

PEMANFAATAN PUPUK HAYATI MIKORIZA UNTUK MENINGKATKAN TOLERANSI KEKERINGAN PADA TANAMAN NILAM

MAWARDI¹ dan MUHAMAD DJAZULI²

Fakultas Pertanian Universitas Syah Kuala¹
Kampus Unsyah Darussalam-Banda Aceh, Nangroe Aceh Darussalam
Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat²
Jl. Tentara Pelajar No. 3, Bogor - 16111

ABSTRAK

Tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) merupakan tanaman atsiri utama di Indonesia. Saat ini sekitar 90% minyak nilam dunia dihasilkan oleh Indonesia. Produktivitas dan mutu nilam sangat dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Salah satu faktor lingkungan abiotik yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi nilam adalah cekaman kekeringan. Sampai saat ini informasi mengenai toleransi nilam terhadap kekeringan masih sangat terbatas. Untuk itu, sebuah penelitian pemanfaatan pupuk hayati mikoriza untuk meningkatkan toleransi kekeringan pada tanaman nilam dilakukan pada kondisi rumah kaca di Balai Penelitian Bioteknologi dan Sumberdaya Genetika Pertanian pada bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2003. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dengan 3 ulangan. Faktor pertama 2 taraf aplikasi mikorisa masing-masing dengan dan tanpa mikoriza. Faktor kedua adalah 4 taraf cekaman kekeringan dengan tingkat pemberian air (KL) yang berbeda masing-masing (1) tanpa cekaman kekeringan (100% KL), (2) cekaman kekeringan rendah (75% KL), (3) cekaman kekeringan sedang (50% KL), dan (4) cekaman kekeringan tinggi (25% KL). Aplikasi mikoriza dilakukan 1 bulan setelah tanam (BST), sedangkan perlakuan cekaman kekeringan diberikan 2 BST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilam yang diberi mikoriza mempunyai pertumbuhan yang lebih baik. Kekeringan menekan pertumbuhan dan hasil tanaman nilam secara linier. Sebaliknya, cekaman kekeringan mampu meningkatkan kadar minyak dan patchouli alkohol daun nilam. Interaksi antara kedua faktor yang diuji terjadi pada parameter panjang akar total dan kadar prolina daun nilam. Keberadaan mikoriza di dalam akar mampu meningkatkan toleransi terhadap cekaman kekeringan. Kandungan patchouli alkohol daun tertinggi dijumpai pada kombinasi perlakuan aplikasi mikoriza dengan cekaman kekeringan tinggi (25% KL).

Kata kunci : Nilam, *Pogostemon cablin* Benth, mikoriza, cekaman kekeringan, pertumbuhan, produktivitas, Jawa Barat

ABSTRACT

Use of mycorrhiza bio-fertilizer in increasing drought tolerance of patchouli plant (Pogostemon cablin Benth)

Patchouli (*Pogostemon cablin* Benth) is a primary essential oil in Indonesia. More than 90 percent patchouli oil of the world is produced by Indonesia. Productivity and quality of patchouli oil are strongly affected by genetic and environmental factors. One of abiotic environment which has strongly effected growth and productivity of patchouli is drought stress. The information on the tolerance of patchouli to drought stress is limited. For that purpose, an experiment of the effect of mycorrhiza application and drought stress treatments was conducted at a glass house condition in Indonesian Agricultural Biotechnology and Genetic Resources Research Institute, from January to June 2003. A factorial experiment was arranged in a completely randomized design (CRD) with three replication. The first factor was 2 mycorrhiza treatments namely with and without mycorrhiza inoculation. The second factor were 4 drought stress treatments using

different water application level (FC), i.e. (1) without drought stress (100% FC), (2) lowly drought stress (75% FC), (3) moderately drought stress (50% FC), and (4) highly drought stress (25% FC). Mycorrhiza inoculation was applied 1 month after planting (MAP). While drought stress treatments were applied at 2 MAP. The results of observation showed that the inoculation of mycorrhiza improved growth performance. Drought stress reduced growth and production components linearly. On the contrary, the drought stress was able to increase oil and patchouli alcohol contents in the leaf. The interaction between the two factors treatment was found on total root length and leaf proline content. The existing of mycorrhiza in patchouli root was able to increase drought stress tolerance. The highest patchouli alcohol content of leaf was found at mycorrhiza application and highly drought stress (25% FC) combination treatment.

Key words: Patchouli, *Pogostemon cablin* Benth, mycorrhiza, drought stress, growth, productivity, West Java

PENDAHULUAN

Tanaman nilam (*Pogostemon cablin* Benth) merupakan tanaman atsiri utama di Indonesia. Minyak nilam banyak digunakan untuk berbagai industri antara lain kosmetika parfum, sabun, antiseptik dan juga insektisida. Sampai saat ini minyak nilam yang terdapat baik di dalam daun maupun batangnya belum bisa dihasilkan secara sintesis dan sampai saat ini sekitar 80-90% minyak nilam dunia dihasilkan oleh Indonesia. Adanya ketidak seimbangan antara besarnya pasokan dari Indonesia dan kebutuhan minyak nilam dunia menyebabkan terjadinya penurunan nilai ekspor yang cukup tajam dari dari US \$ 53 juta (BPS, 1998) menjadi US\$ 22,5 juta (BPS, 2002). Luasnya penanaman dan tingginya produksi nilam di seluruh Indonesia yang melampaui kebutuhan dunia mendorong tertekannya harga minyak di Indonesia. Oleh karenanya kehadiran suatu asosiasi petani dan pengusaha nilam yang tersebar di 11 propinsi di Indonesia sangat diperlukan.

Produktivitas nilam di Indonesia masih relatif rendah hanya mencapai sekitar 2 ton terna kering/ha (WAHID *et al.*, 1986) dan 97 kg minyak nilam/ha (DITJEN BP PERKEBUNAN, 2004). Kisaran produksi tersebut jauh di bawah potensi hasil nilam yang mampu mencapai 42 ton terna segar/ha (DHALIMI *et al.*, 1998).

Produktivitas dan mutu nilam sangat dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan. Salah satu faktor

lingkungan abiotik yang sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi nilam adalah cekaman kekeringan. Telah dilaporkan bahwa kelembaban optimal untuk pertumbuhan tanaman nilam adalah sekitar 70-90% (ROSMAN *et al.*, 1998).

Tanaman nilam mempunyai sifat perakaran yang dangkal sehingga kurang tahan terhadap cekaman kekeringan (NURYANI, 1998). Sampai saat ini informasi mengenai toleransi nilam terhadap kekeringan masih sangat terbatas.

Pengaruh cekaman kekeringan tidak saja menekan pertumbuhan dan hasil bahkan menjadi penyebab kematian pada tanaman. Pada saat terjadi kekeringan, sebagian stomata daun menutup sehingga terjadi hambatan masuknya CO₂ dan menurunkan aktivitas fotosintesis. Selain menghambat aktivitas fotosintesis, cekaman kekeringan juga menghambat sintesis protein dan dinding sel (SALISBURY dan ROSS, 1995).

Pada tanaman yang toleran terhadap cekaman kekeringan terjadi mekanisme mempertahankan turgor agar tetap di atas nol sehingga potensial air jaringan tetap rendah dibandingkan potensial air eksternal sehingga tidak terjadi plasmolisis (JONES and TURNER, 1980). Selanjutnya dinyatakan pula bahwa usaha mempertahankan potensial air tersebut, tanaman meningkatkan kadar senyawa osmotikum seperti prolina dan asam-asam organik yang berfungsi dalam proses penyesuaian osmotik.

Kandungan prolina pada tanaman yang toleran terlihat meningkat akumulasinya dibandingkan tanaman yang peka terhadap kekeringan (YOSHIDA *et al.*, 1997). Oleh karenanya, kadar prolina bisa digunakan sebagai salah satu indikator sifat ketahanan terhadap cekaman kekeringan.

Salah satu mekanisme ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan adalah dengan cara menghindari dari cekaman kekeringan dengan meningkatkan jangkauan akar ke dalam tanah lebih dari 2 m seperti ubijalar (ONWUEME, 1978) atau memperluas permukaan akar tanaman keuhutan secara simbiosis dengan mikoriza (SETIADI, 1989). Selanjutnya dilaporkan pula bahwa tanaman pepaya yang bersimbiosis dengan mikoriza memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap cekaman kekeringan yang ditandai dengan meningkatkan kadar pati dan kadar air dalam jaringan sehingga terhindar dari plasmolisis (CRUZ, 2000).

BAHAN DAN METODE

Sebuah percobaan pot dilakukan di Rumah Kaca Balitbiogen mulai bulan Januari sampai dengan bulan Juni 2003. Percobaan menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) yang disusun secara faktorial dengan 3 ulangan. Tanah yang digunakan adalah tanah masam Podzolik Merah Kuning (PMK) yang telah disterilkan. Status hara dan fisik tanah sebelum pemupukan dapat dilihat pada

Tabel 1. Secara umum terlihat kandungan hara pada tanah khususnya P tergolong rendah. Selanjutnya untuk meningkatkan pH tanah awal dari 4,3 menjadi optimal (5,5), maka tanah tersebut diberi kapur Ca CO₃ setara 1,42 ton/ ha dengan asumsi BD tanah 1 dan ketebalan lapisan olah 15 cm. Faktor pertama 2 taraf aplikasi mikoriza masing-masing dengan dan tanpa mikoriza. Faktor kedua adalah 4 taraf cekaman kekeringan dengan pemberian air (kapasitas lapang) yang berbeda, masing-masing (1) tanpa cekaman kekeringan dengan 100% kapasitas lapang (KL), (2) cekaman kekeringan rendah dengan 75% KL, (3) cekaman kekeringan sedang dengan 50% KL, dan (4) cekaman kekeringan tinggi dengan 25% KL. Aplikasi mikoriza dilakukan 1 bulan setelah tanam (BST), sedangkan perlakuan cekaman kekeringan diberikan 2 BST. Untuk mempertahankan kadar air tanah dari masing-masing perlakuan dilakukan pemberian air melalui pipa yang disalurkan ke dasar pot setiap hari pada pagi hari, dengan menimbang bobot basah tanah dan tanaman yang ada dalam pot. Koreksi terhadap pertambahan bobot tanaman dilakukan dengan menimbang bobot tanaman sesuai kombinasi perlakuan setiap 2 minggu sekali dengan menggunakan sampel tidak tetap yang disediakan khusus untuk koreksi bobot basah tanaman. Pengamatan dilakukan pada beberapa parameter antara lain derajat infeksi mikoriza, pertambahan tinggi, luas daun, cabang sekunder, panjang akar total, bobot kering tajuk, bobot kering akar, kadar prolina dan kadar patchouli alkohol daun. Panjang akar total diukur dengan menggunakan metode NEWMAN (1966). Semua pengamatan peubah dilakukan di laboratorium dan Kelti Ekofisiologi Balitro kecuali derajat infeksi mikoriza dan kadar patchouli alkohol. Pengamatan derajat infeksi mikoriza menggunakan teknik KOSKE dan GEMMA (1989) dan dilakukan di Lab. Mikrobiologi Famipa IPB, sedangkan analisis kadar patchouli alkohol dilakukan di Lab. Pemeriksaan Doping dan Kesehatan Masyarakat DKI Jakarta.

Pengamatan derajat infeksi mikoriza dilakukan dua kali masing-masing umur 6 minggu setelah cekaman kekeringan (MSK) dan umur 12 MSK, sedangkan pengamatan komponen pertumbuhan, hasil dan mutu minyak nilam dilakukan pada umur 12 MSK.

Tabel 1. Status hara dan fisik tanah sebelum diberi perlakuan pengapuran
Table 1. Nutrient and physical status of soil before lime application

Tekstur dan Jenis hara <i>Texture and Nutrient</i>	Nilai <i>Value</i>	Status <i>Status</i>
Tekstur : Pasir <i>Sand</i> (%)	4	Liat <i>Clay</i>
Debu <i>Dust</i> (%)	25	
Liat <i>Clay</i> (%)	71	
pH (H ₂ O)	4,3	Masam <i>Acid</i>
KTK (me/100g)	24,06	Sedang <i>Medium</i>
C (%)	0,88	Sangat rendah <i>Very low</i>
N (%)	0,09	Rendah <i>Low</i>
P-Bray 1 (ppm)	6,1	Sangat rendah <i>Very low</i>
K-dd (me/100g)	0,16	Rendah <i>Low</i>
Ca-dd (me/100g)	1,01	Sangat rendah <i>Very low</i>
Fe (ppm)	21,5	Tinggi <i>High</i>
Mn (ppm)	18,1	Tinggi <i>High</i>
Al (me/100g)	11,56	Tinggi <i>High</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari semua perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan terlihat bahwa secara umum derajat infeksi mikoriza meningkat tajam dengan perlakuan aplikasi mikoriza dan pada umur 12 MSK (Tabel 2). Dari Tabel tersebut terlihat bahwa cekaman kekeringan rendah dan sedang (75% dan 50% KL) meningkatkan derajat infeksi mikoriza, namun pada perlakuan cekaman kekeringan yang tinggi (25% KL) malah menurunkan derajat infeksi mikoriza. Derajat infeksi mikoriza tertinggi dijumpai pada kombinasi perlakuan dengan aplikasi mikoriza dan cekaman kekeringan 50% KL pada umur 12 MSK.

Menurut FAKUARA (1988), cendawan mikoriza tidak dapat berkembang pada habitat yang sangat basah. Selanjutnya dilaporkan pula bahwa kondisi tanah yang terlalu kering (25% KL) juga akan menghambat pertumbuhan cendawan mikoriza.

Selain pertambahan tinggi tanaman, semua komponen pertumbuhan tanaman nilam baik, luas daun, jumlah cabang sekunder dan panjang akar total nilam terlihat dipengaruhi oleh aplikasi mikoriza (Tabel 3). Akar tanaman yang bermikoriza membentuk jaringan hifa luar sebagai lanjutan dari hifa dalam (*intercellular hypha*). Hifa luar tersebut membantu memperluas daerah serapan air sekaligus hara khususnya P di dalam tanah. Selanjutnya TRISILIAWATI *et al.* (2001) melaporkan bahwa aplikasi mikoriza tunggal (*Glomus etunicatum*) dan mycofer (campuran *Glomus* sp, *Gigaspora* sp, dan *Acauluspora* sp) meningkatkan serapan P dan perkembangan akar jambu mete dengan nyata. Dilaporkan pula bahwa peningkatan panjang dan kedalaman akar berkorelasi positif dengan peningkatan ketahanan tanaman terhadap kekeringan (ONWUEME, 1978).

Sebaliknya perlakuan cekaman kekeringan akan menekan pertumbuhan tanaman nilam secara linier. Air merupakan unsur yang sangat penting bagi pertumbuhan

Tabel 2. Pengaruh kekeringan terhadap derajat infeksi mikoriza pada umur 6 dan 12 MSK

Table 2. Effect of drought stress on mycorrhiza infection levels at 6 and 12 WAD

Cekaman kekeringan (% KL) <i>Drought stress (% FC)</i>	Tanpa mikoriza <i>Without mycorrhiza</i>		Dengan mikoriza <i>With mycorrhiza</i>	
	6 MSK <i>6 WAD</i>	12 MSK <i>12 WAD</i>	6 MSK <i>6 WAD</i>	12 MSK <i>12 WAD</i>
Tanpa cekaman (100) <i>Without stress</i>	0,15	0,33	30,14	48,81
Rendah (75) <i>Low</i>	0,21	0,35	39,65	71,77
Sedang (50) <i>Medium</i>	0,009	0,17	45,46	73,36
Tinggi (25) <i>High</i>	0,004	0,13	29,33	45,71

tanaman, terutama dalam proses pembentukan protoplasma, senyawa pelarut, media reaksi metabolik, penghasil hidrogen, pada proses fotosintesis, pemelihara turgiditas sel, dan berperan penting dalam pemanjangan dan pembesaran sel (LEVITT, 1980).

Aplikasi mikoriza berpengaruh terhadap peningkatan bobot kering tajuk tanaman, namun tidak berpengaruh terhadap peubah bobot kering akar (Tabel 4). Seperti halnya pada komponen pertumbuhan, meningkatnya serapan air dan hara menyebabkan produksi biomas khususnya pada bagian atas tanaman (batang dan daun) juga ikut meningkat dengan pemberian cendawan mikoriza, namun tidak berbeda nyata pada biomas akar. Sebaliknya terbatasnya ketersediaan air mendorong produksi biomas baik bobot kering bagian atas tanaman (tajuk) maupun bagian bawah tanaman (akar) menurun secara linier sejalan dengan tingginya derajat perlakuan cekaman kekeringan yang diberikan. Tingkat ketersediaan air berpengaruh nyata terhadap pembesaran dan pembelahan sel (KRAMER, 1969).

Tabel 3. Pengaruh kekeringan dan aplikasi mikoriza terhadap komponen pertumbuhan nilam pada umur 12 MSK

Table 3. The effect of drought stress and mycorrhiza application levels on growth component at 12 WAD

Perlakuan <i>Treatment</i>	Pertambahan tinggi (cm) <i>Height (cm²)</i>	Luas daun (cm ²) <i>Leaf area (cm²)</i>	Cabang sekunder <i>Secondary branches</i>	Panjang akar total (m) <i>Total root length (m)</i>
Pemberian Mikoriza <i>Mycorrhizal application</i>				
1. Tanpa mikoriza <i>Without mycorrhiza</i>	47,4 a	3918 b	23,4 b	388 b
2. Dengan mikoriza <i>With mycorrhiza</i>	47,7 a	4636 a	32, a	446 a
Cekaman Kekeringan <i>Drought stress (% KL)</i>				
1. Tanpa cekaman (100) <i>Without stress</i>	52,0	5749	39,0	508
2. Rendah (75) <i>Low</i>	48,1	4785	30,9	474
3. Cekaman sedang (50) <i>Medium</i>	46,7	3965	27,3	425
4. Cekaman tinggi (25) <i>High</i>	43,4	2608	14,8	260
Uji polinomial ortogonal <i>Orthogonal polynomial test</i>	linier	linier	linier	linier

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji Tukey 5%

Note : The numbers followed by the same letters are not significantly different by Tukey test at 5% level

Tabel 4. Pengaruh kekeringan dan aplikasi mikoriza terhadap bobot kering tajuk dan akar tanaman nilam pada umur 12 MSK

Tabel 4. *The effect of drought stress and mycorrhiza application levels on dry weight of shoot and root at 12 WAD*

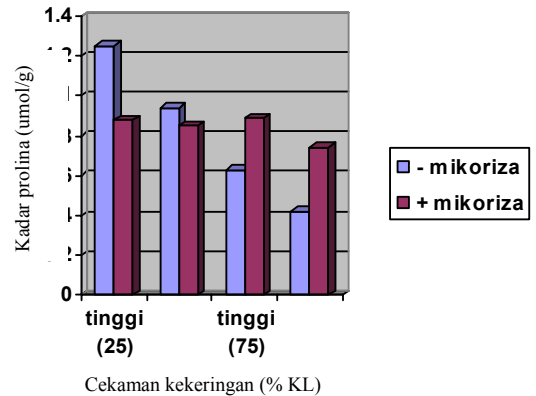
Perlakuan <i>Treatment</i>	Bobot kering tajuk (g/tan) <i>Shoot dry weight (g/pl)</i>	Bobot kering akar (g/tan) <i>Root dry weight (g/pl)</i>
Pemberian Mikoriza <i>Mycorrhiza application</i>		
1. Tanpa mikoriza <i>Without mycorrhiza</i>	30,0 b	3,58 a
2. Dengan mikoriza <i>With mycorrhiza</i>	35,8 a	3,89 a
Cekaman Kekeringan (% KL) <i>Drought stress</i>		
1. Tanpa cekaman (100) <i>Without stress</i>	42,5	4,74
2. Rendah (75) <i>Low</i>	38,2	4,12
3. Sedang (50) <i>Medium</i>	30,4	3,62
4. Tinggi (25) <i>High</i>	20,4	2,46

Keterangan : Angka yang diikuti dengan huruf yang sama tidak berbeda nyata pada uji Tukey 5%

Note : Numbers followed by the same letters are not significantly different by Tukey test at 5% level

Secara umum terlihat bahwa baik aplikasi cendawan mikoriza maupun cekaman kekeringan tidak konsisten pengaruhnya terhadap rendemen minyak di dalam daun nilam (Tabel 5). Dengan demikian terlihat bahwa rendemen minyak nilam lebih dipengaruhi oleh sifat genetik tanaman dibandingkan pengaruh lingkungan. Rendemen minyak nilam tertinggi dijumpai pada kombinasi perlakuan dengan aplikasi mikoriza pada derajat cekaman kekeringan sedang (50% KL).

Namun demikian tingkat peningkatan kadar prolina tanaman nilam pada perlakuan aplikasi mikoriza pada kondisi kekeringan jauh lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan tanpa mikoriza (Gambar 1). Salah satu usaha mempertahankan potensial air, tanaman meningkatkan kadar senyawa osmotikum seperti prolina dan asam-asam organik yang berfungsi dalam proses penyesuaian osmotik. (JONES dan TURNER, 1980). Dengan demikian, pemberian mikoriza mengurangi pengaruh cekaman kekeringan dengan meningkatkan kadar prolina di dalam daun,



sehingga

Gambar 1. Hubungan antara pemberian mikoriza dan taraf cekaman kekeringan terhadap kadar prolina daun nilam pada umur 6 MSK

Figure 1. *The relationship between mycorrhiza application and drought stress on proline content of leaves at 6 WAD*

mampu meningkatkan kemampuan tanaman beradaptasi terhadap cekaman kekeringan.

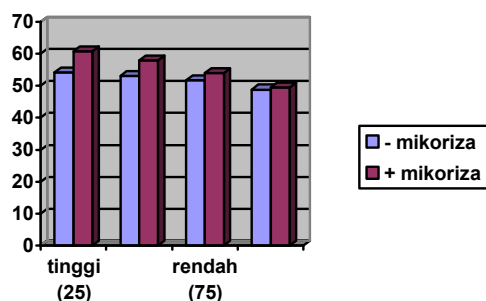
Selain mampu menaikkan produksi, aplikasi cendawan mikoriza tampak mampu meningkatkan kadar patchouli alkohol (PA) daun nilam (Gambar 2). Patchouli alkohol merupakan hasil metabolik sekunder kelompok terpenoid yang sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Hasil penelitian tersebut sejalan dengan hasil penelitian MAIER *et al.* (1997) yang menyatakan bahwa kehadiran cendawan mikoriza mampu meningkatkan metabolik sekunder sesquiterpenoid cyclohexenone.

Seperti halnya dengan rendemen minyak, adanya cekaman kekeringan cenderung meningkatkan kadar PA di dalam daun nilam. RAHARDJO *et al.* (1999) melaporkan bahwa adanya cekaman kekeringan meningkatkan kandungan asam asiaticosida, asiatic, dan medasat tanaman pegagan. Dari keseluruhan kombinasi perlakuan yang diberikan kadar PA nya cukup tinggi di atas persyaratan

Tabel 5. Pengaruh kekeringan dan aplikasi mikoriza terhadap rendemen minyak nilam pada umur 12 MSK

Tabel 5. *The effect of drought stress and mycorrhiza application levels on oil content of leaves at 12 WAD*

Perlakuan mikoriza <i>Mycorrhiza application</i>	Cekaman kekeringan (% KL) <i>Drought stress</i>				Rataan <i>Average</i>
	Tanpa cekaman <i>Without stress</i>	Rendah (75) <i>Low</i>	Sedang (50) <i>Medium</i>	Tinggi (25) <i>High</i>	
1. Tanpa mikoriza <i>Without mycorrhiza</i>	1,90	1,46	1,93	2,27	1,89
2. Dengan mikoriza <i>With mycorrhiza</i>	1,70	1,81	2,28	1,56	1,84
Rataan <i>Average</i>	1,80	1,63	2,10	1,92	



Cekaman kekeringan (% KL)
eksplor 3000.

Gambar 2. Pengaruh aplikasi mikoriza dan cekaman kekeringan terhadap kadar patchouli alkohol (PA) umur 12 MSK

Figure 2. The effect of mycorrhiza application and drought stress on patchouli alcohol (PA) content of leaves at 12 WAD

KESIMPULAN

Aplikasi mikoriza satu bulan setelah tanam (BST) mampu memperbaiki pertumbuhan tanaman nilam.

Cekaman kekeringan menekan komponen pertumbuhan dan produksi biomas secara linier, sebaliknya cekaman kekeringan yang rendah dan sedang mampu meningkatkan rendemen minyak dan kadar patchouli alkohol (PA) daun nilam.

Aplikasi mikoriza mengurangi pengaruh cekaman kekeringan dengan meningkatkan kadar prolina di dalam daun, sehingga mampu meningkatkan kemampuan tanaman beradaptasi terhadap adanya cekaman kekeringan.

Kadar patchouli alkohol tertinggi diperoleh pada perlakuan kombinasi aplikasi mikoriza dan cekaman kekeringan tinggi pada 25% KL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Sudirman Yahya, MSc. dan Dr. Ir. Sri Wilarso Budi R., MS atas bimbingan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. 1998. Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia. Jilid II. Ekspor 1998. Biro Pusat Statistik Jakarta. 1362p.
- BPS. 2002. Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia. Jilid II. Ekspor 2002. Biro Pusat Statistik Jakarta. 1535p.

- CRUZ, A.F., T. ISHI, and K. KADOYA. 2000. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on tree growth, leaf drought potential, and levels of l-aminocyclopropane-l-carboxylic acid on pepper plant independent of plant size and nutrient content. *J. Plant Physiol.* 139 : 289-223.
- DHALIMI, A., ANGGRAINI, dan HOBIR. 1998. Sejarah dan perkembangan budidaya nilam di Indonesia. *Dalam Monograf Nilam.* Balitro. Bogor. pp 1-9.
- DITJEN BP PERKEBUNAN, 2004. Nilam. Statistik Perkebunan Indonesia 2001-2003. Ditjen BP Perkebunan Jakarta. 22p.
- FAKUARA, Y. 1988. Mikoriza, Teori, dan Kegunaannya dalam Praktek. Pusat Antar Universitas (PAU) IPB. Bogor. 123p.
- JONES, M.M. and N.C. TURNER. 1980. Osmotic adjustment in expanding and fully expanded leaves of sunflower in response to drought deficit. *Proc. Indian. Nat. Sci. Acad.* 3(57):288-304.
- KOSKE, R.E. and J. N. GEMMA. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycol. Res.* 92(4):486-505.
- KRAMER, P.J. 1969. Plant and Soil Drought Relationships. Mac Graw Hill Book Company Inc. New York. 482p.
- MAIER, W.K., HAMMER, U. DAMMANN, B. SCHULZ, and D. STRACK. 1997. Accumulation of sesquiterpenoid cyclohexenone derivatives induced by an arbuscular mycorrhizal fungus in member of the Poaceae. *Planta.* 202:36-42.
- LEVITT, J. 1980. Responses of plants to environmental stresses: Drought, radiation, salt, and other stresses. Vol II. Academic Press. New York. 497p.
- NEWMAN E. I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *J. App. Ecol.* 3:139-145.
- NURYANI, Y. 1998. Karakterisasi. *Dalam Monograf Nilam.* Balitro. Bogor. pp.16-23
- ONWUEME, I.C. 1978. The Tropical Tuber Crops: Yams, Cassava, Sweet Potato, and Cocoyam. John Wiley 234p.
- RAHARDJO, M., SDM ROSITA, R. FATHAN, dan SUDIARTO. 1999. Pengaruh cekaman air terhadap mutu simplisia pegagan (*Centella asiatica* L.) *Jurnal Penelitian Tanaman Industri.* 5(3):92-97.
- ROSMAN, R., EMMYZAR, dan P. WAHID. 1998. Karakteristik lahan dan iklim untuk perwilayahan pengembangan. *Dalam Monograf Nilam.* Balitro. Bogor. pp.47-55.
- SALISBURY, F.B. and C.W. ROSS. 1995. Fisiologi Tumbuhan. Jilid Satu. Sel : Air, larutan dan permukaan. Penerbit ITB, Bandung. 241p.
- SETIADI, Y. 1989. Pemanfaatan Mikoriza Damar Kehutanan. PAU IPB. Bogor. 103p..
- TRISILAWATI, O, T. SUPRIATUN, dan I. INDRAWATI. 2001. Pengaruh mikoriza arbuskula dan pupuk fosfat terhadap pertumbuhan jambu mete pada tanah

- podzolik merah kuning. *Jurnal Biologi Indonesia*, III (2) : 91-98.
- WAHID, P., PM. PANDJI, L., E. MULYONO dan S. RUSLI. 1986. Masalah pembudidayaan tahapan nilam, serai wangi dan cengkeh. *Diskusi Minyak Atsiri V*. 3-4 Maret 1986. Bogor. 36p.
- YOSHIDA, Y., T. KIYOSUE, K. Y. SHINOZAKI, and K. SHINOZAKI. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under drought stress. *Plant Cell Physiology*. 38(10): 1095-1102.