

Peranan rizobakteri dan fungi mikoriza arbuskular dalam proses fotosintesis dan produksi gula sorgum manis (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Role of rhizobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in increasing photosynthesis process and sugar production of sweet sorghum (Sorghum bicolor L. Moench)

Bedah RUPAEDA^{1*)}, Iswandi ANAS²⁾, Dwi Andreas SANTOSA²⁾, Wahono SUMARYONO³⁾ & Sri Wilarso BUDI¹⁾

¹⁾Balai Pengkajian Bioteknologi, BPPT, Gedung 630, Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang 15314, Indonesia

²⁾Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB Jl. Meranti Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

³⁾Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, IPB Jl. Meranti Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Diterima tanggal 24 November 2014/disetujui tanggal 5 Januari 2015

Abstract

Dual inoculation effects of rhizobacteria and AMF as well as the addition of chemical fertilizers on photosynthesis were studied by analyzing process of CO₂ gas exchange, chlorophyll content, nutrient uptake, sugar content and growth of sweet sorghum. AMF inoculation as a single culture increased carbon assimilation, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration, phosphorus content, chlorophyll content, sugar content, plant height, shoot weight and mycorrhizal colonization. Interaction of AMF and rhizobacteria increased sugar content of sweet sorghum stems and potassium content of sweet sorghum leaves, whereas its interaction with chemical fertilizers significantly increased chlorophyll content, sugar content and mycorrhizal colonization of sorghum plant roots. Interaction of AMF, rhizobacteria and chemical fertilizers increased sugar content, root weight and mycorrhizal colonization. The use of AMF solely or its interaction with rhizobacteria and chemical fertilizers had a great potential in improving photosynthesis process of sweet sorghum. The process is associated with increasing crop productivity, such as sugar content of sorghum which is potential as a source of renewable energy.

[Key words : CO₂ gas exchange, chlorophyll content, nutrient uptake and sugar content]

Abstrak

Pengaruh inokulasi ganda rizobakteri dan FMA dengan penambahan pupuk kimia dipelajari dengan cara menganalisis proses pertukaran gas

CO₂, kandungan klorofil, kandungan hara dan gula, pertumbuhan dan produktivitas sorgum manis. Inokulasi FMA sebagai kultur tunggal dapat meningkatkan asimilasi karbon, konduktansi stomata, konsentrasi CO₂ inter selular, kandungan fosfor, kandungan klorofil, kandungan gula, tinggi tanaman, berat batang dan derajat kolonisasi mikoriza. Interaksi antara rizobakteri dan FMA dapat meningkatkan kandungan gula batang dan kalium daun sorgum manis, sedangkan interaksinya dengan pupuk kimia dapat meningkatkan kandungan klorofil dan gula serta derajat kolonisasi mikoriza pada perakaran sorgum manis. Sementara itu, interaksi FMA, rizobakteri dan pupuk kimia dapat meningkatkan kandungan gula batang, berat akar dan derajat kolonisasi mikoriza pada perakaran sorgum manis. Penggunaan FMA baik sendiri maupun interaksinya dengan rizobakteri dan pupuk kimia memiliki potensi besar dalam meningkatkan proses fotosintesis sorgum manis. Proses tersebut berkaitan dengan peningkatan produktivitas sorgum manis dalam hal ini kandungan gula sorgum manis yang berpotensi sebagai sumber energi terbarukan.

[Kata kunci : Pertukaran gas CO₂, kandungan klorofil, pengambilan hara, kandungan gula]

Pendahuluan

Sorgum manis sebagai bahan baku pembuatan bioetanol merupakan salah satu contoh alternatif sumber energi terbarukan. Haryono (2013) melaporkan bahwa sorgum manis mampu menghasilkan biomassa seberat 80 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ dan dapat menghasilkan 6000 liter etanol. Potensi ini lebih tinggi dari biomassa yang dihasilkan tebu yaitu sebesar 75 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ dengan hasil etanol

*) Penulis korespondensi: bedahrp@hotmail.com

sebanyak 5025 liter. Bila dibandingkan dengan singkong, potensi sorgum manis jauh lebih tinggi karena singkong hanya bisa menghasilkan 25 ton ha⁻¹ tahun⁻¹ biomassa dengan volume etanol yang dihasilkan 4500 liter. Dengan demikian jelas bahwa sorgum manis mempunyai potensi produksi biomassa yang banyak dan produksi etanol yang besar dibandingkan tebu dan singkong.

Hingga kini, di Indonesia terdapat banyak lahan tidak produktif yang digolongkan ke dalam kelompok lahan marjinal. Pengembangan budidaya sorgum manis di lahan marjinal dalam hal ini di tanah ultisol diharapkan dapat meningkatkan produksi tanaman penghasil bioetanol tersebut tanpa harus bersinggungan dengan kebutuhan akan pengembangan budidaya tanaman pangan di lahan-lahan yang masih subur. Salah satu pendekatan dalam meningkatkan produktivitas sorgum manis adalah pemanfaatan mikroba tanah seperti rizobakteri dan fungi mikoriza arbuskular (FMA). Beberapa peneliti melaporkan bahwa berbagai rizobakteri mampu mengkolonisasi akar tebu, jagung dan sorgum. Rizobakteri tersebut antara lain *Bacillus*, *Enterobacter*, *Acinetobacter* dan *Chryseobacterium* (Funnell-Haris, 2010; Bhromsiri & Bhromsiri, 2010; Bhattacharyya & Jha, 2012). Sementara itu, FMA dapat meningkatkan serapan P dan berbagai unsur hara mikro seperti seperti Zn, Cu, Mo dan B. (Agustin *et al.*, 2010).

Beberapa faktor dilaporkan mempengaruhi laju produksi gula pada sorgum manis diantaranya faktor serapan hara (Funnell-Haris *et al.*, 2010 dan El-Lattief, 2011), kelembaban media tanam/kandungan H₂O (Pinheiro & Chaves, 2011) serta faktor lingkungan seperti konsentrasi CO₂ di udara, suhu udara serta intensitas cahaya matahari (Higgins & Scheiter, 2012; Craven *et al.*, 2011; Smith & Dukes, 2013). Semua hal tersebut sangat berkaitan dengan proses fotosintesis yang terjadi pada klorofil daun tanaman. Faktor-faktor yang secara tidak langsung mempengaruhi proses fotosintesis adalah ketersediaan hara tanaman sebagai prekursor bagi biosintesis zat-zat yang terlibat dalam proses tersebut, seperti protein, klorofil dan molekul pembawa energi (ATP, NADP) (Baker 2008; Yamori *et al.*, 2011).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh inokulasi rizobakteri dan fungi mikoriza arbuskular (FMA) dengan atau tanpa pemberian pupuk kimia terhadap proses fotosintesis (pertukaran gas CO₂ dan kandungan klorofil) dan produktivitas (biomassa dan kandungan gula batang) sorgum manis.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan

Benih tanaman yang digunakan adalah sorgum manis varietas Numbu yang diperoleh dari Balai Besar Serealia Maros. Sebelum ditanam benih terlebih dahulu disterilisasi dengan cara direndam dalam HClO₄ 2% selama sepuluh detik, kemudian

dibilas dengan *aquades* sebanyak tiga kali untuk menghilangkan sisa HClO₄.

Media tanam adalah campuran tanah ultisol dan pasir dengan perbandingan 1: 1 (v/v). Tanah Ultisol diperoleh dari Desa Malangsari, Kecamatan Cipanas, Kabupaten Lebak, Banten, sedangkan pasir diperoleh dari sungai Cisadane, Cisauk, Tangerang, Banten. Media tanam yang digunakan adalah media tanam yang disterilisasi dan media tanam tak disterilisasi. Bahan kimia yang digunakan untuk mensterilkan media tanam adalah tetrahydro-3,5-dimethyl-2H-1,3,5-thiadiazine-2-thione (10 g per 100 kg media tanam). Media tanam yang disterilisasi diinkubasi selama seminggu sebelum digunakan. Media tanam selanjutnya dimasukkan ke dalam polibeg dengan berat media tanam per polibeg adalah 5 kg.

Pupuk kimia yang digunakan terdiri dari Urea (3 g per polibeg), SP36 (1,8 g per polibeg) dan KCl (1,8 g per polibeg media tanam yang disterilisasi diketahui bahwa pH H₂O 4,5 ; pH KCl 3,9 ; kandungan C 0,92% ; N 0,09% ; rasio C/N 10 ; P₂O₅ HCl 18 mg per 100g ; K₂O HCl 12 mg per 100g ; P₂O₅ Bray 2,7 ppm ; K₂O Morgan 63 ppm ; Ca 3,05 cmol kg⁻¹ ; Mg 0,62 cmol kg⁻¹ ; K 0,12 cmol kg⁻¹ ; Na 0,06 cmol kg⁻¹ ; KTK 14,62 ; KB 26% ; kandungan Al⁺ 2,36 cmol kg⁻¹ dan H⁺ 0,31 cmol kg⁻¹.

Sementara itu, hasil analisis kimia dari media tanam tak disterilisasi adalah sebagai berikut : pH H₂O 4,3 ; pH KCl 3,7 ; kandungan C 0,78% ; N 0,08% ; rasio C/N 10 ; P₂O₅ HCl 11 mg per 100g ; K₂O HCl 5 mg per 100g ; P₂O₅ Bray 1,7 ppm ; K₂O Morgan 18 ppm ; Ca 1,77 cmol kg⁻¹ ; Mg 0,37 cmol kg⁻¹ ; K 0,03 cmol kg⁻¹ ; Na 0,04 cmol kg⁻¹ ; KTK 9,53 ; KB 23% ; kandungan Al⁺ 4,62 cmol kg⁻¹ dan H⁺ 1,48 cmol kg⁻¹.

Persiapan inokulan

Penelitian ini menggunakan dua jenis FMA (*Gigaspora* sp. MDL40 dan *Glomus* sp. MDL38) dan dua jenis rizobakteri (*Mycobacterium senegalense* LR73 dan *Bacillus firmus* JR80). Inokulan FMA yang digunakan sebanyak 40 spora per tanaman. Sementara itu, sebanyak 10 mL masing-masing biakan bakteri (dalam media TSA) berumur empat hari diendapkan dengan menggunakan sentrifus pada 7000 xg selama satu menit pada suhu ruang. Sel bakteri yang dihasilkan selanjutnya dilarutkan dalam 1 mL *aquades* steril dan digunakan sebagai inokulan. Populasi tiap inokulan bakteri adalah 1,0 x 10⁸ sel mL⁻¹.

Pengujian efektivitas

Pengujian efektivitas FMA dan rizobakteri dengan penambahan beberapa dosis pupuk kimia dilakukan di *Screen House* Balai Pengkajian Bioteknologi BPPT, Kawasan Puspipetek Serpong, Tangerang, Banten.

Metode penelitian menggunakan rancangan petak-petak terbagi (*Split Plot*) dalam pola Rancangan Acak Lengkap dengan tiga ulangan. Petak utama adalah perlakuan sterilisasi yaitu tak disterilisasi (S0) dan disterilisasi (S1). Anak petak adalah perlakuan pupuk kimia yaitu tanpa pupuk kimia (C0) dan perlakuan pupuk kimia (C1). Pupuk kimia diberikan tiga kali selama masa tanam, yaitu satu per tiga bagian pada saat tanam, satu per tiga bagian pada satu minggu setelah tanam dan satu per tiga bagian lagi pada tiga minggu setelah tanam. Anak-anak petak adalah inokulasi FMA (A) dan inokulasi rizobakteri (B). Faktor A terdiri dari empat taraf yaitu tanpa FMA (A0), *Gigaspora* sp. MDL40 (A1), *Glomus* sp. MDL38 (A2) dan A1 + A2 (A3). Faktor B terdiri dari empat taraf tanpa rizobakteri (B0), *Mycobacterium senegalense* LR73 (B1), *Bacillus firmus* JR80 (B2) dan B1 + B2 (B3).

Pengukuran peubah pertumbuhan tanaman

Peubah pertumbuhan tanaman yang diukur adalah tinggi tanaman yang diukur setiap dua minggu sekali, bobot akar dan bobot batang yang diukur setelah panen, yaitu pada 75 hari setelah tanam.

Pengukuran asimilasi karbon, konsentrasi CO₂ interseluler dan konduktansi stomata

Pengukuran asimilasi karbon, konsentrasi CO₂ interseluler dan konduktansi stomata dilakukan pada hari ke 75 setelah tanam, dimana tanaman sorgum manis baru mulai berbunga untuk menghindari translokasi karbon dari batang ke biji. Pengukuran dilakukan pada saat matahari cerah dengan intensitas sinar matahari dalam rumah kaca adalah 800 lux dengan kelembaban 24% dan suhu udara 34,5°C dengan menggunakan LI-6400XT *Portable Photosynthesis System* (LI-COR *Biosciences*, Lincoln, Nebraska, US). Suhu di dalam *chamber* adalah $27 \pm 1^\circ\text{C}$, konsentrasi CO₂ udara $400 \mu\text{L L}^{-1}$ dengan kecepatan alir $500 \mu\text{mol menit}^{-1}$. Selama pengukuran, intensitas cahaya secara konstan dipertahankan sebesar $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{detik}^{-1}$ dari sumber cahaya merah-biru (LI-COR 6400-02).

Penetapan kandungan klorofil daun

Pengukuran kandungan klorofil daun sorgum manis menggunakan alat *Chlorophyll Content Meter* CCM-200 (Ghasemi *et al.*, 2011).

Penetapan kandungan gula

Penetapan kandungan gula dalam batang sorgum manis dilakukan dengan metode Anthrone (Yemm & Willis 1954). Metode ini dapat diterapkan untuk berbagai jenis sampel. Anthrone (9,10-dihydro-9-oxanthracene) merupakan hasil reduksi anthraquinone. Prinsip dasar dari metode anthrone adalah senyawa anthrone akan bereaksi secara spesifik dengan karbohidrat dalam asam sulfat pekat menghasilkan warna biru kehijauan yang khas.

Penetapan kandungan hara daun

Penetapan hara dilakukan pada sampel daun ketiga dari pucuk. Hara yang ditetapkan dalam jaringan daun tanaman adalah hara N, P, K dan Mg melalui proses destruksi basah (Sulaeman *et al.*, 2005).

Penetapan derajat kolonisasi mikoriza

Derajat kolonisasi mikoriza dihitung dengan menggunakan metode *gridline intersection* (Giovannetti & Mosse 1980).

Analisis data

Data percobaan yaitu parameter-parameter yang berhubungan dengan pertukaran gas fotosintesis, kandungan klorofil, kandungan gula, kandungan hara N, P, K, Mg, tinggi tanaman, bobot batang serta derajat kolonisasi mikoriza dianalisis dengan Analisis Keragaman. Jika terdapat pengaruh yang nyata, maka dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan untuk mengetahui besarnya perbedaan rata-rata antar perlakuan. Semua pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SPSS 17.0 untuk *Window*.

Hasil dan Pembahasan

Pertumbuhan tanaman sorgum manis

Berdasarkan hasil sidik ragam diperoleh bahwa perlakuan FMA dan interaksi antara FMA dan rizobakteri menunjukkan pengaruh yang nyata dalam meningkatkan tinggi tanaman pada taraf $p < 0,01$ (Tabel 1). Sementara itu, yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap peubah bobot batang adalah perlakuan FMA saja, sedangkan yang menunjukkan pengaruh nyata terhadap peubah bobot akar adalah perlakuan interaksi antara FMA, rizobakteri dan pupuk kimia pada taraf $p < 0,01$.

Kandungan klorofil daun sorgum manis

Kandungan klorofil daun sorgum manis baik yang ditanam pada media tanam disterilisasi maupun tak disterilisasi berkisar antara 19,5-54,6. Hasil sidik ragam peubah kandungan klorofil menunjukkan bahwa perlakuan FMA saja dan pupuk kimia saja, serta kombinasi kedua faktor tersebut secara nyata berpengaruh dalam meningkatkan kandungan klorofil daun tanaman sorgum manis ($p < 0,01$) (Tabel 1).

Bila dilihat dari besarnya nilai rata-rata, terlihat adanya perbedaan, walaupun secara statistik tidak berbeda nyata. Menurut Auge (2004), simbiosis FMA dan perakaran tanaman seringkali berpengaruh terhadap ukuran tanaman inangnya dan ukuran tanaman berpengaruh terhadap keberadaan air dalam tanaman tersebut. Tanaman tingkat tinggi dengan sistem perakaran yang besar memiliki akses yang lebih tinggi dalam penyerapan air tanah. Bila tanaman bermikoriza dan tak bermikoriza memiliki ukuran yang sama, tanaman bermikoriza seringkali

Tabel 1. Rekapitulasi hasil sidik ragam peubah yang diamati pada tanaman sorgum manis yang diinokulasi fungi mikoriza arbuskular (FMA), rizobakteri dan pemberian pupuk kimia.

Table 1. Recapitulation of the variance observed variables on sweet sorghum plants inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), rhizobacteria and chemical fertilizers addition.

Peubah Variable	FMA AMF	Rizobakteri Rhizobacteria	Pupuk Kimia Chemical Fertilizer	Interaksi FMA & Rizobakteri Interaction of AMF and Rhizobacteria	Interaksi FMA & Pupuk Kimia Interaction of AMF and Chemical Fertilizer	Interaksi Rizobakteri & Pupuk Kimia Interaction of Rhizobacteria and Chemical Fertilizer	Interaksi FMA & Rizobakteri & Pupuk Kimia Interaction of AMF, Rhizobacteria and Chemical Fertilizer
Tinggi tanaman <i>Plant height</i>	**	tn	tn	**	tn	tn	tn
Bobot batang <i>Shoot weight</i>	**	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Bobot akar <i>Root weight</i>	tn	tn	tn	tn	tn	tn	**
Derajat Kolonisasi Mikoriza <i>Mycorrhizal colonization</i>	**	tn	*	tn	*	tn	*
Kandungan N <i>N content</i>	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Kandungan P <i>P content</i>	*	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Kandungan K <i>K content</i>	tn	tn	tn	**	tn	tn	tn
Kandungan Mg <i>Mg content</i>	tn	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Indeks kandungan klorofil <i>Chlorophyll content index</i>	**	tn	**	tn	**	tn	tn
Asimilasi karbon <i>Carbon assimilation</i>	*	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Konduktasi stomata <i>Stomatal conductance</i>	*	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Konsentrasi CO ₂ interseluler <i>Intercellular CO₂ concentration</i>	*	tn	tn	tn	tn	tn	tn
Kandungan gula total <i>Total sugar content</i>	**	tn	tn	**	**	tn	**

Keterangan : ** = sangat nyata (p<0,01); * = nyata (p<0,05); tn = tidak nyata

Notes : ** = very significantly different (p<0,01); * = significantly different (p<0,05); tn = no significantly different

menunjukkan aktivitas stomata dan transpirasi yang tinggi. Menurut Cechin (1998), tingginya kandungan klorofil tanaman dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman suhu dan kekeringan melalui peningkatan kinerja fotosistem II. Dengan kata lain, tanaman dengan kandungan klorofil lebih tinggi dapat tumbuh lebih baik pada kondisi suhu yang tinggi dibandingkan dengan tanaman-tanaman dengan kandungan klorofil yang lebih rendah. Sementara itu menurut Baker (2008), kandungan klorofil yang tinggi secara langsung dapat meningkatkan proses fotosintesis. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya pengaruh nyata terhadap peubah asimilasi karbon, konsentrasi CO₂

interselular dan konduktansi stomata pada perlakuan FMA (Tabel 1).

Derajat kolonisasi mikoriza

Berdasarkan hasil sidik ragam terhadap peubah derajat kolonisasi mikoriza diperoleh bahwa perlakuan FMA dan interaksi FMA dengan rizobakteri dan pupuk kimia menunjukkan hasil yang nyata pada taraf p<0,01 dan p<0,05 secara berturut-turut. Sementara itu perlakuan rizobakteri baik sendiri maupun interaksinya dengan FMA atau pupuk kimia tidak secara nyata berpengaruh dalam meningkatkan derajat kolonisasi mikoriza (Tabel 1).

Pada umumnya interaksi FMA dan rizobakteri dapat meningkatkan derajat kolonisasi mikoriza pada perakaran tanaman (Ruiz-Sanchez *et al.*, 2011) melalui peningkatan ketersediaan unsur P oleh rizobakteri, tetapi beberapa bakteri seperti *Paenibacillus polymyxa* B1-B4 dan *Paenibacillus brasilensis* PB177 tidak secara nyata dapat meningkatkan derajat kolonisasi mikoriza (Arthurson *et al.*, 2011). Demikian pula Probanza *et al.* (2001) menyatakan bahwa *Bacillus licheniformis* CECT5106 dan *Bacillus pumilus* CECT5105 tidak secara nyata dapat meningkatkan derajat kolonisasi perakaran tanaman Pinus. Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat dikatakan bahwa interaksi rizobakteri dan FMA tidak selalu sinergis dalam meningkatkan derajat kolonisasi mikoriza pada perakaran tanaman, khususnya tanaman sorgum manis.

Kandungan hara daun sorgum manis

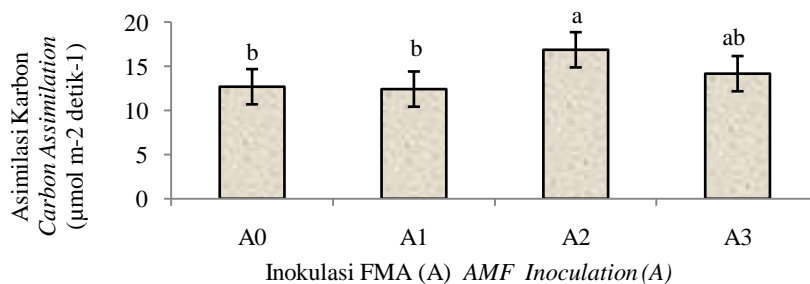
Perlakuan FMA saja secara nyata berpengaruh terhadap peningkatan kandungan P pada taraf $p < 0,05$, sedangkan interaksi FMA dengan rizobakteri secara nyata berpengaruh terhadap peningkatan kandungan K dalam daun tanaman sorgum manis pada taraf $p < 0,01$. Sementara itu, perlakuan rizobakteri saja, pupuk kimia saja maupun interaksinya satu sama lain tidak secara nyata berpengaruh dalam meningkatkan kandungan hara dalam daun.

Media tanah yang digunakan pada penelitian ini termasuk ke dalam kelompok tanah ultisol, dimana kandungan hara-hara di dalamnya cukup rendah dengan kandungan C total 0,92%, P total 18 mg per 100 g, N total 0,09%, K total 12 mg per 100 g, Mg 0,62 cmol kg⁻¹ serta pH tanah 3,9. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang membuktikan bahwa inokulasi FMA dapat meningkatkan ketersediaan unsur P bagi tanaman yang ditanam pada tanah ultisol (Yafizham & Abubakar 2010; Raju *et al.*, 1990). Sementara itu, kandungan nitrogen dan kalium daun tanaman

sorgum manis tidak secara nyata meningkat dengan inokulasi FMA, hal tersebut menunjukkan bahwa di tanah ultisol, FMA tidak secara nyata berpengaruh terhadap penyerapan hara N dan K yang berada dalam keadaan tidak tersedia untuk tanaman. Demikian pula penambahan pupuk kimia pada dosis normal tidak dapat meningkatkan pengambilan hara tanah. Hal tersebut dapat terjadi karena pupuk kimia yang ditambahkan sebagian tercuci oleh penyiraman, sehingga tidak dapat digunakan secara efisien oleh tanaman.

Peningkatan kandungan K oleh perlakuan FMA dan rizobakteri dapat disebabkan unsur kalium dapat tersedia untuk tanaman melalui pelarutan K terikat dalam mineral tanah oleh aktivitas rizobakteri. Terdapat kemungkinan bahwa rizobakteri yang digunakan mampu melarutkan K terikat menjadi tersedia. Selanjutnya keberadaan FMA dalam rizosfir tanaman sorgum manis dapat membantu meningkatkan penyerapan hara-hara dalam tanah terutama unsur K yang telah dalam keadaan tersedia dalam tanah.

Asimilasi karbon yang diukur pada daun tanaman sorgum manis berkisar rata-rata antara 9,31 – 19,03 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{detik}^{-1}$. Perlakuan inokulasi FMA saja secara nyata berpengaruh dalam meningkatkan asimilasi karbon dibanding dengan perlakuan inokulasi rizobakteri dan pemberian pupuk kimia maupun interaksinya (Tabel 1). Berdasarkan hasil uji Duncan, asimilasi karbon secara nyata dipengaruhi oleh penggunaan FMA *Gigaspora* sp. MDL40 (A1) dan *Glomus* sp. MDL38 (A2) serta gabungan *Gigaspora* sp. MDL40 + *Glomus* sp. MDL38 (A3). Asimilasi karbon meningkat dengan inokulasi *Gigaspora* sp. MDL40 ($p < 0,05$), *Glomus* sp. MDL38 ($p < 0,05$) dan *Gigaspora* sp. MDL40 + *Glomus* sp. MDL38 ($p < 0,05$) dibanding dengan kontrol (Gambar 1).



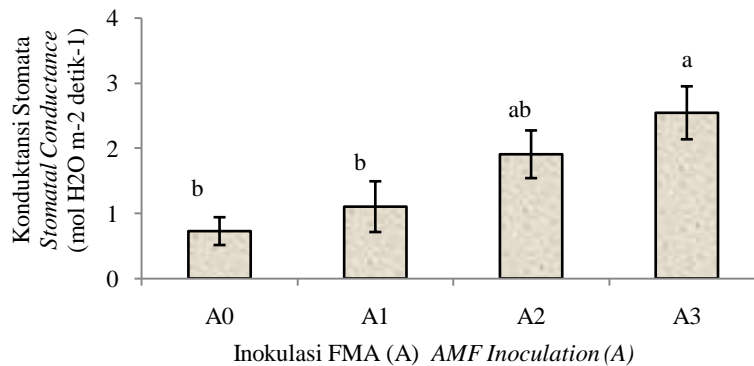
Gambar 1. Pengaruh inokulasi FMA (A0 = tanpa FMA, A1 = *Gigaspora* sp. MDL40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) terhadap peubah asimilasi karbon, yang diukur pada hari ke 75 setelah tanam. Huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%.

Figure 1. Effects of AMF inoculation (A0 = no AMF, A1 = *Gigaspora* sp. MDL 40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) on carbon assimilation measured at 75 days after planting. Different letters indicate significant difference with Duncan test at 5%.

Seperti halnya pada asimilasi karbon, nilai konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ interسلuler daun tanaman sorgum manis menunjukkan pengaruh nyata positif dengan perlakuan FMA saja dibandingkan terhadap kontrol pada taraf p<0,05. Sementara, perlakuan rizobakteri dan pupuk kimia baik sendiri maupun interaksinya tidak menunjukkan pengaruh nyata (Tabel 1). Nilai konduktansi stomata baik pada tanaman sorgum manis yang ditanam pada media tanam disterilisasi dan tidak disterilisasi berkisar antara 0,04 – 0,29 mol H₂O m⁻² detik⁻¹. Sementara itu, nilai konsentrasi CO₂ interسلuler berkisar antara 101 - 499 μmol mol⁻¹ udara. Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa nilai konduktansi stomata secara nyata dipengaruhi oleh penggunaan FMA gabungan *Gigaspora* sp. MDL40 + *Glomus* sp. MDL38 (p<0.05) dibandingkan terhadap kontrol (Gambar 2).

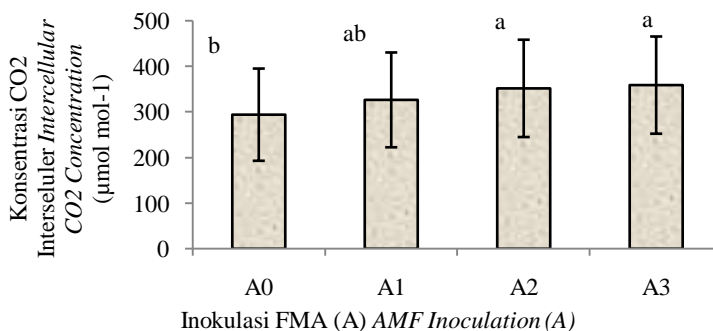
Hasil pengukuran asimilasi karbon, konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ interسلuler (Gambar 3) menunjukkan bahwa inokulasi FMA baik *Gigaspora* sp. MDL40, *Glomus* sp. MDL38 (A2) maupun gabungan *Gigaspora* sp. MDL40 +

Glomus sp. MDL38 berpengaruh secara nyata dalam meningkatkan ketiga parameter pertukaran gas fotosintesis tersebut. Salah satu sebabnya adalah bahwa simbiosis mikoriza arbuskular seringkali berpengaruh terhadap ukuran tanaman inangnya, dan ukuran tanaman berpengaruh terhadap keberadaan air dalam tanaman tersebut. Tanaman tingkat tinggi dengan sistem perakaran yang besar memiliki akses yang lebih tinggi dalam penyerapan air tanah. Bila tanaman bermikoriza dan tak bermikoriza memiliki ukuran yang sama, tanaman bermikoriza seringkali menunjukkan aktivitas stomata dan transpirasi yang tinggi (Auge, 2004). Tanaman-tanaman bermikoriza seringkali menunjukkan respon fisiologis, seperti kemampuan memelihara pembukaan stomata dan meningkatkan pengambilan karbon pada keadaan air tanah yang rendah. Untuk menstimulasi pembukaan stomata selama kekeringan, FMA mempengaruhi respon stomata ketika tanah rendah tekanan osmotiknya, hal ini menunjukkan sistem perakaran mikoriza arbuskula dapat mengontrol aktivitas dari air tanah secara efektif (Auge 2004; Auge et al., 2007).



Gambar 2. Pengaruh inokulasi FMA (A0 = tanpa FMA, A1 = *Gigaspora* sp. MDL40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) terhadap peubah konduktansi stomata, yang diukur pada hari ke 75 setelah tanam. Huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5%.

Figure 2. Effects of AMF inoculation (A0 = no AMF, A1 = *Gigaspora* sp. MDL 40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) on stomatal conductance measured at 75 days after planting. Different letters indicate significant difference with Duncan test at 5%.



Gambar 3. Pengaruh inokulasi FMA (A0 = tanpa FMA, A1 = *Gigaspora* sp. MDL40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) terhadap peubah konsentrasi CO₂ interسلuler yang diukur pada hari ke 75 setelah tanam. Huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata dengan uji Duncan pada taraf 5% .

Figure 3. Effects of AMF inoculation (A0 = no AMF, A1 = *Gigaspora* sp. MDL 40, A2 = *Glomus* sp. MDL38, A3 = A1 + A2) on intercellular CO₂ concentration measured at 75 days after planting. Different letters indicate significant difference with Duncan test at 5%

Disamping itu, simbiosis mikoriza arbuskula dapat memodifikasi hubungan hormonal tanaman inangnya. FMA yang menyelumuti jaringan akar bagian luar mempengaruhi organ-organ tanaman yang jauh dari perakaran seperti stomata daun dengan cara merubah aliran informasi hormonal dari akar ke batang dalam transpirasi (Nikolaou *et al.*, 2003). Peningkatan serapan air oleh simbiosis mikoriza dengan perakaran tanaman berhubungan dengan perubahan morfologi perakaran yang terinfeksi mikoriza, sehingga secara efektif meningkatkan akses akar ke reservoir air tanah (Marulanda *et al.*, 2003). Hal ini mendukung gagasan bahwa tanaman bermikoriza memiliki akses terhadap air pada saat air tersebut tidak tersedia untuk tanaman-tanaman tak bermikoriza (titik layu permanen) (Auge, 2004; Bahesti & Fard 2010; Jagtap *et al.* 1998). Inokulasi FMA baik sendiri maupun kombinasi dengan rizobakteri juga mampu meningkatkan stabilitas struktur tanah, aktivitas mikrobial di wilayah rizosfir serta aktivitas fotosintesis tanaman (Kohler *et al.*, 2009; Moseki & Dintwe 2010; Stepan *et al.*, 2013; Tingting *et al.*, 2010; Unlu & Steduto 2000; Lebon *et al.*, 2005).

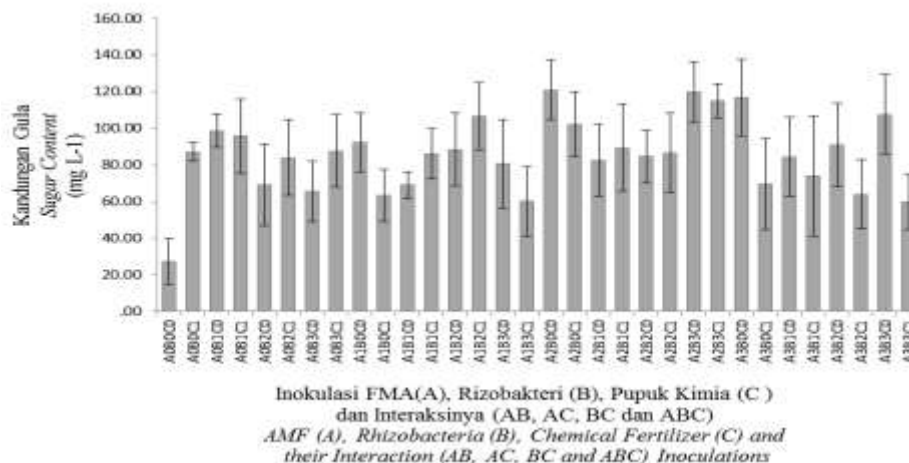
Peningkatan nilai konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ inter seluler selanjutnya akan secara langsung mempengaruhi laju asimilasi karbon dalam daun tanaman sorgum, karena ketersediaan molekul H₂O dan CO₂ sebagai bahan utama dalam proses fotosintesis mengalami peningkatan. Pengaruh FMA, selain mencegah kerusakan tanaman akibat kekeringan juga berkontribusi terhadap peningkatan penyerapan unsur hara fosfor dan nitrogen. Peningkatan asupan nitrogen bagi tanaman dapat menstimulasi pertumbuhan tanaman dan fotosintesis, hal tersebut berkorelasi dengan peningkatan akumulasi pusat reaksi fotosistem II, konduktansi stomata dan laju transpirasi. Sementara itu, pada saat tanaman kekeringan, laju asimilasi

karbon, konduktansi stomata dan laju transpirasi menjadi berkurang tetapi nilainya masih lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang kekurangan unsur nitrogen (Pankovic, 2000; Cechin, 1998). Suhu lingkungan yang cukup tinggi hingga 39 °C juga dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman sorgum. Pada tanaman bermikoriza, peningkatan temperatur dapat meningkatkan laju transpirasi sebagai respon dari tanaman untuk mencegah kerusakan organ akibat pemanasan (Yan *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2013).

Kandungan gula

Setelah penanaman selama 75 hari, tanaman sorgum manis sudah mulai menunjukkan akan berbunga, untuk itu pemanenan segera dilakukan untuk mencegah terjadinya transportasi dan pengubahan gula dalam batang sorgum menjadi karbohidrat bentuk lain dan disalurkan ke bagian lain jaringan tanaman terutama bagian buah. Berdasarkan hasil penetapan kandungan gula diperoleh bahwa inokulasi FMA baik sendiri maupun interaksinya dengan rizobakteri dan pupuk kimia secara nyata berpengaruh terhadap peningkatan kandungan gula batang sorgum manis. Kandungan gula berkisar antara 13,73-153 mg mL⁻¹. Peningkatan kandungan gula secara nyata disebabkan oleh perlakuan inokulasi FMA saja (p<0,01), interaksinya dengan rizobakteri (p<0,01), interaksinya dengan pupuk kimia (p<0,01) serta interaksi ketiga faktor tersebut (p<0,01). Hasil uji Duncan menunjukkan bahwa inokulasi FMA secara nyata dapat meningkatkan kandungan gula batang sorgum baik masing-masing maupun gabungan kedua genus FMA tersebut (*Gigaspora* sp. MDL40 + *Glomus* sp. MDL38) (p<0,05) (Gambar 4).

Hal tersebut dapat dipahami, sebagaimana yang telah diuraikan sebelumnya bahwa inokulasi FMA baik sendiri maupun interaksinya dengan rizobakteri dan pupuk kimia dapat meningkatkan



Gambar 4. Pengaruh inokulasi FMA, rizobakteri, pupuk kimia dan interaksinya terhadap peubah kandungan gula batang sorgum manis yang diukur setelah panen.

Figure 4. Effects of AMF inoculation on sugar content of sweet sorghum measured after harvesting.

asimilasi karbon, konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ inter seluler. Dengan demikian, semakin meningkat laju asimilasi karbon, maka laju pembentukan gula dalam batang sorgum manis juga semakin meningkat. Disamping itu, pengaruh FMA terhadap peningkatan pertumbuhan biomassa tanaman sorgum khususnya panjang dan diameter batang memberikan ruang yang lebih banyak bagi penyimpanan gula dalam batang sorgum.

Berdasarkan hasil, diketahui pula bahwa FMA dapat berinteraksi secara sinergis dengan faktor lain yaitu rizobakteri dan pupuk kimia dalam meningkatkan kandungan gula tanaman sorgum manis, sedangkan faktor tunggal rizobakteri atau pupuk kimia tidak secara nyata berpengaruh terhadap kandungan gula batang sorgum manis. Hal tersebut dapat terjadi karena struktur mikoriza dapat menjadi jembatan atau pintu masuk bagi rizobakteri untuk berinteraksi dengan tanaman sehingga dapat memberikan kontribusi pada peningkatan kandungan gula batang sorgum manis. Demikian pula, struktur mikoriza dapat membantu meningkatkan penyerapan hara dalam hal ini pupuk kimia yang diberikan pada media tanaman, sehingga juga mampu berkontribusi dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman sekaligus kandungan gula batang sorgum manis. Menurut Zegada & Monti (2013), kandungan gula yang tinggi pada batang tanaman sorgum manis dapat meningkatkan kontribusi dalam pencegahan kerusakan tanaman akibat foto-oksidatif dari fotosistem II dan pusat reaksi dari tanaman sorgum manis, sehingga tanaman yang tumbuh dengan baik dengan sendirinya memiliki kemampuan yang baik dalam mempertahankan diri dari cekaman lingkungan.

Hasil pengukuran kandungan gula sorgum manis berbeda dengan hasil yang ditunjukkan pada asimilasi karbon, konduktansi stomata dan konsentrasi CO₂ inter seluler, yaitu hanya faktor inokulasi FMA saja yang berpengaruh secara nyata terhadap peubah-peubah tersebut, sedangkan pengaruh faktor lain tidak nyata. Hal tersebut dapat terjadi, karena kandungan gula yang diukur pada saat panen merupakan akumulasi dari proses yang terjadi selama masa pertumbuhan yaitu selama 75 hari dengan berbagai kondisi lingkungan yang tidak selalu sama setiap harinya. Sementara itu, pengukuran laju asimilasi karbon mewakili proses yang terjadi pada saat dimana pengukuran dilakukan dengan kondisi lingkungan tertentu pada saat itu, sehingga hasilnya tidak sama persis dengan pengukuran kandungan gula, tetapi paling tidak inokulasi FMA maupun interaksinya dengan faktor lain mampu memberikan pengaruh nyata bagi pertumbuhan vegetatif tanaman, yang secara tidak langsung dapat meningkatkan proses asimilasi karbon, konduktansi stomata, konsentrasi CO₂ inter seluler yang terjadi pada daun tanaman sorgum manis dan kandungan gula batang sorgum manis.

Kesimpulan

Fungi mikoriza arbuskular (FMA) baik sendiri maupun interaksinya dengan rizobakteri dan pupuk kimia secara nyata dapat meningkatkan proses fotosintesis (pertukaran gas CO₂ dan kandungan klorofil), kandungan hara daun, pertumbuhan dan produktivitas (biomassa dan kandungan gula) sorgum manis. Dengan demikian, pemanfaatan FMA baik interaksinya dengan rizobakteri maupun penambahan pupuk kimia dapat dikembangkan untuk meningkatkan produksi gula batang sorgum manis.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan untuk Kementerian Riset dan Teknologi yang telah menyediakan Beasiswa bagi pelaksanaan Program Penelitian S3 saya di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.

Daftar Pustaka

- Agustin W, S Ilyas, SW Budi, I Anas & FC Suwarno (2010). Inokulasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) dan pemupukan P dalam meningkatkan hasil dan mutu benih cabai (*Capsicum annum* L.). *J Agron Ind* 38(3), 218-224.
- Augé RM (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Can J Soil Sci* 84, 373-381.
- Auge RM, HD Toler, JL Moore, K Cho & AM Saxton (2007). Comparing contributions of soil versus root colonization to variations in stomatal behavior and soil drying in mycorrhizal *Sorghum bicolor* and *Cucurbita pepo*. *J Plant Physiol* 164, 1289-1299.
- Arthurson V, K Hjort, D Muleta, L Jäderlund & U Granhall (2011). Effects on *Glomus mosseae* root colonization by *Paenibacillus polymyxa* and *Paenibacillus brasilensis* strains as related to soil P-availability in winter wheat. *Appl and Environ Soil Sci*, 1-9.
- Bahesti AR & BB Fard (2010). Dry matter accumulation and remobilization in grain sorghum genotype (*Sorghum bicolor* L. Moench) under drought stress. *Australian J Crop Sci* 4, 185-189.
- Baker NR (2008). Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo. *Ann Rev Plant Biol* 59, 89-113.
- Bhattacharyya P & D Jha (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World J Microbiol and Biotechnol* 28(4), 1327-1350.

- Bhromsiri C & A Bhromsiri (2010). Isolation, screening of growth-promoting activities and diversity of rhizobacteria from vetiver grass and rice plants. *Thai J Agricult Sci* 43(4), 217-230.
- Cechin I (1998). Photosynthesis and chlorophyll fluorescence in two hybrids of sorghum under different nitrogen and water regimes. *Photosynthetica* 35(2), 233-240.
- Craven D, D Dent, D Braden, M Ashton, G Berlyn & J Hall (2011). Seasonal variability of photosynthetic characteristics influences growth of eight tropical tree species at two sites with contrasting precipitation in Panama. *Forest Ecol Manag* 261(10), 1643-1653.
- El-Lattief EA (2011). Nitrogen management effect on the production of two sweet sorghum cultivars under arid region conditions. *Asian J Crop Sci* 3(2), 77-84.
- Funnell-Harris DL, JF Pedersen & SE Sattler (2010). Soil and root populations of fluorescent *Pseudomonas* spp. associated with seedlings and field-grown plants are affected by sorghum genotype. *Plant and soil*. 335(1-2), 439-455.
- Ghasemi M, K Arzani, A Yadollahi, S Ghasemi & SS Korrami (2011). Estimate of leaf chlorophyll and nitrogen content in Asian Pear (*Pyrus serotina* Rehd.) by CCM-200. *Not Sci Biol* 3(1), 91-94.
- Giovannetti M & B Mosse (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84, 489-500.
- Haryono (2013). Dukungan Badan dan Litbang Menuju Pertanian Bioindustri. In: *Prosiding Seminar Nasional Serealia*. Maros, 18 Juni 2013 p.1-10.
- Higgins SI & S Scheiter (2012). Atmospheric CO₂ forces abrupt vegetation shifts locally, but not globally. *Nature* 488(7410), 209-212.
- Jagtap V, S Bhargava, P Streb & J Feierabend (1998). Comparative effect of water, heat and light stress on photosynthetic reactions in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J Experiment Bot* 49, 1715-1721.
- Kohler J, F Caravaca & A Roldan (2009). Effect of drought on the stability of rhizosphere soil aggregates of *Lactuca sativa* grown in a degraded soil inoculated with PGPR and AM fungi. *Appl Soil Ecol* 42, 160-165.
- Lebon G, O Brun, C Magne & C Clement (2005). Photosynthesis of the grapevine (*Vitis vinifera*) fluoresces. *Tree Physiol* 25, 633-639.
- Marulanda A, R Azcon & JM Ruiz-Lozano (2003). Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. *Physiology Plant*. 119, 526-533.
- Moseki B & K Dintwe (2010). Effects of water stress on photosynthetic characteristics of two sorghum cultivars. *The African J Plant Sci and Biotechnol* 5, 89-91.
- Nikolaou NA, M Koukourikou, K Angelopoulos & N Karagiannidis (2003). Cytokinin content and water relations of 'Cabernet Sauvignon' grapevine exposed to drought stress. *J Hort Sci Biotechnol* 78, 113-118.
- Pinheiro, C., M. Chaves. 2011. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? *J Experiment Bot* 62(3), 869-882.
- Prasetyo B & D Suriadikarta (2006). Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *J Litbang Pertanian*. 25(2), 39-47.
- Probanza A, J Mateos, JL García, B Ramos, M De Felipe & FG Mañero (2001). Effects of inoculation with PGPR *Bacillus* and *Pisolithus tinctorius* on *Pinus pinea* L. growth, bacterial rhizosphere colonization, and mycorrhizal infection. *Microbial Ecol* 41(2), 140-148.
- Raju PS, RB Clark, JR Ellis, RR Duncan & L Jim (1990). Benefit and cost analysis and phosphorus efficiency of VA mycorrhizal fungi colonizations with sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes grown at varied phosphorus levels. *Plant and Soil* 124, 199-204.
- Ruiz-Sánchez M, E Armada, Y Muñoz, IE García De Salamone, R Aroca, JM Ruiz-Lozano & R Azcón (2011). *Azospirillum* and arbuscular mycorrhizal colonization enhance rice growth and physiological traits under well-watered and drought conditions. *J Plant Physiol* 168(10), 1031-1037.
- Smith NG & JS Dukes (2013). Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO₂. *Global Change Biol* 19(1), 45-63.
- Stepan M, N Munteanu, V Stoleru & M Mihasan (2013). Effects of inoculation with plant growth promoting rhizobacteria on photosynthesis, antioxidant status and yield of runner bean. *Romanian Biotechnol Letters* 8, 8132-8143.

- Sulaeman, Suparto & Eviati (2005). *Petunjuk Teknis : Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk*. Bogor, Balai Penelitian Tanah, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Agroinovasi. 2005, p. 44-47.
- Tingting X, S Peixi & S Lishan (2010). Photosynthetic characteristics and water use efficiency of sweet sorghum under different watering regimes. *Pak Jl Bot* 42, 3981-3994.
- Unlu M & P Steduto (2000). Comparison of photosynthetic water use efficiency of sweet sorghum at canopy and leaf scales. *Turkey J Agricult Forestry* 24, 519-525.
- Yafizham & M Abubakar (2010). Effect of bio-phosphate on increasing the phosphorus availability, the growth and the yield of Lowland Rice in Ultisol. *J Tanah Trop* 15(2).
- Yamori W, S Takahashi, A Makino, GD Price, MR Badger & S Von Caemmerer (2011). The roles of ATP synthase and the cytochrome b6/f complexes in limiting chloroplast electron transport and determining photosynthetic capacity. *Plant physiol* 155(2), 956-962.
- Yan K, P Chen, H Shao, L Zhang & G Xu (2011). Effects of short-term high temperature on photosynthesis and photosystem II performance in sorghum. *J Agr & Crop Sci* 197, 400-408.
- Yan K, P Chen, H Shao, C Shao, SI Zhao & M Brestic (2013). Dessection of photosynthetic electron transport process in sweet sorghum under heat stress. *J Pone* 8, 1 -6.
- Yemm EW & AJ Willis (1954). *The Estimation of Carbohydrates in Plant Extracts by Anthrone*. Bristol, Department of Botany, University of Bristol. 1954, p. 508-514.
- Zegada-Lizarazu W & A Monti (2013). Photosynthetic response of sweet sorghum to drought and re-watering at different growth stages. *Physiol Plant* 149, 56-66.