

**AGROSAINSTEK****Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian**Website jurnal : <http://agrosainstek.ubb.ac.id>**Research Article****Pengaruh Inokulasi *Glomus etunicatum* terhadap Biokimia Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) yang Ditanam pada Cekaman Garam*****Effect of Glomus etunicatum Inoculation on The Biochemistry of Tomato (Solanum lycopersicum L.) Planted in Salt Stress*****Mohamad Agus Salim¹**¹ Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. A.H.Nasution No.105 Cibiru Bandung 40614

Received: March 27, 2021 /Received in revised : August 30, 2021/ Accepted: December 31, 2023

ABSTRACT

The presence of salt levels can cause an important abiotic stress today. Plants have a special strategy for dealing with salt stress. The purpose of this study was to determine the effect of the inoculation of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus etunicatum* on several biochemical parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) grown under high levels of salt stress conditions. This study used a randomized block design with a factorial pattern and five replications. The first factor was with and without inoculation of the fungus *G. etunicatum*. The second factor was several concentrations of NaCl (0, 50, 100 and 200 mM). Parameters observed were levels of phosphorus, root infection, concentrations of chlorophyll and carotenoids, activity of antioxidant enzymes (superoxide dismutase and catalase) and levels of malondialdehyde at the end of observation (day 45). The results showed that the increasing concentration of NaCl, decreased the levels of phosphorus, the concentration of chlorophyll and carotenoids as well increased the activity of superoxide dismutase, catalase and malondialdehyde levels. While the *G. etunicatum* inoculation treatment had the opposite effect from the NaCl treatment. Likewise, the parameters of root infection decreased in tomato plants inoculated with *G. etunicatum* with increasing NaCl concentration treatment. The conclusion of this study is that the presence of arbuscular mycorrhizal fungi can reduce the negative impact of salt stress on tomato plants.

Keywords: *antioxidant; mycorrhizae; peroxidation; salt stress; tomato***ABSTRAK**

Hadirnya kadar garam dapat menyebabkan cekaman abiotik yang penting saat ini. Tanaman memiliki strategi khusus dalam menghadapi cekaman garam. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh inokulasi jamur mikoriza arbuskula *Glomus etunicatum* terhadap beberapa parameter biokimia pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum* L.) yang ditanam pada kondisi cekaman garam kadar tinggi. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dengan pola faktorial dan lima ulangan. Faktor pertama tanpa dan inokulasi jamur *G. etunicatum*. Faktor kedua beberapa konsentrasi NaCl (0, 50, 100 dan 200 mM). Paramater yang diamati yaitu kadar fosfor, infeksi akar, konsentrasi klorofil dan karotenoid, aktivitas enzim antioksidan (superoksida dismutase dan katalase) serta kadar malondialdehid pada akhir pengamatan (hari ke-45). Hasilnya menunjukkan perlakuan konsentrasi NaCl yang meningkat semakin menurunkan kadar fosfor, konsentrasi klorofil dan karotenoid serta semakin meningkatkan aktivitas superoksida dismutase, katalase dan kadar malondialdehid. Sedangkan perlakuan inokulasi *G. etunicatum* berpengaruh sebaliknya dari perlakuan NaCl.

*Korespondensi Penulis.

E-mail : agus.salim@uinsgd.ac.idDOI: <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v7i2.272>

Begitupun parameter infeksi akar semakin menurun pada tanaman tomat yang dinokulasi G. etunicatum dengan meningkatnya perlakuan konsentrasasi NaCl. Kesimpulan dari penelitian ini yaitu kehadiran jamur mikoriza arbuskula mampu menurunkan dampak negatif dari cekaman garam pada tanaman tomat.

Kata kunci: antioksidan; cekaman garam; mikoriza; peroksidasi; tomat

1. Pendahuluan

Produksi pertanian akan terganggu bila diusahakan pada lahan dengan kondisi lingkungan berkadar garam tinggi (Rivero et al., 2018). Keberadaan lahan dengan kadar garam tinggi semakin diperburuk seiring bertambahnya populasi manusia dan pemanasan global (Patel & Saraf, 2013). Sebenarnya kemampuan tanaman untuk bertahan hidup pada kondisi kadar garam yang tinggi berhubungan dengan mekanisme mempertahankan homeostasis ion dan menjaga fungsi kloroplas (Li et al., 2020). Lebih khusus lagi kemampuan tanaman yang toleran terhadap kadar garam tinggi yaitu diproduksi enzim antioksidan yang mampu meredam radikal bebas (Latef & Chaoping, 2011).

Saat ini metode biologi memperoleh perhatian yang lebih besar dalam upaya mengurangi cekaman kadar garam tinggi yang dapat mempengaruhi produksi pertaniannya (Kavroulakis et al., 2020). Menurut Heydari & Pirzad (2020) bahwa lebih dari 90% tumbuhan yang hidup di atas permukaan bumi ini melakukan hubungan simbiosis dengan jamur baik secara keseluruhan (endofit) atau sebagian (mikoriza) yang berada di dalam sel atau jaringan tumbuhan. Dengan adanya simbiosis ini memungkinkan tumbuhan untuk beradaptasi dengan baik terhadap cekaman biotik maupun abiotik seperti kadar garam yang tinggi. Disamping itu hakekat simbiosis bermanfaat terhadap kelangsungan hidup tumbuhan itu sendiri maupun jamurnya dalam menghadapi kondisi habitat yang penuh dengan cekaman (Diao et al., 2021).

Glomus etunicatum termasuk jamur mikoriza dari ordo Glomales dan termasuk tipe mikoriza arbuskula. Pada tipe mikoriza ini tumbuhan mempertukarkan fotosintat dengan mineral dan air yang diambilkan oleh jamur mikoriza dari dalam tanah (Borde et al., 2017). Selanjutnya belum ada pembuktian yang jelas apakah kemampuan tumbuhan toleran terhadap kadar garam tinggi itu secara langsung oleh tumbuhan itu sendiri atau dimediasi oleh kehadiran jamur mikoriza. Dugaan sementara respons tumbuhan terhadap beberapa faktor lingkungan seperti kadar garam tinggi dipengaruhi oleh simbiosis jamurnya. Data yang diperoleh dari hasil penelitian Ait-El-Mokhtar et al. (2020) dijelaskan bahwa inokulasi jamur mikoriza arbuskula dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, penyerapan unsur hara dan menurunkan kehilangan panen pada kondisi tanah dengan kadar

garam yang tinggi. Selain itu adanya kemampuan mikoriza arbuskula dalam merusak reactive oxygen species (ROS), diduga sebagai mekanisme yang dapat meningkatkan efektivitas pertahanan dari tanaman inang (Abdelaziz et al., 2019). Namun mekanisme mikoriza arbuskula dalam meningkatkan resistensi tanaman inang terhadap cekaman kadar garam yang tinggi masih belum dipahami.

Pemahaman mengenai simbiosis antara jamur mikoriza dengan tanaman inangnya, memungkinkan akan diperoleh strategi dalam menghadapi gangguan faktor lingkungan abiotik termasuk cekaman kadar garam yang tinggi (Kong et al., 2020). Diyakini kehadiran simbiosis jamur dengan tumbuhan inang ini yang membentuk struktur mikoriza merupakan cara yang murah dan layak untuk mengurangi dampak pemanasan global terhadap tumbuhan dan komunitas tumbuhan. Saat ini dengan adanya pemanasan global, lahan yang terpengaruh kadar garam semakin bertambah luas sehingga perlu dengan segera memahami mekanisme tumbuhan untuk dapat toleran terhadap cekaman kadar garam tinggi ini dan akhirnya produktivitas pertanian tidak akan terganggu (Malhi et al., 2021).

Tanaman tomat merupakan tanaman hortikultura yang tumbuh di dataran menengah yang sensitif terhadap suhu tinggi (Sellitto et al., 2019). Tanaman sayuran ini termasuk sayuran buah yang sangat penting di Indonesia dan di belahan dunia lainnya. Fungsi kehadiran mikoriza pada mekanisme kemampuan toleransi tanaman tomat terhadap cekaman kadar garam tinggi masih belum dipahami secara baik (Gómez-Bellot et al., 2021). Hipotesis dari penelitian ini yaitu *Glomus etunicatum* dapat meningkatkan toleransi dari tanaman tomat yang ditanam pada media dengan kadar garam tinggi. Sedangkan pengaruh mikoriza terhadap aktivitas enzim antioksidan dan peroksidasi lipida selama mendapat cekaman garam masih belum dipahami. Artikel ini memaparkan parameter yang menunjukkan adanya toleransi kadar garam tinggi dari tanaman tomat yang diinokulasi mikoriza *Glomus etunicatum* seperti kadar fosfor, aktivitas enzim antioksidannya, pigmen fotosintesis dan peroksidasi lipida.

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan Tanaman dan Perlakuan cekaman

Pada penelitian ini digunakan biji tanaman tomat yang dibeli dari toko pertanian di kecamatan Tanjungsari, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Sedangkan biakan mikoriza *Glomus etunicatum* merupakan perbanyakan di Kebun Terpadu Saintek UIN Bandung. Inokulum *G. etunicatum* 100 gram (berisi 1000 spora) diaplikasikan sedalam 3 cm pada polybag 5 kg yang telah berisi medium zeolite steril. Semai tanaman tomat berumur 7 hari ditanam pada media zeolite yang sudah diinokulasi mikoriza. Sebagai kontrol disiapkan tanaman tomat yang tidak diinokulasi mikoriza. Perlakuan kadar garam dengan konsentrasi (0, 50, 100, 200 mM) larutan NaCl. Seluruh tanaman tomat disiram setiap dua hari sekali dengan aqua-DM dan larutan nutrisi setengah konsentrasi formula Hoagland setiap tujuh hari sekali. Rancangan percobaannya menggunakan rancangan acak kelompok dengan pola faktorial. Faktor pertama inokulasi dan tanpa inokulasi jamur mikoriza arbuskula. Faktor kedua yaitu perlakuan beberapa konsentrasi NaCl. Penelitian ini dilaksanakan di rumah kaca, Kebun Terpadu Saintek UIN Bandung. Percobaan dilaksanakan selama 45 hari pengamatan, dengan faktor lingkungan suhu 27/21 °C (siang/malam), kelembaban relatif 70% dan intensitas cahaya 6500 Lux.

2.2. Infeksi Akar

Sampel akar dari tanaman tomat yang berumur 45 hari (akhir percobaan) dibersihkan dalam air yang mengalir untuk menghilangkan medium yang digunakan selama penelitian. Selanjutnya akar tersebut dapat disimpan pada larutan KOH 5%, sedangkan untuk pengamatan akar direndam menggunakan trypan blue selama 6 jam. Penghitungan infeksi akar oleh jamur mikoriza menggunakan metode grid-line intersection yang diamati di bawah mikroskop bedah (Parvin et al., 2020). Persentase akar yang terinfeksi dihitung dengan rumus :

$$\% \text{ infeksi} = 100 \times (\text{jumlah akar bermikoriza} / \text{total akar yang diamati})$$

2.3. Pengukuran Kadar Fosfor

Daun ketiga dari pucuk tanaman tomat yang berumur 45 hari dikeringkan pada suhu 70 °C selama 48 jam. Setelah kering, dilanjutkan dengan pengabuan pada tanur dengan suhu 550 °C selama 24 jam. Selanjutnya konsentrasi fosfor diukur

menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 882 nm (Qiu et al., 2020).

2.4. Pengukuran Kadar Klorofil

Sampel daun tanaman tomat nomor tiga dari pucuk ditimbang sebanyak 1 g untuk dimaserasi dan diekstraksi dengan 10 ml aseton 80%. Selanjutnya supernatan disaring dengan kertas saring Whatman no.1 dan filtratnya diisi hingga 50 ml dalam tabung ukur dengan menambahkan pelarut. Larutan siap diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 440,5, 646 dan 663 nm. Untuk mendapatkan konsentrasi klorofil dan karotenoid, data yang diperoleh dimasukkan ke dalam rumus berikut:

$$\text{Klo a} = 12,21 \times A_{663} - 2,81 \times A_{646}$$

$$\text{Klo b} = 20,13 \times A_{646} - 5,03 \times A_{663}$$

$$\text{Kar} = 4,69 \times A_{440,5} - 0,268 \times (\text{Klo a} + \text{Klo b})$$

Konsentrasi klorofil dinyatakan dalam satuan mg/g berat segar dan konsentrasi karotenoid dinyatakan dalam satuan µg/g berat segar (Kazemi et al., 2019).

2.5. Pengukuran Aktivitas Superoksida Dismutase

Enzim Superoksida dismutase ini diukur berdasarkan cara yang sudah dijelaskan oleh Santander et al. (2020). Sampel enzim dicampurkan dengan 1 mL Methionine 100 mM, 0,8 ml buffer fosfat 250 mM, 0,1 mL EDTA 5 mM, 0,1 mL NBT 750 mM, 0,5 mL Riboflavin 100 mM. Selanjutnya campuran digenapkan dengan aquadest sampai volumenya 3 mL. Pengukuran absorbansinya pada spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 560 nm. Aktivitas enzim ini dinyatakan dalam satuan mmol/menit/mg protein.

2.6. Pengukuran Aktivitas Katalase

Enzim katalase diukur menggunakan cara yang telah dijelaskan oleh Wang et al. (2020). Selanjutnya sampel enzim yang sudah siap di campur dengan 2,9 hidrogen peroksida 30%. Campuran yang sudah siap diukur absorbansinya pada panjang gelombang 240 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Kadar enzim ini menunjukkan aktivitasnya yang dinyatakan dalam mmol/menit/mg protein.

2.7. Pengukuran Malondialdehid

Peroksidasi lipida diukur dari terbentuknya malondialdehid menggunakan metode asam tiobarbiturat yang telah dijelaskan oleh Kabir et al. (2020). Sampel daun ke tiga dari pucuk sebanyak 0,2 g dihomogenkan dengan menambahkan 1 mL

larutan asam trikloro asetat 5%. Selanjutnya homogenat disentrifugasi dengan kecepatan 12.000 rpm selama 12 menit pada temperatur ruang. Supernatan diukur pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 532 nm.

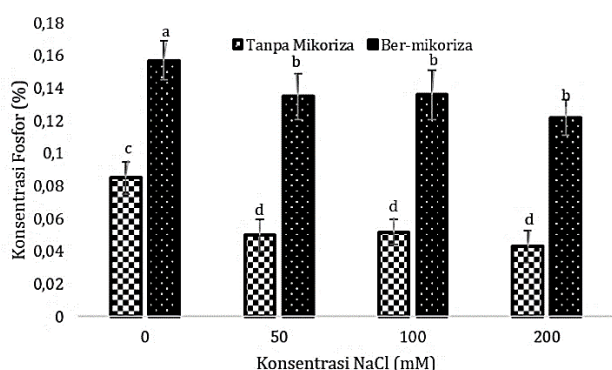
2.8. Analisis Statistik

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan ANAVA (analisis variansi) satu arah. Bila terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$) di antara perlakuan, maka dilakukan uji lanjut menggunakan Uji jarak berganda Duncan. Data dikelola dengan software SPSS versi 20.

3. Hasil

3.1. Konsentrasi Fosfor

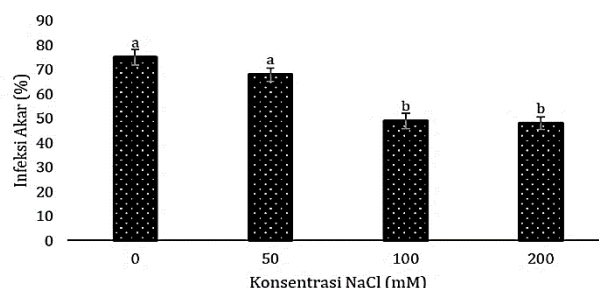
Tanaman tomat yang diinokulasi dengan jamur mikoriza *G. etunicatum* memiliki konsentrasi fosfor yang lebih tinggi dari pada tanaman tomat yang tidak bermikoriza ($P < 0,05$). Perlakuan kadar garam menurunkan kandungan fosfor dari daun tanaman tomat baik yang bermikoriza maupun tanpa mikoriza (Gambar 1).



Gambar 1. Konsentrasi fosfor pada daun tanaman tomat yang ditumbuhkan pada beberapa kadar garam di akhir pengamatan (hari ke-45).

3.2. Infeksi Akar

Tanaman tomat yang tidak diinokulasi *G. etunicatum* tidak menunjukkan adanya infeksi akar. Infeksi akar terlihat pada tanaman yang diinokulasi *G. etunicatum* yang menurun persentasi infeksi akarnya sejalan dengan meningkatnya perlakuan kadar garam yang diberikan. Persentase infeksi akar tanaman tomat pada perlakuan konsentrasi NaCl 50 mM tidak berbeda nyata dengan kontrol ($p > 0,05$) (Gambar 2).



Gambar 2. Kolonisasi mikoriza pada akar tanaman tomat pada beberapa kadar garam di akhir pengamatan (hari ke 45).

3.3. Kadar Klorofil & Karotenoid

Kadar klorofil daun tanaman tomat yang diinokulasi jamur *G. etunicatum* lebih tinggi dari pada tanaman tomat yang tidak bermikoriza (Tabel 1). Kadar klorofil menurun sejalan dengan meningkatnya perlakuan kadar garam baik pada tanaman tomat yang diinokulasi jamur *G. etunicatum* maupun yang tidak bermikoriza. Tanaman yang bermikoriza dan tidak mendapat perlakuan kadar garam memiliki kadar klorofil paling tinggi yaitu 4,70 mg.g⁻¹. Sedangkan Kadar karotenoid pada tanaman tomat yang diinokulasi *G. etunicatum* lebih tinggi dari tanaman tomat yang tidak bermikoriza. Perlakuan kadar garam telah menurunkan kadar karotenoid daun tanaman tomat. Tanaman tomat yang bermikoriza dan mendapat perlakuan kadar garam 50 mM dan 0 mM (kontrol) memiliki kadar karotenoid tertinggi yaitu masing-masing 8,27 dan 8,35 µg.g⁻¹ berat segar. (Tabel 1).

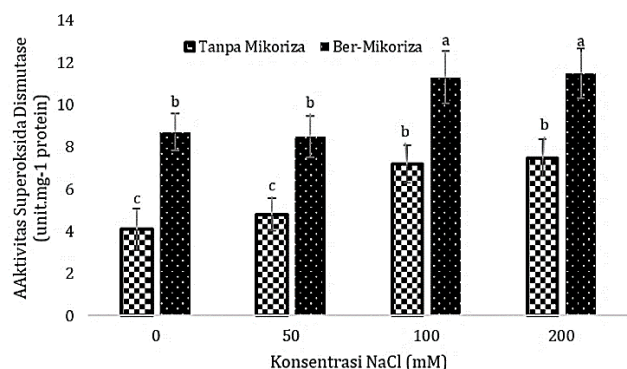
Tabel 1. Kadar klorofil dan karotenoid total pada daun tanaman tomat di akhir pengamatan (hari ke 45).

Perlakuan	Garam (mM NaCl)	Klorofil Total (mg.g ⁻¹ berat segar)	Karotenoid Total (µg.g ⁻¹ berat segar)
Tanpa Mikoriza	0	3,75(c)	7,52(c)
	50	3,69(c)	7,48(c)
	100	3,42(d)	7,27(d)
	200	3,38(d)	7,23(d)
Bermikoriza	0	4,70 (a)	8,35(a)
	50	4,56(b)	8,27(a)
	100	4,49(b)	8,10(b)
	200	4,41(b)	8,05(b)

Keterangan: huruf yang berbeda pada satu kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$)

3.4. Aktivitas Superoksida Dismutase

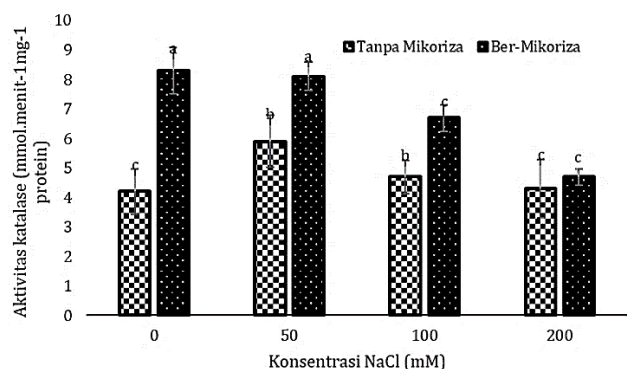
Aktivitas enzim antioksidan superoksida dismutase pada tanaman tomat yang bermikoriza lebih tinggi dari pada tanaman tomat tanpa mikoriza. Aktivitas superoksida dismutase mencapai puncaknya pada tanaman tomat yang bermikoriza dengan perlakuan NaCl 100 dan 200 mM. Aktivitas superoksida dismutase di antara tanaman tomat tanpa mikoriza yang mendapatkan perlakuan konsentrasi NaCl 50 mM sama dengan tanaman tidak mendapat perlakuan NaCl (kontrol) (Gambar 3).



Gambar 3. Aktivitas superoksida dismutase daun tanaman tomat yang ditumbuhkan pada beberapa kadar garam di akhir pengamatan (hari ke-45).

3.5. Aktivitas Katalase

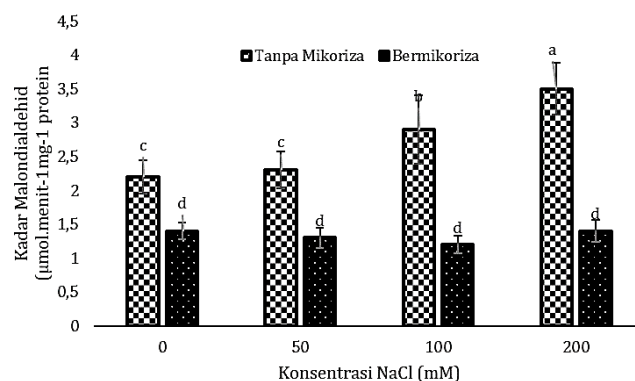
Aktivitas enzim katalase pada tanaman tomat yang bermikoriza lebih tinggi dari pada tanaman tomat tanpa mikoriza. Peningkatan perlakuan NaCl menghasilkan aktivitas katalase yang menurun. Aktivitas katalase puncaknya dicapai pada tanaman tomat yang bermikoriza dan mendapat perlakuan NaCl 50 mM dan kontrol (tanpa perlakuan NaCl) (Gambar 4).



Gambar 4. Aktivitas katalase daun tanaman tomat tanpa mikoriza dan bermikoriza yang ditumbuhkan pada beberapa konsentrasi NaCl di akhir pengamatan (hari ke-45).

3.6. Kadar Malondialdehid

Kadar malondialdehid pada tanaman tomat yang bermikoriza lebih rendah dari tanaman tomat yang tidak bermikoriza (Gambar 5). Kadar malondialdehid tertinggi dicapai pada tanaman tomat tidak bermikoriza dan mendapat perlakuan NaCl 200 mM (Gambar 5).



Gambar 5. Kadar malondialdehid daun tanaman tomat yang ditumbuhkan pada beberapa kadar garam di akhir pengamatan (hari ke-45).

4. Pembahasan

Kehadiran jamur mikoriza pada akar tanaman akan membantu tanaman tersebut mendapatkan unsur hara fosfor yang lebih banyak (Diagne et al., 2020). Zeolith yang digunakan pada penelitian ini sangat sedikit bahkan tidak mengandung unsur hara fosfor. Meskipun demikian kandungan unsur hara P di dalam medium tersebut cukup tersedia karena larutan Hoagland menyediakan nutrisi yang cukup termasuk unsur hara fosfor bagi pertumbuhan tanaman tomat. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Wang et al. (2021) bahwa P tersedia di dalam tanah dengan cekaman garam menjadi faktor penting yang menentukan efektivitas mikoriza arbuskula.

Akar dari tanaman tomat normalnya mampu bersimbiosis dengan jamur mikoriza arbuskula (Heidarianpour et al., 2020). Ebrahim et al. (2017) menyebutkan bahwa kemampuan infeksi jamur mikoriza dapat dipengaruhi oleh cekaman lingkungan seperti temperatur. Sejalan dengan penelitian ini bahwa perlakuan kadar garam dapat menurunkan kemampuan kolonisasi *G. etunicatum*. Laporan penelitian Garg & Bhandari (2016) menyebutkan bahwa perkecambahan spora jamur mikoriza arbuskula yang dilanjutkan dengan terbentuknya hifa akan menurun bersamaan dengan meningkatnya kadar garam di lingkungan sekitarnya.

Pengaruh menguntungkan dari hadirnya mikoriza pada akar tanaman adalah meningkatnya kandungan klorofil dan aktivitas fotosintesis yang tinggi pula (Hashem et al., 2015). Khalloufi et al. (2017) melaporkan inokulasi *Glomus* sp mampu meningkatkan konsentrasi klorofil tanaman tomat. Sejalan dengan penelitian ini tanaman tomat yang bermikoriza memiliki kandungan klorofil yang tinggi bila dibandingkan dengan tanaman tomat yang tidak bermikoriza. Penghambatan reaksi fotosintesis hanya akan terjadi pada kondisi kadar garam yang tinggi karena terjadi penghambatan difusi zat zat kimia penyokong fotosintesis di stomata dan sel mesofil daun (Ruiz-Lozano et al., 2012). Begitupun kondisi kadar garam tinggi di lahan budidaya berkorelasi dengan akumulasi mineral di dalam tanah akibatnya potensial air menjadi rendah. Selanjutnya absorpsi air yang membawa mineral akan terhambat untuk masuk ke dalam akar tanaman dan berakibat kurangnya pasokan air ke jaringan mesofil daun. Lebih lanjut kondisi demikian akan mempengaruhi menutup dan membukanya stomata yang mempengaruhi proses fotosintesis tanaman (Talaat and Shawky, 2014). Pada penelitian ini terlihat perlakuan kadar garam yang tinggi dapat menurunkan kandungan klorofil tanaman tomat. Laporan penelitian Aroca et al. (2013) menyebutkan bahwa kadar klorofil dan karotenoid daun tanaman selada meningkat secara nyata pada cekaman kadar garam tinggi setelah diinokulasi dengan *G. mossae*.

Pada penelitian Estrada et al. (2013) melaporkan bahwa aplikasi jamur mikoriza arbuskula dapat meningkatkan sistem antioksidan. Kang et al. (2014) menemukan adanya korelasi antara cekaman lingkungan dengan aktivitas antioksidan seperti superoksida dismutase pada tanaman mentimun. Sedangkan hasil penelitian ini, menunjukkan adanya korelasi antara inokulasi jamur *G. etunicatum* dengan cekaman garam dan sistem antioksidan. Bagaimanapun sistem antioksidan tanaman tomat berubah yang tergantung pada perlakuan cekaman garam. Menurut Porcel et al. (2016) aktivitas antioksidan seperti superoksida dismutase yang meningkat berperan penting dalam meredam radikal bebas.

Adanya aktivitas katalase terjadi di awal simbiosis mikoriza *G. mosseae* dengan akar tanaman asparagus (Zhang et al., 2021). Tanaman kedelai yang diinokulasi *G. intraradices* pada kondisi media tanamnya cukup air atau kekeringan akan menunjukkan aktivitas katalase yang tinggi. Selanjutnya Oztekin et al. (2013) menyebutkan bahwa secara bertahap peningkatan cekaman garam akan mengurangi aktivitas katalase. Dari hasil penelitian ini ditunjukkan bahwa aktivitas katalase tanaman tomat yang bermikoriza lebih

tinggi dari pada tanaman tomat yang tidak bermikoriza. Menurut Haque and Matsubara (2018) respons senyawa antioksidan dari kelompok enzim akan beragam yang tergantung pada mikoriza, spesies tanaman dan kondisi cekaman. Pada prinsipnya berdasarkan data yang diperoleh, respons tanaman tomat dapat beragam terhadap kehadiran jamur mikoriza *G. etunicatum* dan kondisi cekaman garam.

Malondialdehid merupakan senyawa yang dihasilkan pada reaksi peroksidasi lipida (Hameed et al., 2014). Sehingga kehadirannya menunjukkan seberapa besar reaksi oksidasi yang merusak lipida yang terdapat pada jaringan tumbuhan seperti tanaman tomat. Penelitian Hassena et al. (2021), melaporkan bahwa tanaman bermikoriza memiliki kadar malondialdehid yang lebih rendah dibandingkan tanaman yang tidak bermikoriza. Keberadaan mikoriza akan mampu menurunkan kerusakan oksidatif terhadap lipida selama kondisi cekaman lingkungan seperti kadar garam tinggi. Hal tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, bahwa kadar malondialdehid rendah karena ada mikoriza pada tanaman tomat yang mengalami cekaman kadar garam tinggi. Pengaplikasian mikoriza pada tanaman tomat, bukan hanya pada tahap aklimatisasi saja namun dilanjutkan selama tanaman tomat tumbuh sampai menjelang panen (Kumar et al., 2015). Dengan demikian, pengaplikasian mikoriza dapat dijadikan strategi untuk mengurangi efek merusak dari kondisi lahan dengan cekaman kadar garam tinggi. Kombinasi yang tepat antara spesies jamur mikoriza arbuskula dengan tanaman inangnya akan mampu mengatasi pengaruh cekaman kadar garam tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh pada penelitian ini maka disimpulkan bahwa inokulasi *G. etunicatum* dapat menjadi strategi yang efektif dalam membudidayakan tanaman tomat pada kondisi lahan dengan cekaman kadar garam yang tinggi.

5. Kesimpulan

Dengan perlakuan kadar garam yang meningkat akan semakin menurunkan kandungan fosfor, infeksi akar, konsentrasi klorofil dan karotenoid, aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase dan katalase pada tanaman tomat. Namun demikian perlakuan kadar garam ini juga dapat meningkatkan kandungan malondialdehid tanaman tomat. Sedangkan perlakuan inokulasi *G. etunicatum* berpengaruh sebaliknya dari perlakuan kadar garam. Pengaruh inokulasi *G. etunicatum* pada tanaman tomat terdeteksi menurun sejalan dengan peningkatan perlakuan konsentrasi NaCl. Dengan demikian perlakuan inokulasi *G.*

etunicatum berdampak positif terhadap kandungan senyawa biokimia pada tanaman tomat yang ditanam pada medium dengan kondisi cekaman garam.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung atas bantuan fasilitas Laboratorium saat melaksanakan penelitian ini.

7. Pernyataan Konflik Kepentingan (*Declaration of Conflicting Interests*)

Penulis menyatakan tidak ada potensi konflik kepentingan sehubungan dengan penelitian, kepengarangan, dan/atau publikasi dari artikel ini (*The authors have declared no potential conflicts of interest concerning the study, authorship, and/or publication of this article*).

8. Daftar Pustaka

- Ait-El-Mokhtar M, Baslam M, Ben-Laouane R, Anli M, Boutasknit A, & Meddich A. 2020. Alleviation of Detrimental Effects of Salt Stress on Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) by The Application of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and/or Compost. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 131.
- Abdelaziz ME, Abdelsattar M, Abdeldaym EA, Atia MA, Mahmoud AWM, Saad MM, Hirt H. 2019. Piriformospora Indica Alters Na⁺/K⁺ Homeostasis, Antioxidant Enzymes and Lenhx1 Expression of Greenhouse Tomato Grown under Salt Stress. *Scientia Horticulturae*, 256, 108532.
- Aroca R, Ruiz-Lozano JM, Zamarreño ÁM, Paz JA, García-Mina JM, Pozo MJ, López-Ráez JA. 2013. Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Influences Strigolactone Production under Salinity and Alleviates Salt Stress in Lettuce Plants. *Journal of plant physiology*, 170(1), 47-55.
- Borde M, Dudhane M, Kulkarni M. 2017. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in Salinity Tolerance and Growth Response in Plants under Salt Stress Conditions. In *Mycorrhiza-Eco-Physiology, Secondary Metabolites, Nanomaterials* (pp. 71-86). Springer, Cham.
- Diagne N, Ngom M, Djighaly PI, Fall D, Hoher V, Svistoonoff S. 2020. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. *Diversity*, 12(10), 370.
- Diao F, Dang Z, Xu J, Ding S, Hao B, Zhang Z, Guo W. 2021. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis on Ion Homeostasis and Salt Tolerance-Related Gene Expression in Halophyte Suaeda Salsa under Salt Treatments. *Microbiological Research*, 245, 126688.
- Ebrahim MK, Saleem AR. 2017. Alleviating Salt Stress in Tomato Inoculated with Mycorrhizae: Photosynthetic Performance and Enzymatic Antioxidants. *Journal of Taibah University for Science*, 11(6), 850-860.
- Estrada B, Aroca R, Barea JM, Ruiz-Lozano JM. 2013. Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi Isolated From A Saline Habitat Improved Maize Antioxidant Systems and Plant Tolerance to Salinity. *Plant science*, 201, 42-51.
- Garg N, Bhandari P. 2016. Interactive Effects of Silicon and Arbuscular Mycorrhiza in Modulating Ascorbate-Glutathione Cycle and Antioxidant Scavenging Capacity in Differentially Salt-Tolerant Cicer Arietinum L. Genotypes Subjected to Long-Term Salinity. *Protoplasma*, 253(5), 1325-1345.
- Gómez-Bellot MJ, Lorente B, Nortes P, Ortuño MF, Sánchez-Blanco MJ, Alarcón JJ. 2021. Effect of Mixed Substrate with Different Mycorrhizal Fungi Concentrations on The Physiological and Productive Response of Three Varieties of Tomato. *Scientia Horticulturae*, 283, 110040.
- Hameed A, Dilduza E, Abd-Allah EF, Hashem A, Kumar A, Ahmad P. 2014. Salinity Stress and Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Plants. In *Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses*, Volume 1 (pp. 139-159). Springer, New York, NY.
- Hashem A, Abd-Allah EF, Alqarawi AA, Aldubise A, Egamberdieva D. 2015. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Enhances Salinity Tolerance of Panicum Turgidum Forssk by Altering Photosynthetic and Antioxidant Pathways. *Journal of Plant Interactions*, 10(1), 230-242.
- Hassena AB, Zouari M, Trabelsi L, Decou R, Amar FB, Chaari A, Zouari N. 2021. Potential Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Mitigating The Salinity of Treated Wastewater in Young Olive Plants (*Olea europaea* L. cv. Chetoui). *Agricultural Water Management*, 245, 106635.
- Haque SI, Matsubara YI. 2018. Salinity Tolerance and Sodium Localization in Mycorrhizal Strawberry Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(22), 2782-2792.
- Heidarianpour MB, Aliasgharzad N, Olsson PA. 2020. Positive Effects of Co-Inoculation with Rhizophagus Irregularis and Serendipita Indica on Tomato Growth under Saline Conditions, and Their Individual Colonization Estimated by Signature Lipids. *Mycorrhiza*, 30, 455-466.

- Heydari S, Pirzad A. 2020. Mycorrhizal Fungi and Thiobacillus Co-Inoculation Improve The Physiological Indices of *Lallemantia iberica* under Salinity Stress. *Current Microbiology*, 77, 2523-2534.
- Kabir AH, Debnath T, Das U, Prity SA, Haque A, Rahman MM, Parvez MS. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungi Alleviate Fe-Deficiency Symptoms in Sunflower by Increasing Iron Uptake and Its Availability along with Antioxidant Defense. *Plant Physiology and Biochemistry*, 150, 254-262.
- Kang SM, Khan AL, Waqas M, You YH, Kim JH, Kim JG, Lee IJ. 2014. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Reduce Adverse Effects of Salinity and Osmotic Stress by Regulating Phytohormones and Antioxidants in *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Interactions*, 9(1), 673-682.
- Kavroulakis N, Tsiknia M, Ipsilantis I, Kavadia A, Stedel C, Psarras G, Ehaliotis C. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungus Inocula from Coastal Sand Dunes Arrest Olive Cutting Growth under Salinity Stress. *Mycorrhiza*, 30, 475-489.
- Kazemi R, Ronaghi A, Yasrebi J, Ghasemi-Fasaei R, Zarei M. 2019. Effect of Shrimp Waste-Derived Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungus on Yield, Antioxidant Enzymes, and Chemical Composition of Corn under Salinity Stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19(4), 758-770.
- Khalloufi M, Martínez-Andújar C, Lachaâl M, Karray-Bourauoui N, Pérez-Alfocea F, Albacete A. 2017. The Interaction between Foliar GA3 Application and Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation Improves Growth in Salinized Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants by Modifying the Hormonal Balance. *Journal of plant physiology*, 214, 134-144.
- Kong L, Gong X, Zhang X, Zhang W, Sun J, Chen B. 2020. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Photosynthesis, Ion Balance of Tomato Plants under Saline-Alkali Soil Condition. *Journal of Plant Nutrition*, 43(5), 682-698.
- Kumar A, Dames JF, Gupta A, Sharma S, Gilbert JA, Ahmad P. 2015. Current Developments in Arbuscular Mycorrhizal Fungi Research and Its Role in Salinity Stress Alleviation: A Biotechnological Perspective. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 461-474.
- Latef AAHA, Chaoxing H. 2011. Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth, Mineral Nutrition, Antioxidant Enzymes Activity and Fruit Yield of Tomato Grown under Salinity Stress. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 228-233.
- Li Z, Wu N, Meng S, Wu F, Liu T. 2020. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Enhance The Tolerance of *Euonymus maackii* Rupr. at a Moderate Level of Salinity. *Plos one*, 15(4), e0231497.
- Malhi GS, Kaur M, Kaushik P, Alyemeni MN, Alsahli AA, Ahmad P. 2021. Arbuscular Mycorrhiza in Combating Abiotic Stresses in Vegetables: An Eco-Friendly Approach. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(2), 1465.
- Oztekin GB, Tuzel Y, Tuzel IH. 2013. Does Mycorrhiza Improve Salinity Tolerance in Grafted Plants?. *Scientia Horticulturae*, 149, 55-60.
- Parvin S, Van Geel M, Yeasmin T, Verbruggen E, Honnay O. 2020. Effects of Single and Multiple Species Inocula of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on The Salinity Tolerance of A Bangladeshi Rice (*Oryza Sativa* L.) Cultivar. *Mycorrhiza*, 30(4), 431-444.
- Patel D, Saraf M. 2013. Influence of Soil Ameliorants and Microflora on Induction of Antioxidant Enzymes and Growth Promotion of *Jatropha Curcas* L. under Saline Condition. *European journal of soil biology*, 55, 47-54.
- Porcel R, Aroca R, Azcon R, Ruiz-Lozano JM. 2016. Regulation of Cation Transporter Genes by The Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis in Rice Plants Subjected to Salinity Suggests Improved Salt Tolerance Due to Reduced Na⁺ Root-To-Shoot Distribution. *Mycorrhiza*, 26(7), 673-684.
- Qiu YJ, Zhang NL, Zhang LL, Zhang XL, Wu AP, Huang JY, Wang YH. 2020. Mediation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Biochemical Parameters of *Ligustrum Vicaryi* in Response to Salinity. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112, 101522.
- Rivero J, Álvarez D, Flors V, Azcón-Aguilar C, Pozo MJ. 2018. Root Metabolic Plasticity Underlies Functional Diversity in Mycorrhiza-Enhanced Stress Tolerance in Tomato. *New Phytologist*, 220(4), 1322-1336.
- Ruiz-Lozano JM, Porcel R, Azcón C, Aroca R. 2012. Regulation by Arbuscular Mycorrhizae of The Integrated Physiological Response to Salinity in Plants: New Challenges in Physiological and Molecular Studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4033-4044.
- Santander C, Ruiz A, García S, Aroca R, Cumming J, Cornejo P. 2020. Efficiency of Two Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inocula to Improve Saline Stress Tolerance in Lettuce Plants by Changes of Antioxidant Defense Mechanisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(4), 1577-1587.

- Sellitto VM, Golubkina NA, Pietrantonio L, Cozzolino E, Cuciniello A, Cenvinzo V, Caruso G. 2019. Tomato Yield, Quality, Mineral Composition and Antioxidants as Affected by Beneficial Microorganisms under Soil Salinity Induced by Balanced Nutrient Solutions. *Agriculture*, 9(5), 110.
- Talaat NB, Shawky BT. 2014. Protective Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants Exposed to Salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 98, 20-31.
- Wang H, Liang L, Liu B, Huang D, Liu S, Liu R, Chen Y. 2020. Arbuscular Mycorrhizas Regulate Photosynthetic Capacity and Antioxidant Defense Systems to Mediate Salt Tolerance in Maize. *Plants*, 9(11), 1430.
- Wang Y, Zhang W, Liu W, Ahammed GJ, Wen W, Guo S, Sun J. 2021. Auxin is Involved in Arbuscular Mycorrhizal Fungi-Promoted Tomato Growth and NADP-Malic Enzymes Expression in Continuous Cropping Substrates. *BMC plant biology*, 21(1), 1-12.
- Zhang X, Gao H, Liang Y, Cao Y. 2021. Full-Length Transcriptome Analysis of Asparagus Roots Reveals The Molecular Mechanism of Salt Tolerance Induced by Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Environmental and Experimental Botany*, 185, 104402.