasitas lapang. Dengan kadar air tanah yang berkisar antara titik layu permanen hingga kapasitas lapang, tanaman karet akan dapat menyerap air dengan optimal sehingga proses fisiologis dalam tubuh tanaman karet dapat berlangsung dengan normal.

Penggunaan sistem irigasi teknis pada perkebunan karet di Indonesia sangat jarang ditemukan kecuali pada lahan pembibitan. Penelitian tentang berbagai macam sistem irigasi di pembibitan karet pernah dilaksanakan di Malaysia. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa perlakuan irigasi dengan menggunakan *capillary wick irrigation system* dapat menghasilkan bobot kering akar dan luas daun yang lebih tinggi dibanding perlakuan irigasi dengan menggunakan sistem *drip* dan *overhead sprinkler* (Nabaiy *et al.*, 2016).

Selain irigasi di pembibitan, irigasi di kebun produksi baik pada tanaman belum menghasilkan (TBM) maupun tanaman

menghasilkan (TM) dapat juga dilakukan namun tidak efisien karena biayanya sangat mahal. Penelitian tentang irigasi pada tanaman belum menghasilkan di kebun produksi pernah dilaksanakan di Thailand dan India. Mak *et al.* (2008) menyebutkan bahwa total produksi pada blok yang diirigasi mencapai 2.469,4 kg/ha yang secara signifikan jauh lebih tinggi dibanding blok yang tidak diirigasi. Pengaruh irigasi terhadap pertumbuhan lilit batang dan hasil karet per sadap per pohon berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3 dan 4 menunjukkan bahwa irigasi secara signifikan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman terutama pada daerah dengan musim kemarau yang panjang. Selain itu, penelitian tentang irigasi di India juga didapatkan hasil bahwa pemberian irigasi dengan sistem basin dan tetes dapat meningkatkan biomassa tanaman dengan hasil yang terbaik dapat meningkat sebesar 2,8 kali lipat dari biomassa tanaman yang tidak mendapatkan irigasi (Tabel 5). Pada penelitian ini juga disimpulkan bahwa pada tanah oxisol pemberian irigasi dengan sistem basin lebih efektif dibanding sistem tetes. Dengan adanya peningkatan pertumbuhan tanaman tersebut masa TBM karet dapat diperpendek menjadi enam tahun dengan adanya perlakuan irigasi (Vijayakumar *et al.*, 1998). Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Carr (2012) dan Jessy *et al.* (1994) yang mendapatkan bahwa setelah lima tahun pemberian irigasi, lilit batang karet yang diberi perlakuan irigasi sistem tetes dan basin berturut-turut 364 dan 347 mm. Lilit batang ini secara signifikan lebih tinggi dari pada lilit batang tanaman yang tidak diberi perlakuan irigasi yang hanya mencapai 300 mm. Selain itu, perlakuan irigasi juga diketahui dapat meningkatkan indeks luas daun dan intersepsi cahaya oleh kanopi tanaman karet (Carr, 2012; Devakumar *et al.*, 1988).

Salah satu kendala dalam melakukan irigasi pembibitan karet baik batang bawah maupun bibit dalam polibeg dengan luasan yang besar adalah kebutuhan volume air irigasi yang tinggi. Hal ini menyebabkan irigasi sulit dilaksanakan pada musim kemarau apabila

Tabel 3. Pengaruh irigasi terhadap lilit batang tanaman karet (cm)

Perlakuan	Bulan			Pertambahan lilit batang selama 16 bulan
	Jan-05	Okt-05	Jan-06	
Irigasi	54,3	55,7	58,0	7,6
Non irigasi	50,3	51,6	53,4	3,5
Rerata	52,3	53,7	55,7	5,5
cv (%)	2,30	2,40	0,4	13,60
F test	*	*	**	**
LSD 0.05	2,443	2,567	0,498	1,509

Sumber : Mak *et al.*(2008)

Tabel 4. Pengaruh irigasi terhadap hasil karet (gram/pohon/sadap)

Months	Nov 2004	Dec 2004	Apr 2005	May 2005	Jul 2005	Sep 2005	Oct 2005	Nov 2005	Dec 2005	Jan 2006
Irrigation treatment										
Irigasi	55,4	67,1	47,5	72,0	87,4	76,9	87,2	85,6	71,5	56,8
Non irigasi	50,6	53,0	26,8	42,3	66,7	89,3	87,8	84,5	63,2	65,7
Rerata	53,0	60,1	37,2	57,1	77,0	83,1	87,5	85,0	67,4	61,3
cv(%)	0,2	0,4	0,8	0,7	4,7	1,3	0,1	0,5	0,3	0,9
F test	*	**	**	**	*	*	ns	ns	*	*
LSD _{0.05}	3,4	5,2	2,3	8,5	14,5	8,9	-	-	5,3	7,6

Sumber : Mak *et al.*(2008)

Tabel 5. Pengaruh beberapa perlakuan irigasi terhadap lilit batang (cm) dan biomassa (kg/tanaman) tanaman karet (*Hevea brasiliensis*).

Perlakuan ETc Irigasi	Lilit Batang (cm)	Biomassa (kg/tanaman)
Kontrol	34,3 c	49 d
0,50 basin	46,6 ab	113 abc
0,75 basin	49,5 a	134 ab
1,00 basin	49,9 a	137 a
0,25 drip	41,6 b	83 c
0,50 drip	45,0 ab	103 bc
0,75 drip	46,3 ab	111 abc
CD (0,01)	5,3	30

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata pada P<0,01

Sumber : Vijayakumar *et al.* (1998)

sumber air yang ada (embung, danau) juga mengalami kekeringan. Untuk mengatasi hal ini, sebaiknya pembibitan ditempatkan pada lokasi di mana tersedia air yang berlimpah sepanjang tahun. Sebagai contoh, untuk kebun percobaan Pusat Penelitian Karet, sebaiknya kebun pembibitan ditempatkan di daerah yang dekat dengan Sungai Musi yang airnya selalu mengalir sepanjang tahun. Dengan demikian biaya irigasi dapat ditekan secara signifikan.

Penggunaan Seresah LCC sebagai Mulsa Organik

Salah satu upaya mitigasi kemarau panjang sebagai dampak El-Nino adalah dengan penanaman tanaman kacang penutup tanah (LCC) di antara gawangan karet dengan tujuan sebagai mulsa untuk menekan evaporasi tanah. Selain untuk menekan evaporasi, LCC dengan produksi biomassa yang tinggi juga berfungsi untuk menekan kemungkinan

terjadinya erosi, memperbaiki struktur fisik dan kimia tanah, serta untuk membatasi pertumbuhan gulma. LCC yang dahulu umum dipakai di perkebunan karet adalah campuran dari *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium mucunoides*, *Centrosema pubescens*, dan *Calopogonium caeruleum*. Namun pada saat ini *Mucuna bracteata* lebih banyak digunakan di perkebunan-perkebunan besar karena mempunyai beberapa kelebihan. Kelebihan dari *Mucuna bracteata* antara lain pertumbuhan cepat sehingga menekan pertumbuhan gulma, produksi biomassa dan kapasitas fiksasi nitrogen cukup tinggi, toleran terhadap naungan, tahan kekeringan, bebas dari serangan hama dan penyakit serta tidak disukai oleh ternak (Siagian, 2011).

Mucuna bracteata adalah salah satu jenis LCC merayap yang ditemukan pertama kali di areal hutan negara bagian Tripura, India Utara, dan sudah ditanam secara luas sebagai penutup tanah di perkebunan karet di Kerala, India Selatan. *Mucuna bracteata* dengan laju pertumbuhan yang tinggi mampu menutup lahan seluas 20 m² pada umur 10 bulan setelah tanam sehingga pada awal tahun kedua seluruh areal sudah tertutup dengan ketebalan 39 - 90 cm (Siagian, 2001). Dalam satu tahun *Mucuna bracteata* dapat membentuk bahan kering hingga mencapai 3.786 kg/ha, sementara bahan kering yang dapat terbentuk oleh LCC konvensional hanya sekitar 1.048 kg/ha (Nugroho *et al.*, 2006).

Tebalnya seresah *Mucuna bracteata* yang terbentuk tersebut berdampak positif, yaitu sebagai penyedia nutrisi tanaman sekaligus berfungsi sebagai mulsa yang dapat menahan penguapan air dari tanah dan meningkatkan efisiensi penggunaan air terutama pada saat musim kemarau. Beberapa sumber menyebutkan bahwa penggunaan mulsa pada perkebunan karet dapat mengurangi kehilangan air tanah karena evaporasi yang berlebihan pada saat musim kering (Samarappuli, 1992; Saputra *et al.*, 2016). Selain itu, aplikasi mulsa setebal 3,8 cm dilaporkan dapat menurunkan evaporasi hingga sekitar 35% dibandingkan dengan lahan yang tidak diberi mulsa (Chalker-Scott,

2007). Dengan adanya mulsa yang berupa seresah tanaman maupun mulsa lainnya, air yang terbatas pada musim kemarau dapat digunakan dengan lebih efisien oleh tanaman. Selain pada tanaman karet, penggunaan seresah sebagai mulsa juga dilaporkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pertumbuhan beberapa jenis tanaman, antara lain kedelai (Xue *et al.*, 2013), ara (Jafari *et al.*, 2012), dan padi (Qin *et al.*, 2010). Dalam penggunaan *Mucuna bracteata* sebagai LCC pada perkebunan karet, pertumbuhan sulur *Mucuna bracteata* harus dikendalikan agar tidak terlalu dekat dan mengganggu pertumbuhan tanaman karet.

Penggunaan Rorak

Rorak adalah lubang dengan ukuran tertentu yang sengaja dibuat di lahan perkebunan dengan tujuan untuk konservasi air, tanah, maupun nutrisi tanah agar tidak langsung tercuci dari lahan perkebunan akibat limpahan air hujan yang berlebihan. Air hujan yang masuk dalam rorak akan mengalami *seepage* (aliran lateral) dan *infiltrasi* (aliran vertikal) yang tertunda. Ini akan menyebabkan lebih lama ketersediaannya dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman karet dalam jangka waktu yang lebih panjang (Hutasoit *et al.*, 2015; Noeralam *et al.*, 2003). Dengan tertahannya air tersebut, rorak dapat menunda kekeringan tanah (*soil dryness*) selama 3,5 bulan (Murtalaksono *et al.*, 2007; Nugroho, 2017).

Rorak dapat dibuat dengan ukuran sekitar 120 x 45 x 75 cm. Rorak dapat diisi dengan bahan organik yang berupa seresah tanaman maupun pupuk kandang yang telah dikomposkan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi lebih banyak menyimpan air dibanding tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah (Achmad & Putra, 2016); (Sukmana *et al.*, 1986). Achmad & Putra (2016) juga mengatakan bahwa rorak dengan kedalaman 16-30 cm lengas tanahnya lebih tinggi 8,89% dan 2,4% apabila dibandingkan dengan

perlakuan kontrol tanpa vegetasi dan dengan vegetasi berturut-turut. Selain itu, rorak juga terbukti dapat meningkatkan kadar air tanah sekitar 5% pada kedalaman 30-60 cm. Hal ini sangat bermanfaat bagi tanaman karet yang akar lateralnya berada pada kedalaman sekitar 30 cm. Idealnya, rorak dibuat dengan jumlah sekitar 200 lubang/ha. Dengan aplikasi rorak pada perkebunan karet sebanyak 250 lubang/ha, produksi karet dapat ditingkatkan sekitar 15%. Aplikasi rorak sebanyak 100–250 lubang/ha juga terbukti dapat mengkonservasi tanah sebanyak 4,58 – 10,42 ton/ha dengan jumlah nutrisi yang diselamatkan adalah 12-29, 6-13, dan 27-62 untuk unsur N, P, dan K berturut-turut (George *et al.*, 2005).

Bahan organik sebagai materi pengisi rorak dapat diperoleh dari dalam kebun (*in situ*) seperti rumput dan seresah tanaman maupun dari luar kebun (*ex situ*) seperti kompos, pupuk kandang, maupun materi yang berupa produk sampingan dari industri kelapa sawit. Kebun karet yang mendapatkan tambahan bahan organik berupa tandan kosong sawit menunjukkan hasil yang positif berupa peningkatan bobot kering akar (Susetyo *et al.*, 2017). Selain itu, Hutasoit *et al.* (2015) juga menyebutkan bahwa pemberian tandan kosong sawit pada kebun karet sebanyak 300 kg per rorak dapat meningkatkan N tanah sebesar 14,84%.

Kandungan bahan organik tanah yang meningkat akibat pemberian tandan kosong sawit dapat memperbaiki sifat fisik tanah sehingga struktur tanah semakin mantap dan kemampuan tanah menahan air semakin baik. Rorak dengan bahan organik dan lengas yang memadai akan efektif dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman terutama akarnya. Rorak yang baik ditandai dengan banyaknya feeder root berwarna putih (aktif) yang berada di rorak tersebut.

Inokulasi Jamur Mikoriza dan DSE

Untuk meningkatkan kemampuan akar dalam menyerap air dan hara dalam kondisi lingkungan yang kurang ideal, perakaran bibit tanaman karet dapat diinokulasi dengan jamur mikoriza. Mikoriza adalah suatu bentuk

hubungan simbiosis mutualistik antara jamur dan perakaran tanaman. Mikoriza dapat bersimbiosis dengan lebih dari 80% spesies tanaman di alam (Bonfante & Genre, 2010; Rozek *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jamur mikoriza ditemukan pada tanaman karet (Basumatary *et al.*, 2014; Herrmann *et al.*, 2015, 2016; Sahar & Guci, 2016). Spesies jamur mikoriza yang dapat berasosiasi dengan tanaman karet antara lain *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., *Scutellospora* sp., *Gigaspora* sp., dan *Diversispora* sp. (Herrmann *et al.*, 2016). Selain itu, mikoriza juga terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kandungan nutrisi daun karet (Herrmann *et al.*, 2016; Ikram *et al.*, 1992; Sosa-Rodriguez *et al.*, 2013).

Mikoriza juga diketahui mampu melindungi tanaman pada saat musim kering yang berkepanjangan (Herrmann *et al.*, 2016; Symanczik *et al.*, 2015), serta meningkatkan serapan air pada lahan yang ketersediaan airnya terbatas sekaligus meningkatkan persentase tanaman yang hidup di persemaian dan lapangan (Ulfa *et al.*, 2005). Peningkatan ketahanan tanaman pada kondisi kekeringan ini dimungkinkan melalui mekanisme peningkatan mobilisasi nutrisi pada tanah yang kering, peningkatan jangkauan terhadap air yang terbatas di dalam tanah, peningkatan porositas tanah, serta infiltrasi dan penyimpanan air (Herrmann *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2014). Oleh karena itu, inokulasi jamur mikoriza pada perakaran bibit tanaman karet dalam polibag diharapkan dapat meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan tanaman karet terhadap kekeringan.

Dalam perkembangan penelitian tentang simbiosis antara jamur dan perakaran tanaman, terdapat sekelompok spesies jamur dalam filum Ascomycetes yang dapat bersimbiosis dengan perakaran tanaman inang, namun sebagian bukan termasuk ke dalam kelompok mikoriza. Sekelompok jamur ini disebut sebagai jamur *Dark Septate Endophyte* (DSE) (Jumpponen, 2001). DSE dicirikan dengan adanya pigmen gelap, hifa bersekat (Zhan *et al.*, 2011), dan microsclerotia

yang menginfeksi epidermis dan korteks akar tanaman inang secara inter- dan intraseluler (Jumpponen, 2001; Mandyam & Jumpponen, 2005; Santos *et al.*, 2017; Vergara *et al.*, 2018). Seperti halnya pada simbiosis antara mikoriza dan tanaman inangnya, simbiosis antara jamur DSE dengan tanaman inangnya ini juga dilaporkan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman inang melalui peningkatan serapan P (Majewska *et al.*, 2015; Priyadharsini *et al.*, 2012) dan air (Mandyam & Jumpponen, 2005; Porrás-Alfaro *et al.*, 2008; Santos *et al.*, 2017) dari dalam tanah ke dalam jaringan tanaman inang.

Kesimpulan

Dampak dari fenomena El-Nino adalah musim kemarau yang berkepanjangan di Indonesia dan sekitarnya. Untuk meminimalisir dampak kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman karet, diperlukan langkah-langkah mitigasi dengan pendekatan *phytobiome*. Mitigasi dengan pendekatan *phytobiome* dilakukan secara komprehensif baik terhadap tanaman, lingkungan hidup tanaman, maupun organisme yang hidup di sekitar tanaman tersebut. Upaya mitigasi tersebut misalnya dengan penggunaan klon-klon unggul tahan kering, penggunaan *root trainer* untuk memproduksi bibit, aplikasi senyawa osmoregulator, aplikasi asam humat, irigasi, penggunaan LCC sebagai mulsa, pembuatan rorak, dan inokulasi jamur mikoriza atau DSE. Penelitian tentang upaya mitigasi tersebut pada tanaman karet masih tergolong minim, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut agar pertumbuhan dan produksi karet tetap stabil walaupun terjadi fenomena El-Nino.

Daftar Pustaka

Achmad, S. R., & Putra, R. C. (2016). Pengelolaan lengas tanah dan laju pertumbuhan tanaman karet belum menghasilkan pada musim kemarau dan penghujan. *Warta Perkaratan*, 35(1), 1-10.

- Al-Zalzelah, H. (2013). The effect of container type and soil substrates on growth and establishment of selected landscape trees. *cientific Papers. Series B, Horticulture*, 57, 255–260.
- Arancon, N. Q., Lee, S., Edwards, C. A., & Atiyeh, R. (2003). Effects of humic acids derived from cattle, food and paperwaste vermicomposts on growth of greenhouse plants. *Pedobiologia*, 47(5-6), 741-744.
- Ardika, R., Cahyo, A. N., & Wijaya, T. (2011). Wintering and yield dynamics on various rubber clones and their relationship to soil water content. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 29(2), 102-109.
- Ardika, R., & Herlinawati, E. (2014). Alternative of rubber planting material supply with root trainer system. *Warta Perkaratan*, 33(2), 73–78.
- Arenas, M., Vavrina, C. S., Cornell, J. A., Hanlon, E. A., & Hochmuth, G. J. (2002). Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production. *HortScience*, 37(2), 309–312.
- Atiyeh, R., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresour Technol*, 84(1), 7-14.
- Bahari, Z. A., & Samsuddin, Z. (1984). Possible usage of photosynthetic rates and drought resistance in early selection of hevea: *Compte-Rendu Du Colloque. Exploitation-Physiologie et Amelioration de l'Hevea*. Diakses dari Montpellier-France IRCA, CIRAD.
- Basumatary, N., Parkash, V., Tamuli, A. K., Saikia, A. J., & Teron, R. (2014). Arbuscular mycorrhizal inoculation affects growth and rhizospheric nutrient availability in Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Mull. Arg. clones. *International Journal of Current Biotechnology*, 2(7), 14-21.
- Bonfante, P., & Genre, A. (2010). Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat Commun*, 1(4), 1-11. doi:10.1038/ncomms1046.

- Bottomley, W. B. (1917). Some effects of organic promotion substances (auxinomones) on the growth of Lemna minor in mineral cultural solutions. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 89(621), 481–507.
- Brownell, J. R., Nordstrom, G., Marihart, J., & Jorgensen, G. (1987). Crop responses from two new leonardite extracts. *Science of The Total Environment*, 62, 491-499.
- Cahyo, A. N., Ardika, R., Saputra, J., & Wijaya, T. (2014). Acceleration on the growth of rubber planting materials by using foliar application of humic acid. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*, 36(2), 112-119. doi:10.17503/Agrivita-2014-36-2-p112-119.
- Cahyo, A. N., Ardika, R., & Wijaya, T. (2011). Water consumption and rubber production on various planting space arrangement system and their relationship with soil water content. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 29(2), 110 - 117. doi:10.22302/jpk.v29i2.243.
- Cahyo, A. N., Sahuri, Nugraha, I. S., & Ardika, R. (2019). Cocopeat as Soil Substitute Media for Rubber (*Hevea brasiliensis* Müll. Arg.) Planting Material. *Journal of Tropical Crop Science*, 6(1), 24-29.
- Cahyo, A. N., Saputra, J., Stevanus, C. T., & Sahuri. (2016). Penggunaan root trainer untuk meningkatkan pertumbuhan bibit karet. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 35(1), 17 – 24. doi:10.21082/jp3.v35n1.2016.p17-24.
- Carr, M. K. V. (2012). The water relations of rubber (*hevea brasiliensis*): A review. *Experimental Agriculture*, 48(02), 176–193. doi:10.1017/S0014479711000901.
- Chalker-Scott, L. (2007). Impact of mulches on landscape plants and the environment-a review. *Journal of Environmental Horticulture*, 5(4), 239–249.
- Chen, Y., & Aviad, T. (1990). Effects of humic substances on plant growth. In P. MacCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm, & P. R. Bloom (Eds.), *Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings* Madison, WI: ASA and SSSA.
- Chen, Y., De Nobili, M., & Aviad, T. (2004). *Stimulatory effects of humic substances on plant growth. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Cochrane, T. T., & Cochrane, T. A. (2009a). Differences in the way potassium chloride and sucrose solutions effect osmotic potential of significance to stomata aperture modulation. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(3), 205–209. doi:10.1016/j.plaphy.2008.11.006.
- Cochrane, T. T., & Cochrane, T. A. (2009b). The vital role of potassium in the osmotic mechanism of stomata aperture modulation and its link with potassium deficiency. *Plant signaling & behavior*, 4(3), 240–243. doi:10.4161/psb.4.3.7955.
- Cordeiro, F. C., Santa-Catarina, C., Silveira, V., & Souza, S. R. d. Humic acid effect on catalase activity and the generation of reactive oxygen species in corn (*zea mays*). *Biosci Biotechnol Biochem*, 75(1), 70–74. doi:10.1271/bbb.100553.
- Devakumar, A. S., Rao, G. G., Rajagopal, R., Rao, P. S., George, M. J., Vijayakumar, K. R., & Sethuraj, M. R. (1988). Studies on soil-plant-atmosphere system in Hevea: II. Seasonal effects on water relations and yield. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 1(2), 45–60.
- Din, J., Khan, S. U., Ali, I., & Gurmani, A. R. (2011). Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(1), 78-82.

- Elmongy, M. S., Zhou, H., Cao, Y., Liu, B., & Xia, Y. (2018). The effect of humic acid on endogenous hormone levels and antioxidant enzyme activity during in vitro rooting of evergreen azalea. *Scientia Horticulturae*, 227, 234–243. doi:10.1016/j.scienta.2017.09.027.
- Evans, M. R., & Stamps, R. H. (1996). Growth of bedding plants in sphagnum peat and coir dustbased substrates. *Journal of Environmental Horticulture*, 14, 187-190.
- Falqueto, A. R., da Silva Júnior, R. A., Gomes, M. T. G., Martins, J. P. R., Silva, D. M., & Partelli, F. L. (2017). Effects of drought stress on chlorophyll a fluorescence in two rubber tree clones. *Scientia Horticulturae*, 224, 238–243. doi:10.1016/j.scienta.2017.06.019.
- Fang, Y., & Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 72(4), 673–689. doi:10.1007/s00018-014-1767-0.
- Fernández-Escobar, R., Benlloch, M., Barranco, D., Dueñas, A., Fernández-Escobar, R. M., Benlloch, D., . . . GutiérrezGañán, J. A. (1996). Response of olive trees to folk application of humic substances extracted from leonardite. *Scientia Horticulturae*, 66(191-200).
- Fikret, Y., Manar, T., Şebnem, E., Şebnem, K., & Özlem, U. (2013). Sod, cat, gr and apx enzyme activities in callus tissues of susceptible and tolerant eggplant varieties under salt stress. *Research Journal of Biotechnology*, 8(11), 45–51.
- Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchel, R. L. (1991). *Physiology of Crop Plant (Fisiologi Tanaman Budidaya, translation H. Susilo)*. Jakarta, Indonesia: UI Press.
- George, S., John, J., Joseph, P., Philip, A., & Punnoose, K. I. (2005). Impact of conservation pits on growth and yield of mature rubber. *Journal of Rubber Research*, 10(1), 44-53.
- Hamim, H., Violita, V., Triadiati, T., & Miftahudin, M. (2017). Oxidative stress and photosynthesis reduction of cultivated (glycine max l.) and wild soybean (g. Tomentella l.) exposed to drought and paraquat. *Asian Journal of Plant Sciences*, 16(2), 65-77. doi:10.3923/ajps.2017.65.77.
- Herrmann, L., Bräu, L., Robin, A., Robain, H., Wiriyakitnateekul, W., & Lesueur, D. (2015). High colonization by native arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of rubber trees in small-holder plantations on low fertility soils in North East Thailand. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(7), 1041–1048. doi:10.1080/03650340.2015.1110238.
- Herrmann, L., Lesueur, D., Bräu, L., Davison, J., Jairus, T., Robain, H., . . . Öpik, M. (2016). Diversity of root-associated arbuscular mycorrhizal fungal communities in a rubber tree plantation chronosequence in Northeast Thailand. *Mycorrhiza*, 26(8), 863–877. doi:10.1007/s00572-016-0720-5.
- Hutasoit, J., Hanum, C., & Ginting, J. (2015). Kadar n tanah dan daun serta klorofil karet umur sembilan tahun dengan penempatan mulsa vertikal pada rorak. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 3(4), 1266-1270.
- Ikram, A., Mahmud, A. W., Ghani, M. N., Ibrahim, M. T., & Zainal, A. B. (1992). Field nursery inoculation of Hevea brasiliensis Muell. Arg. seedling rootstock with vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi. *Plant and soil*, 145, 231–236.
- Ingram, D. L., Henley, R. W., & Yeager, T. H. (1993). Growth media for container grown ornamental plants. *University of Florida Bulletin*, 241, 1-16.
- Inonu, I., Budianta, D., Umar, M., Yakup, & Wiralag, A. Y. A. (2011). ubber clone response on irrigation frequency in sand tailing medium post thin mining. *Journal of Agronomy Indonesia*, 39(2), 131-136.

- Jafari, M., Haghghi, J. A. P., & Zare, H. (2012). Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10(1), 428–433.
- Jessy, M. D., Mathew, M., Jacob, S., & Punnoose, K. I. (1994). Comparative evaluation of basin and drip irrigation systems of irrigation in rubber. *Indian Journal Natural Rubber Research*, 7(1), 51–56.
- Jumpponen, A. (2001). Dark septate endophytes - are they mycorrhizal? *Mycorrhiza*, 11(4), 207–211. doi:10.1007/s005720100112.
- Karyudi. (2001). Rubber (*Hevea brasiliensis*) osmoregulation as the responds to water stress I: Variation between recommended, expected, and germplasm. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 19(1-3), 1–17.
- Khanna-Chopra, R. M., Yasudev, S., Maheswari, M., Srivastava, A., & Bahukhandi, D. (1994). K+, Osmoregulation and Drought Tolerance - An Overview. *Proceeding of Indian National Science Academy*, 61(1), 51-56.
- Kholová, J., Hash, C. T., Kočová, M., & Vadez, V. (2011). Does a terminal drought tolerance QTL contribute to differences in ROS scavenging enzymes and photosynthetic pigments in pearl millet exposed to drought? *Environmental and Experimental Botany*, 71(1), 99–106. doi:10.1016/j.envexpbot.2010.11.001.
- Lawlor, D. W. (2013). Genetic engineering to improve plant performance under drought: physiological evaluation of achievements, limitations, and possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 64(1), 83–108.
- Leach, J. E., Triplett, L. R., Argueso, C. T., & Trivedi, P. (2017). Communication in the Phytobiome. *Cell*, 169(4), 587-596. doi:10.1016/j.cell.2017.04.025.
- Leclercq, J., Martin, F., Sanier, C., Clément-Vidal, A., Fabre, D., Oliver, G., . . . Montoro, P. (2012). Over-expression of a cytosolic isoform of the HbCuZnSOD gene in *Hevea brasiliensis* changes its response to a water deficit. *Plant Molecular Biology*, 80(3), 255–272. doi:10.1007/s11103-012-9942-x.
- Lucas, W. J. (1987). Functional aspects of cells in root apices. In P. J. Gregory, J. V. Lake, & A. Rose (Eds.), *Root Development and Functions* (pp. 123-136). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Luke, L. P., Mohamed Sathik, M. B., Thomas, M., Kuruvilla, L., Sumesh, K. V., & Annamalaiathan, K. (2015). Quantitative expression analysis of drought responsive genes in clones of *Hevea* with varying levels of drought tolerance. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21(2), 179–186. doi:10.1007/s12298-015-0288-0.
- Luo, L. J. (2010). Breeding for water-saving and drought-resistance rice (WDR) in China. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3509–3517. doi:10.1093/jxb/erq185.
- Majewska, M. L., Błaszowski, J., Nobis, M., Rola, K., Nobis, A., Łakomic, D., . . . Zubek, S. (2015). Root-inhabiting fungi in alien plant species in relation to invasion status and soil chemical properties. *Symbiosis*, 65(3), 101-115. doi:10.1007/s13199-015-0324-4.
- Mak, S., Chinsathit, S., Pookpakdi, A., & Kasemsap, P. (2008). The effect of fertilizer and irrigation on yield and quality of rubber (*hevea brasiliensis*) grown in chanthaburi province of Thailand. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 42, 226–237.
- Mandyam, K., & Jumpponen, A. (2005). Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *Studies in Mycology*, 53, 173–189. doi:10.3114/sim.53.1.173.

- Moghadam, H. R. T. (2015). Humic acid as an ecological pathway to protect corn plants against oxidative stress. *Biological Forum – An International Journal*, 7(1), 1704–1709.
- Mullan, G. D., & White, P. J. (2001). *Seedling Quality: Making informed choices*. Wheatbelt, Australia: Bushcare and the Department of Conservation and Land Management.
- Murtillaksono, K., Siregar, H. H., & Darmosarkoro, W. (2007). Water balance model in oil palm plantation. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 15(1), 21-35.
- Muscolo, A., Bovalò, F., Gionfriddo, F., & Nardi, S. (1999). Earthworm humic matter produces auxin-like effects on *Daucus carota* cell growth and nitrate metabolism. *Soil Biology and Biochemistry*, 31, 1303–1311.
- Muscolo, A., Cutrupi, S., & Nardi, S. (1998). IAA detection in humic substances. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8/9), 1199-1201.
- Muthana, K. D., Meena, G. L., Bhatia, N. S., & Bhatia, O. P. (1984). Root system of desert tree species. *My Forest*, 3, 27-36.
- Nabayi, A., Teh, C. B. S., Husni, M. H. A., Jaafar, A. H., & Isnar, M. S. (2016). Comparison of three irrigation systems for the bx-1 system for nursery seedlings. *Malaysian Journal of Soil Science*, 20, 19-36.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(11), 1527–1536.
- Nazari, F., Faarahmand, H., Kosh-Khui, M., & Salehi, H. (2011). Effects of coir as component of potting media on growth, flowering a physiological characteristics of hyacinth (*Hyacinthus orientalis* L. cv. Sonbol-e-Irani). *International Journal of Agriculture and Food Science*, 1(2), 34-38.
- Noeralam, A. S., Arsyad, S., & Iswandi. (2003). Teknik pengendalian aliran permukaan yang efektif pada usaha tani lahan kering belerang. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, 5(1), 3-16.
- Nugroho, P. A., Istianto, Siagian, N., & Karyudi. (2006, 4-5 September). *Potensi (Mucuna bracteata) dalam Pengembalian Hara pada Areal Karet TBM*. Tulisan disajikan pada okakarya Nasional Budidaya Tanaman Karet, Medan.
- Nugroho, P. A. (2017). Pembangunan rorak dan aplikasi tankos di areal perkebunan karet. *Inovasi*, 14(2), 155–161.
- Perry, T. O. (1982). The ecology of tree roots and practical significance. *Journal of Arboriculture*, 8(8), 197-211.
- Porras-Alfaro, A., Herrera, J., Sinsabaugh, R. L., Odenbach, K. J., Lowrey, T., & Natvig, D. O. (2008). Novel root fungal consortium associated with a dominant desert grass. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(9), 2805–2813. doi:10.1128/AEM.02769-07.
- Priyadharsini, P., Pandey, R., & Muthukumar, T. (2012). Arbuscular mycorrhizal and dark septate fungal associations in shallot (*Allium cepa* L. var. aggregatum) under conventional agriculture. *Acta Botanica Croatica*, 71(1), 159–175. doi:10.2478/v10184-011-0058-1.
- Putranto, R.-A., Herlinawati, E., Rio, M., Leclercq, J., Piyatrakul, P., Gohet, E., . . . Montoro, P. (2015). Involvement of ethylene in the latex metabolism and tapping panel dryness of hevea brasiliensis. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(8), 17885–17908. doi:10.3390/ijms160817885.
- Qin, J., Wang, X., Hu, F., & Li, H. (2010). Growth and physiological performance responses to drought stress under non-flooded rice cultivation with straw mulching. *Plant, Soil and Environment*, 56(2), 51–59. doi:10.17221/157/2009-PSE.
- Rhodes, D., & Hanson, A. D. (1993). Quaternary ammonium and tertiary sulfonium compounds in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 44, 357-384.

- Rożek, K., Rola, K., Błaszowski, J., & Zubek, S. (2018). Associations of root-inhabiting fungi with herbaceous plant species of temperate forests in relation to soil chemical properties. *Science of The Total Environment*, 649, 1573–1579. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.08.350.
- Sahar, A., & Guci, H. (2016). Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza and organic matter on growth of rubber stump (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 9(4), 31–35.
- Samarappuli, L. (1992). Some agronomic practices to overcome moisture stress in *Hevea brasiliensis*. *Indian Journal of Natural Rubber Research*, 5(1&2), 127–132.
- Santos, S. G., dos Silva, P. R. A., da Garcia, A. C., Zilli, J. É., & Berbara, R. L. L. (2017). Dark septate endophyte decreases stress on rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(2), 333–341. doi:10.1016/j.bjm.2016.09.018.
- Saputra, J., Stevanus, C. T., & Cahyo, A. N. (2016). The Effect of El-Nino 2015 on The Rubber Plant (*Hevea brasiliensis*) Growth in The Experimental Field Sembawa Research Centre. *Widyariset*, 2(1), 37–46. doi:10.14203/widyariset.2.1.2016.37-46.
- Shao, H.-B., Chu, L.-Y., Jaleel, C. A., & Zhao, C.-X. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies*, 331(3), 215–225. doi:10.1016/j.crv.2008.01.002.
- Siagian, N. (2001). Potency and Utilization of *Mucuna bracteata* as legume cover crop in rubber plantation. *Warta Perkaratan*, 20(1-3), 32–43.
- Singh, V. P., Singh, S., Prasad, S. M., & Parihar, P. (2017). *Uv-b radiation: From environmental stressor to regulator of plant growth*. Oxford, UK: Wiley-Blackwell.
- Soman, T. A., & Saraswathyamma, C. K. (2005, 6-8 November). *Root trainer planting technique for Hevea and the initial field performance of root trainer plant*. Tulisan disajikan pada International Natural Rubber Conference, Cochin.
- Sosa-Rodriguez, T., Dupré de Boulois, H., Granet, F., Gaurel, S., Melgarejo, L.-M., Carron, M.-P., & Declerck, S. (2013). In vitro mycorrhization of the rubber tree *Hevea brasiliensis* Müll Arg. *In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant*, 49(2), 207–215. doi:10.1007/s11627-012-9485-5.
- Sukmana, S., Suwardjo, H., Abdurachman, A., & Dai, J. (1986). Prospect of *Flemingia congesta* Roxb. for reclamation and conservation of volcanic skeletal soils. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, 4, 50–54.
- Susetyo, I., Nugroho, P. A., & Stevanus, C. T. (2017, 18-20 Oktober). *Potency and management of organic materials in rubber plantation in Indonesia*. Tulisan disajikan pada International Rubber Conference & IRRDB Annual Meetings 2017, Jakarta.
- Symanczik, S., Courty, P.-E., Boller, T., Wiemken, A., & Al-Yahya'ei, M. N. (2015). Impact of water regimes on an experimental community of four desert arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) species, as affected by the introduction of a non-native AMF species. *Mycorrhiza*, 25(8), 639–647. doi:10.1007/s00572-015-0638-3.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Plant physiology (3rd ed)*. Sunderland, U.K Sinauer Associates Inc.
- Treder, J. (2008). The effects of cocopeat and fertilization on the growth and flowering of oriental lily “star gazer.”. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 16, 361–370.
- Trevisan, S., Botton, A., Vaccaro, S., Vezzaro, A., Quaggioti, S., & Nardi, S. (2011). Humic substances affect Arabidopsis physiology by altering the expression of genes involved in primary metabolism, growth and development. *Environmental and Experimental Botany*, 74, 44-45.
- Turner, N. C. (1986). Crop water deficits: A decade of progress. *Advances in Agronomy*, 39, 1-45.

- Ulfa, M., Martin, E., & Waluyo, E. A. (2005, 7 Desember). *Pemanfaatan mikoriza dalam meningkatkan kualitas bibit jenis prioritas Sumatera Selatan*. Tulisan disajikan pada Seminar Hasil-Hasil Penelitian Hutan Tanaman, Banyuasin.
- Varanini, Z., & Pinton, R. (1995). Humic substances and plant nutrition. In U. Lüttge (Ed.), *Progress in Botany* Berlin, Germany: Springer.
- Vergara, C., Araujo, K. E. C., Alves, L. S., Souza, S. R., de, S., L. A , Santa-Catarina, C., . . . Zilli, J. É. (2018). Contribution of dark septate fungi to the nutrient uptake and growth of rice plants. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 67-78. doi:10.1016/j.bjm.2017.04.010.
- Vijayakumar, K. R., Dey, S. K., Chandrasekhar, T. R., Devakumar, A. S., Mohankrishna, T., Rao, P. S., & Sethuraj, M. R. (1998). Irrigation requirement of rubber trees *Hevea brasiliensis* in the subhumid tropics. *Agricultural Water Management*, 35(3), 245-259. doi:10.1016/S0378-3774(97)00019-X.
- Wang, L. (2014). Physiological and molecular responses to drought stress in rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 83, 243–249. doi:10.1016/j.plaphy.2014.08.012.
- Waseem, M., Ali, A., Tahir, M., Nadeem, M. A., Ayub, M., Tanveer, A., . . . Hussain, M. (2011). Mechanism of drought tolerance in plant and its management through different methods. *Continental Journal of Agricultural Science*, 5(1), 10-25.
- Wijaya, T., Cahyo, A. N., & Ardika, R. (2011). *Anticipation and effort to cope with la nina climate anomaly in rubber plantation*. Tulisan disajikan pada Sriwijaya University Agricultural Department Seminar: Role of Science and Technology on Climate Change Anticipation on The Perspective Sustainable Agriculture. , Palembang.
- Wijaya, T., & Lasminingsih, M. (1994). Respons of some rubber clones on drought. *Warta Perkaretan*, 12(3), 1–4.
- Xue, L., Wang, L., Anjum, S. A., Saleem, M. F., Saeed, A., & Bilal, M. F. (2013). Gas exchange and morpho-physiological response of soybean to straw mulching under drought conditions. *African Journal of Biotechnology*, 12(18), 2360–2365.
- Yang, C., Ellouze, W., Navarro-Borrell, A., Taheri, A. E., Klabi, R., Dai, M., . . . Hamel, C. (2014). Mycorrhizal Fungi: Use in Sustainable Agriculture and Land Restoration. In M. Solaiman, L. K. Abbott, & A. Varma (Eds.), *Management of the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Sustainable Crop Production*. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Yu, Y., & Assmann, S. M. (2016). The effect of NaCl on stomatal opening in Arabidopsis wild type and agb1 heterotrimeric G-protein mutant plants. *Plant signaling & behavior*, 11(2), 1-3.
- Zhan, F., He, Y., Zu, Y., Li, T., & Zhao, Z. (2011). Characterization of melanin isolated from a dark septate endophyte (DSE), *Exophiala pisciphila*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 27(10). doi:10.1007/s11274-011-0712-8.