

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

PENGUNAAN INDIKATOR FISIOLIS
UNTUK MENENTUKAN TINGKAT CEKAMAN SALINITAS
PADA TANAMAN PADI (*Oryza sativa* L.)
(Physiological Indicators To Determine The Level Of Salinity Stress In
*Rice (*Oryza sativa* L.))*

Diana Eureka Anugerah^{1*}, Trio Putra Setiawan¹, Rizah Sasmita¹, Ewa Aulia¹, Restu Aminingsih¹, Venti Novita Sari¹, Selvia Wulan Hajjah¹, Yulisti Dwi Kencana¹, Evan Dwi Septa Nugraha¹, Isnin Kurnia Safitri¹, J.S. Antromega Pratama¹, Usman Kris Joko Suharjo², Fahrurrozi Fahrurrozi²

¹Mahasiswa Program Magister Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
Jalan W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu-38121

²Dosen Program Magister Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
Jalan W.R. Supratman Kandang Limun Bengkulu-38121

*Corresponding Author, Email: eurekadiana87@gmail.com

ABSTRACT

Rice is the main staple food for most of Indonesia's population and its need continues to increase along with the increase of population. Areal for rice production in Indonesia should be carried out on marginal land, including on saline land. An agricultural land is classified as saline land if it has a dissolved salt content condition in excessive amount that negatively affect plant growth. This paper aims to evaluate several physiological indicators of rice plants undersalinity stress by measuring the stability of cell membranes, proline compounds, and heat shock proteins. The use of these indicators can be used on several plants under stress conditions, including rice plants that experience salinity stress. The level of cell damage and production of proline compounds and production of heat shock protein were used as a measure of plant tolerance to salinity stresses. Salinity stress induces cell membrane injury that causes metabolic dysfunction, increases proline accumulation, and responds to plant proteins. Measurement of cell membrane stability, proline content and heat shock protein content in rice plants under salinity stress can be used as a reference for detecting adaptation of rice plants in saline land.

Keyword: cell membrane, Heat Shock Protein, proline, rice, salinity

ABSTRAK

Padi merupakan tanaman pangan pokok bagi sebagian besar penduduk Indonesia yang dijadikan sebagai sumber pangan beras. Kebutuhan pangan beras Indonesia semakin meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk di waktu yang akan datang. Pengembangan lahan untuk produksi padi dilakukan pada lahan marjinal, termasuk pada lahan salin. Lahan diklasifikasikan salin jika memiliki kondisi kadar garam yang terlarut dalam jumlah berlebih sehingga dapat berakibat buruk bagi pertumbuhan tanaman. Tulisan ini bertujuan untuk mengevaluasi beberapa indikator fisiologis tanaman padi yang mengalami cekaman salinitas dengan metode pengukuran stabilitas membran sel, senyawa prolin, dan *heat shock protein*. Penggunaan indikator-indikator tersebut dapat dilakukan pada beberapa tanaman dalam kondisi stress, termasuk tanaman padi yang mengalami cekaman salinitas. Tingkat kerusakan dan produksi senyawa prolin dan produksi *heat shock protein* digunakan sebagai ukuran toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman abiotik salinitas. Salinitas

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

menginduksi cedera membran sel yang menyebabkan disfungsi metabolik, meningkatnya akumulasi prolin, serta merespon protein-protein pada tanaman. Pengukuran stabilitas membran sel, kandungan senyawa prolin dan kandungan *heat shock protein* pada tanaman padi yang mengalami cekaman salinitas dapat dijadikan acuan sebagai pendeteksi adaptasi tanaman padi di lahan salin.

Kata kunci: *Heat Shock Protein*, membran sel, padi, prolin, salinitas

PENDAHULUAN

Padi merupakan komoditas strategis, ekonomis, dan bahkan politis yang dikonsumsi lebih dari 95% penduduk Indonesia, Produksi padi terus ditingkatkan seiring dengan meningkatnya kebutuhan akibat pertambahan jumlah penduduk, peningkatan konsumsi harian individu, dan tekad pemerintah menjadikan Indonesia sebagai lumbung pangan dunia pada tahun 2045 (Masganti, *et al.*, 2020).

Menurut BPS (2021), produktivitas padi yang merupakan tanaman penghasil beras di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 0,5203 ton/ha, pada tahun 2019 sebesar 0,5114 ton/ha, 2020 sebesar 0,5128 ton/ha. Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya penurunan produktivitas padi dalam 2 tahun terakhir. Penurunan produktivitas padi tersebut juga diikuti dengan penurunan luas panen. Luas panen padi mengalami penurunan dari tahun 2018 mencapai 11.377.934, 44 ha menjadi 10 677 887,15 ha pada tahun 2019 dan 10 657 274,96 ha tahun 2020.

Keterbatasan lahan untuk budidaya tanaman pangan terutama padi di Indonesia perlu dicari alternatifnya. Lahan salin menjadi salah satu pilihan untuk produksi tanaman padi. Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi tanah salin yang sangat luas (Kusmiyati, 2014). Namun perlu dipahami adaptasi tanaman pada lahan salin salah satunya lahan rawa pasang surut. Berbagai upaya perlu dilakukan agar optimalisasi lahan pasang surut dapat

dilakukan diantaranya reklamasi lahan dan penggunaan varietas padi yang adaptif pada ekosistem rawa pasang surut. Reklamasi lahan selain memerlukan biaya yang tinggi juga berisiko menimbulkan kerusakan ekologi (Arsyad dan Rustiadi, 2015). Penggunaan varietas padi berdaya hasil tinggi dan beradaptasi baik pada ekosistem rawa pasang surut menjadi pilihan yang rasional dalam mengoptimalkan lahan rawa pasang surut tersebut. Penyebab tanah menjadi salin adalah intrusi air laut, air irigasi yang mengandung garam atau tingginya penguapan dengan curah hujan yang rendah sehingga garam-garam akan naik ke daerah perakaran.

Salinitas menekan proses pertumbuhan tanaman dengan efek yang menghambat pembesaran dan pembelahan sel, produksi protein serta penambahan biomassa tanaman. Tanaman yang mengalami stress garam umumnya tidak menunjukkan respon dalam bentuk kerusakan langsung tetapi pertumbuhan yang tertekan dan perubahan secara perlahan (Subagyono, 2008). Pengaruh salinitas tanah tergantung pada tingkatan pertumbuhan tanaman, biasanya pada tingkatan bibit sangat peka terhadap salinitas. Adanya kadar garam yang tinggi pada tanah juga menyebabkan penurunan jumlah daun, pertumbuhan tinggi tanaman dan rasio pertumbuhan panjang sel. Demikian pula dengan proses fotosintesis akan terganggu karena terjadi akumulasi garam pada jaringan mesophil dan meningkatnya konsentrasi CO₂ antar sel (interseluler) yang

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

dapat mengurangi pembukaan stomata (Da Silva *et al.*, 2008).

Proses pengangkutan unsur-unsur hara tanaman dari dalam tanah akan terganggu dengan naiknya salinitas tanah. Menurut Salisbury and Ross (1995) bahwa masalah potensial lainnya bagi tanaman pada daerah tersebut adalah dalam memperoleh K^+ yang cukup. Masalah ini terjadi karena ion natrium bersaing dalam pengambilan ion K^+ . Tingginya penyerapan Na^+ akan menghambat penyerapan K^+ . Menurut Durgun *et al.*, (2006), salinitas yang tinggi akan mengurangi ketersediaan K^+ dan Ca^{++} dalam larutan tanah dan menghambat proses transportasi dan mobilitas kedua unsur hara tersebut ke daerah pertumbuhan tanaman (*growth region*) sehingga akan mengurangi kualitas pertumbuhan baik organ vegetatif maupun reproduktif. Salinitas tanah yang tinggi ditunjukkan dengan kandungan ion Na^+ dan Cl^- tinggi akan meracuni tanaman dan meningkatkan pH tanah yang mengakibatkan berkurangnya ketersediaan unsur-unsur hara mikro. Demikian pula dengan hasil penelitian Yousfi *et al.*, (2007) bahwa salinitas menyebabkan penurunan secara drastis terhadap konsentrasi ion Fe di daun maupun akar pada tanaman gandum (*barley*). Penurunan tersebut disebabkan karena berkurangnya penyerapan Fe pada kondisi salinitas tinggi.

Pengaruh salinitas pada tanaman menyebabkan berkurangnya jumlah anakan ini disebabkan oleh keracunan salinitas sehingga merusak sel tanaman, namun untuk galur yang toleran pertumbuhan akan tetap memunculkan anakan sekalipun tidak optimal (Utama *et al.*, 2008). Secara agronomis tanaman yang tecekam salinitas tinggi akan memunculkan kemampuan bertahan yang lebih unggul (Harjadi dan Yahya, 1988). Tanaman yang toleran terhadap cekaman lingkungan mempunyai kemampuan untuk beradaptasi secara

morfologi dan fisiologi (Marschner, 1995; Pellet *etal.*, 1995; Cardenas *etal.*, 2000; Ma, 2000; Utama, 2008).

Beberapa metode pengukuran diantaranya stabilitas membran sel, fitohormon, senyawa prolin, *heat shock protein* (HSP). Penggunaan metode pengukuran Stabilitas Membran Sel, Senyawa Prolin, *Heat Shock Protein* (HSP) dapat menjadi indikator pada beberapa tanaman dalam kondisi stress, terutama stress pada lahan salin. Tujuan penulisan paper ini adalah untuk mengetahui penggunaan metode stabilitas membran sel, senyawa prolin, dan *heat shock protein* (HSP) pada tanaman padi pada cekaman salinitas.

KARATERISTIK LAHAN SALIN

Lahan salin di Indonesia umumnya dipengaruhi oleh intrusi air laut lebih dari empat bulan dalam setahun dan memiliki kandungan natrium dalam larutan tanah berkisar 8-15% (Sukarman *et al.*, 2020). Menurut Alvarez *et al.*, (2015) kontribusi utama peningkatan kadar garam pada lahan banyak ditemukan pada daerah pantai dan aliran muara sungai. Kandungan garam mudah terlarut seperti $NaCl$, Na_2CO_3 , Na_2SO_4 yang tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Tanah salin dicirikan pada nilai persentase natrium dapat ditukar (ESP, *exchangeable sodium precentage*) $>15\%$ atau nilai bandingan absorpsi natrium (SAR, *sodium absorpsi ratio*) $>13\%$ (Wambeke dan Forbes, 1986). Klasifikasi tanah salin juga dapat dikatakan memiliki daya hantar listrik (EC=*electric conducctivity*) lebih dari 4 ds/m setara dengan 40 mM $NaCl$ dalam larutan tanah (Soepandi, 2013). $NaCl$ termasuk garam utama yang terkandung pada tanah salin berkisar antara 2-6% (Karolinoerita dan Annisa, 2020).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

Kadar garam dalam tanah mengalami peningkatan akibat beberapa faktor diantaranya input air yang tinggi mengandung garam ke area lahan sehingga terjadinya intrusi air laut atau masuknya aliran air dengan kadar garam tinggi ke saluran irigasi akibat pencemaran limbah cair pabrik, evaporasi dan evapotranspirasi yang lebih tinggi daripada curah hujan, dan bahan induk tanah yang mengandung deposit garam. Hal tersebut menyebabkan tanah dengan salinitas juga dapat terjadi pada lahan yang berjauhan dengan pantai seperti lahan kering dengan curah hujan yang sangat rendah atau irigasi lahan sawah tercemar limbah pabrik dengan kadar garam tinggi (Rachman, *et al.* 2018). Tanah tergolong salin bila mengandung garam dalam jumlah yang cukup untuk mengganggu pertumbuhan kebanyakan spesies tanaman. Akan tetapi ini bukan merupakan jumlah yang tepat karena akan tergantung kepada spesies tanaman, tekstur tanah dan kandungan air tanah, serta komposisi garamnya sendiri. Sesuai dengan definisi yang dipakai oleh *US Salinity Laboratory* bahwa ekstrak jenuh (larutan yang diekstraksi dari tanah pada kondisi jenuh air) dari tanah salin mempunyai nilai DHL (daya hantar listrik, EC= electrical conductivity) lebih besar dari 4 deci Siemens/m (ekivalen dengan 40 mM NaCl) dan persentase natrium yang dapat dirukar (*ESP= exchangeable sodium percentage*) kurang dari 15. pH tanah salin bisa bervariasi dalam selang yang lebar, namun kebanyakan mendekati netral atau sedikit alkali. Tanah salin dengan nilai $ESP > 15$ disebut sebagai tanah salin alkali, mempunyai pH yang tinggi dan cenderung menjadi sedikit impermiabel terhadap air dan aerasi ketika garam-garam terlarut mengalami pencucian

Penggunaan lahan salin dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman budidaya melalui peningkatan konsentrasi ion di sekitar akar

dan akumulasi Na^+ dalam sel dan jaringan. Peningkatan konsentrasi ion di sekitar akar akan meningkatkan tekanan osmotik sehingga menghambat penyerapan air oleh akar, sedangkan akumulasi Na^+ dalam sel mengakibatkan kematian sel dan jaringan (Munns and Tester, 2008). Kandungan natrium yang tinggi pada air yang menggenangi lahan maupun pada tanah yang menjadi media perakaran tanaman padi juga menyebabkan hasil padi mengalami penurunan hingga 90 % pada sawah dengan tingkat salinitas tinggi sampai sangat tinggi (Rachman, *et al.* 2018). Salinitas tanah menghambat pembesaran dan pembelahan sel, produksi protein, serta penambahan biomassa tanaman. Tanaman yang mengalami stres garam umumnya tidak menunjukkan respon dalam bentuk kerusakan langsung tetapi dalam bentuk pertumbuhan tanaman yang tertekan dan perubahan secara perlahan (Sipayung, 2003). Lingkungan dengan salinitas tinggi akan menyebabkan tingginya potensial osmotik dan menurunkan potensial air yang ada pada lingkungan. Potensial air lingkungan yang rendah akan mengakibatkan air dalam sel keluar untuk menjaga keseimbangan. Sel tanaman kehilangan kondisi turgor yang merupakan faktor penting untuk ekspansi, serta terjadi plasmolisis pada sel. Selain kekurangan suplai air yang membuat tanaman budidaya kesulitan beradaptasi, ion garam juga akan menimbulkan keracunan pada tanaman apabila terlalu banyak (Parida dan Das, 2005). Setiap varietas tanaman memiliki tingkat ambang batas toleransi salinitas yang berbeda dalam persentase penurunan hasil, untuk tanaman padi sendiri ambang batas salinitasnya yaitu 3,0 ds/m dengan penurunan hasil 12,0%/dsm-1 (Ghafoor *et al.*, 2004). Varietas padi toleran terhadap salinitas diantaranya adalah Varietas Kashmir Basmati dan NIABIRRI 9 (Soepandi, 2013).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

TANAMAN PADI TERHADAP CEKAMAN SALINITAS

Padi sawah

Padi dataran rendah atau padi sawah dibudidayakan pada lahan tergenang air dengan sistem irigasi. Lahan tergenang biasanya memiliki tanah berlumpur setebal 18-22 cm dengan pH 4,0- 7,0. Padi sawah yang tergenangi akan mengubah pH tanah menjadi netral ataupun mendekati netral sedangkan tanah berkapur dengan pH 8.1-8.2 tidak mengganggu pertumbuhan tanaman padi tetapi dapat mengurangi hasil produksi.

Padi gogo

Salinitas pada tanaman padi dapat terjadi didaerah dataran tinggi dan dataran rendah. Padi dataran tinggi umumnya merupakan padi sawah dengan aliran irigasi sungai dan padi lahan kering/ padi gogo. Padi gogo merupakan jenis padi yang ditanam pada areal lahan kering atau lazim disebut dengan padi tegalan. Budidaya padi gogo sama sekali tidak membutuhkan irigasi dan dapat diaplikasikan didaerah bercurah hujan rendah. Padi gogo toleran terhadap kekeringan atau tanpa penggenangan seperti padi sawah dan dibudidayakan dengan sistem tumpang sari (sistem bercocok tanam secara campuran).

Lahan pasang surut

Lahan rawa pasang surut memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya padi yang dapat memberikan sumbangan produksi beras nasional secara signifikan (Susilawati, 2016). Pemanfaatan dan pengembangan lahan pasang surut untuk budidaya tanaman pangan sejauh ini belum optimal (Sudana, 2017). Produksi padi yang rendah dapat menjadi sumber masalah kekurangan pangan di Indonesia, oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan produksi dengan cara membudidayakan tanaman padi pada lahan yang potensial. Ketersediaan lahan potensial semakin sedikit dimasa yang akan datang

sehingga perlu alternatif lainnya yakni dengan pemanfaatan lahan marjinal salah satunya lahan rawa pasang surut. Pada kenyataannya, terjadi penurunan luas panen yang disebabkan karena tanah subur untuk budidaya tanaman semakin berkurang dan alih fungsi lahan pertanian ke non-pertanian. Misalnya saja di kota Bandung, beberapa jenis penggunaan lahan yang mengalami penurunan luas terbesar adalah tanaman pertanian lahan basah yaitu sebesar 1.971,03 ha, diikuti dengan luas lahan tanaman pertanian lahan kering sebesar 1.119,67 ha, perkebunan sebesar 45,46 ha dan hutan sebesar 6,56 ha (Nuraeni *et al.* 2017).

Permasalahan lahan pasang surut

Permasalahan pada lahan rawa pasang surut terutama di daerah pesisir memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah, tingkat salinitas air tinggi terjadi saat musim kemarau. Salinitas yang tinggi terjadi pada zona perakaran dapat menghambat penyerapan air dan unsur hara. Konsentrasi salin yang tinggi mengakibatkan dehidrasi pada tanaman sehingga sel menjadi rusak, kering dan mati (Mukhlis, 2012). Gejala morfologi tanaman stres garam ditandai dengan perubahan pada pertumbuhan meliputi, tanaman menjadi kerdil, warna daun menguning, dan muncul lilin-lilin putih pada ujung daun. Selain itu, stres garam mengganggu tekanan osmotik dalam proses penyerapan air dan unsur hara. Beberapa anion seperti Cl⁻ dapat menyebabkan kerusakan serta kebocoran pada membran sel, penurunan pada pertumbuhan dan hasil tanaman. keracunan Na dan Cl⁻ juga diikuti dengan unsur mikro Boron dan Molibdenum. Hal ini menyebabkan varietas padi yang dibudidayakan pada lahan pasang surut/ salin perlu memiliki toleransi yang memadai terhadap cekaman salinitas. Beberapa varietas padi termasuk tanaman yang peka terhadap salinitas tanah (yang dinyatakan dengan daya hantar listrik atau disingkat

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

DHL). Nilai DHL sebesar 2 mmhos/cm dianggap optimal, tetapi jika mencapai 4-6 mmhos/cm tergolong marginal. Jika nilai DHL > 6 mmhos/cm, maka pertumbuhan tanaman padi terhambat. Penurunan hasil bisa mencapai 50 % jika nilai DHL sekitar 7,2 mmhos/cm, atau jika nilai *exchangeable sodium percentage* atau ESP sekitar 20 % (Djaenudin *et al.*, 2000).

PENGUKURAN CEKAMAN SALIN PADA TANAMAN PADI

Indikator fisiologis dapat dilakukan pengukuran untuk mendeteksi tanaman tercekam salin, secara umum terdiri dari:

Pengukuran Stabilitas Membran Sel

Membran sel pada tumbuhan merupakan sebuah struktur semipermeabel yang mengelilingi sel. Membran sel mampu mengontrol setiap pergerakan keluar masuk berbagai komponen. Membrane sel berperan sebagai pembatas lapisan yang kontinue melingkupi sel, inti, dan organel yang mendukung aktivitas biokimia didalam sel, pembatas yang bersifat selektif permeabel mencegah pertukaran molekul dari satu sisi ke bagian lainnya, komunikasi antara bagian yang terpisah memungkinkan substansi tertentu masuk ke sitoplasma dari lingkungan luar, perpindahan suatu senyawa terlarut, memberikan respons terhadap rangsangan luar, sebagai pelindung, penyaring, dan pengatur masuknya zat-zat dari luar sel ke dalam sel dan keluarnya zat-zat dari dalam sel keluar sel.

Membran sel merupakan bagian tanaman yang pertama kali menghadapi tekanan salah satunya cekaman salinitas. Salinitas menginduksi cedera membran yang menyebabkan disfungsi metabolik. Tingkat kerusakannya digunakan sebagai ukuran toleransi tanaman terhadap berbagai cekaman abiotik (Simon, 1974). Secara umum cekaman salinitas akan menyebabkan gangguan pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang disebabkan oleh penurunan

potensial osmotik larutan tanah sehingga mengurangi ketersediaan air bagi tanaman dan peningkatan konsentrasi ion yang bersifat racun bagi tanaman.

Penurunan Potensial Osmotik terhadap Stabilitas Membran Sel dalam Kondisi Tercekam Salinitas

Setiap tanaman membutuhkan air sebagai salah satu sumber utama untuk melakukan proses pertumbuhan dan perkembangannya. Pada tanah dengan kandungan salin (garam) yang tinggi air tersedia ditanah namun tanaman tidak mampu menyerap air yang dibutuhkan oleh tanaman. Ion-ion garam yang berlebih didalam tanah menjadi hambatan utama bagi tanaman dalam proses penyerapan air dan hara sehingga akan sangat berpengaruh terhadap berbagai proses tanaman tidak terkecuali membran sel.

Penurunan jumlah air menyebabkan sel kehilangan turgor sehingga terdapat kecenderungan bagi plasmalema untuk lepas dari dinding sel (plasmolisis). Pada kondisi salin, konsentrasi zat terlarut menjadi lebih tinggi di luar perakaran dan konsentrasi air yang rendah dibandingkan dengan sitoplasma sel. Pada saat yang sama tanaman tidak mampu mengambil air, sehingga tanaman dapat kehilangan air dari dalam sel. Plasmolisis menyebabkan tekanan terus berkurang sampai di suatu titik di mana protoplasma sel terkelupas dari dinding sel, menyebabkan adanya jarak antara dinding sel dan membran. Hingga terjadi runtuhnya seluruh dinding sel (*cytorrhysis*). Cedera pada membran sel (cedera seluler) sangat berhubungan dengan kadar air relatif (Jamil *et al.*, 2012). Kondisi tanaman yang mengalami cedera pada membran sel berdampak pada kebocoran elektrolit akibat penurunan stabilitas membran sel. Kebocoran elektrolit akan sangat berbahaya bagi tanaman sehingga menjadi salah satu indikator penting kerusakan membran

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

plasma sebagai deteksi toleransi tanaman padi terhadap cekaman salinitas (Purwaningrahayu, 2016).

Pada proses pemanjangan sel, tanaman memerlukan keseimbangan air yang sesuai karena kekuatan pemanjangan sel merupakan akibat dari tekanan turgor. Salisbury dan Ross (1995) menyatakan bahwa adanya air akan meningkatkan turgor dinding sel yang mengakibatkan dinding sel mengalami peregangan sehingga ikatan antara dinding sel melemah. Hal inilah yang mendorong dinding dan membran sel bertambah besar, sehingga kondisi minimnya ketersediaan air akan menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, kondisi tanaman yang kekurangan air menyebabkan kerusakan membran sel baik pada akar ataupun daun. Menurut Ahmed *et al.* (2013) bahwa kekurangan air menyebabkan kerusakan membran sel akar yang terukur pada penurunan stabilitas membran sel akar dan daun. Kerusakan membran sel akar berdampak pada penurunan kemampuan penyerapan air dan hara. Kekurangan air pada tanaman menyebabkan penurunan jumlah unsur yang diserap tanaman. Luas daun dan panjang akar dapat digunakan sebagai indikator tanaman yang mengalami stres garam.

Pada kondisi salin permeabilitas membran sel sangat berperan dalam penyesuaian osmotik sebagai bentuk toleransi terhadap salinitas. Kalsium sangat berperan dalam mempertahankan permeabilitas membran sel. Pada tanaman yang toleran terhadap salinitas ternyata mampu mempertahankan penyerapan kalsium (Soepandie, 2013). Hasil penelitian pada bibit padi yang terkena salinitas menunjukkan bahwa terjadi penekanan pertumbuhan tanaman padi yang disebabkan oleh laju Na^+ yang menumpuk di daun dan pelepah daun sehingga ion garam menjadi terakumulasi.

Hasil penelitian menunjukkan tanaman padi transgenik memiliki stabilitas membran sel yang lebih baik di bawah kondisi minim air yang dapat diserap oleh tanaman akibat salinitas dibandingkan dengan tanaman Non Transgenik. Peningkatan ketahanan pada tanaman transgenik ini mungkin telah dicapai melalui perlindungan membran sel. Namun, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan membuat tanaman Non Transgenik dan tanaman transgenik yang toleran terhadap stres garam dengan memiliki stabilitas membran sel yang baik (Babu *et al.*, 2004). Kebocoran elektrolit menjadi salah satu indikator yang dapat diukur untuk mendeteksi stabilitas membran sel akibat pengaruh salinitas. Kebocoran elektrolit diketahui dengan mengukur konduktivitas listriknya menggunakan konduktivitas listrik meter. Selanjutnya Elektrolit kebocoran (EL) dihitung mengikuti rumus $EL = EC1/EC2 \times 100$ (Jamil *et al.*, 2012).

Peningkatan Konsentrasi Ion Bersifat Racun Bagi Tanaman

Toksisitas ion garam berpengaruh dalam menurunkan fungsi fisiologis dan metabolisme tanaman seperti metabolisme lemak, pembelahan sel, ketidakseimbangan hormon, dan penurunan aktivitas beberapa enzim seperti esterase, isocytic dehydrogenase, dan katalase. Peningkatan konsentrasi garam menyebabkan peningkatan cedera pada membran sel. Cedera seluler meningkat secara signifikan pada konsentrasi garam tinggi. Membran sel tersusun atas fosfolipid dan protein yang berfungsi untuk melindungi sel dan organel-organel di dalam sel serta mendukung fungsi sel. Ion-ion garam yang masuk menyebabkan rusaknya lipid sehingga terjadi kebocoran pada membran. Membran sel memiliki kemampuan untuk menyaring

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

komponen tertentu dari larutan yang masuk. Membran yang baik adalah yang mampu menghasilkan permeabilitas yang tinggi dan stabil sebagai fungsi waktu filtrasi (Ai dan Yunia, 2011). Pada saat kondisi membran sel rusak, fungsi filtrasi dari membran akan terganggu. Ion-ion garam mampu masuk dan mempengaruhi berbagai aktivitas di dalam sel. Peningkatan kadar salinitas tanah menyebabkan penurunan kadar klorofil daun akibat rusaknya lipid peroksidasi membran sel (Purwaningrahayu dan Taufiq, 2017).

Menurut Jamil *et al.* (2012) menyatakan ion garam menyebabkan keracunan pada tanaman dengan mempengaruhi berbagai kinerja tanaman salah satunya RNA. Salinitas menyebabkan terjadinya degradasi RNA karena meningkatnya tekanan garam dalam sel. Stabilitas RNA tergantung pada jumlah relatif ion yang terakumulasi dalam sel. Penurunan kandungan RNA pada akhirnya akan menurunkan kandungan protein, karena RNA diperlukan untuk proses sintesis protein melalui pemindahan asam amino ke pusat sintesis protein. Hal ini tentu akan sangat fatal bagi tanaman. Karena keracunan garam akibat membran sel yang bocor akan menyebabkan kerusakan pada inti dari tanaman itu sendiri.

Akumulasi ion-ion garam mampu menghambat proses biosintesis klorofil yang menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi klorofil pada tanaman padi yang diamati melalui jumlah klorofil pada tanaman padi peka salinitas (Krismiratsih *et al.*, 2020). Garam yang terakumulasi memberikan efek toksik dengan mempengaruhi kekuatan penyusunan pigmen protein yang menyusun kloroplas. Kloroplas menjadi terikat kuat sehingga kestabilan membran terganggu karena penyusun klorofil ini merupakan komponen yang tersusun sangat kompleks dan bukan

merupakan komponen yang tersusun secara tunggal (Ali *et al.*, 2004).

Tanaman padi yang tahan terhadap salinitas memiliki kemampuan membran sel yang mampu mengakumulasi dan mendistribusikan ion-ion anorganik dan organik (Suhartini *et al.*, 2017). Kerusakan membran sel pada tanaman padi yang terkena salin diakibatkan oleh kekurangan Ca dan peningkatan Na yang mengganggu metabolisme tanaman. Oleh karena itu, tanaman yang mampu mempertahankan kandungan Ca pada jaringan tanaman relatif lebih toleran pada kondisi salin (Yunita *et al.*, 2018). Hasil penelitian Lekklar *et al.* (2019) variasi fenotipik antara aksesori padi Thailand di bawah pengaruh garam diperoleh parameter fotosintesis dan stabilitas membran sel pada 104 aksesori padi secara individual pada tahap pembungaan setelah stres garam selama 3, 6 dan 9 hari dan menganalisis sifat-sifat terkait hasil pada waktu panen. Sifat diamati pada hari ke 9 setelah stres garam: tingkat fotosintesis (-49%), konduktansi stomata (-50%), laju transpirasi (-43%), dan stabilitas membran sel (-18%) bila dibandingkan dengan kondisi kontrol. Secara keseluruhan, lebih dari 73% gen kandidat yang mengendalikan toleransi garam yang diidentifikasi.

Faktor genetik sangat berpengaruh pada tingkat toleransi aksesori tanaman padi terhadap salinitas. Beberapa kultivar padi menurut hasil penelitian Suhartini *et al.* (2017) menunjukkan toleransi terhadap salinitas dengan indikasi pertumbuhan dan perkembangan masing-masing kultivar yang baik dalam kondisi tercekam. Hal ini disebabkan oleh kemampuan tanaman padi dalam akumulasi dan distribusi ion-ion garam yang dilakukan oleh membran selnya. Menurut Yunita (2009) tanaman yang toleran memiliki kemampuan yang baik dalam mengurangi konsentrasi garam agar tetap dalam konsentrasi yang rendah dan

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

tidak menyebabkan toksisitas dengan beberapa cara yaitu penghambatan garam yang masuk kedalam membran, kompartementasi Na^+ pada vakuola dan mengaktifkan efluks Na^+ .

Pengukuran kandungan Prolin Tanaman

Prolin merupakan hasil biosintesis senyawa organik untuk penyesuaian tekanan osmotik pada tanaman akibat adanya cekaman abiotik contohnya pada tanaman tercekam salinitas (Marschner, 2012). Tanaman yang tercekam akan mengurangi potensial osmotik dengan mengakumulasi berat molekul rendah berupa senyawa aktif osmotik yang disebut osmolit. Prolin salah satu senyawa osmolit yang memiliki *osmoprotectant* (Sopandie, 2013). Prolin yang dihasilkan pada tanaman tercekam salinitas akan terakumulasi di dalam jaringan tanaman, serta berperan penting dalam regulasi tekanan osmotik dan antioksidan sebagai upaya untuk mengurangi kerusakan selnya (Ashraf and Foolad, 2007). Potensial air dalam sel dijaga agar tetap rendah dibanding potensial air yang berada di luar sel. Hal tersebut merupakan mekanisme tanaman dalam mempertahankan turgor sehingga tidak terjadi plasmolisis. Prolin yang terakumulasi dapat menurunkan potensial osmotik sehingga potensial air di dalam sel juga menurun, dan tetap menjaga turgor sel tanpa membatasi fungsi enzimnya (Tuasamu, 2009).

Menurut Per *et.al* (2017) menyatakan bahwa pada tanaman senyawa prolin disintesis melalui jalur metabolisme asam amino dengan menggunakan precursor glutamate (Glu) dan ornitin (Orn). Jalur pertama yaitu L-glutamate yang difosforilasi akan membentuk L-glutamyl- γ -phosphate, kemudian direduksi oleh NADPH menjadi glutamic- γ semialdehyde (GSA). L-Prolin dibentuk dari eliminasi H_2O dari GSA kemudian membentuk senyawa siklik Δ^1 - Pyrroline-5- carboxylate (P5C) setelah itu

direduksi oleh NADPH. Pada jalur kedua, reaksi deaminasi oleh enzim ornithine- δ -aminotransferase mengkatalisis Orn membentuk GSA dalam jalur Glu atau konversi dalam bentuk senyawa intermediate α -keto- δ aminovalerate dan secara spontan membentuk isomernya yaitu Δ^1 -Pyrroline-2-carboxylate (P2C). Kemudian P2C direduksi membentuk LProline oleh enzim P2C reductase. Transkripsi gen yang mengekspresikan asam amino prolin diregulasi oleh gen spesifik pada setiap tanaman. Namun secara umum, gen tersebut bersifat homolog terhadap gen yang berperan dalam metabolisme prolin. Gen C1P5CS, C1PDH dan C1ProT merupakan gen homolog dari P5CS, PDH dan ProT yang ditemukan pada *C. Lavandulifolium* (Zhang *et al.*, 2014). Sedangkan pada *Oryza sativa* L., ornitin merupakan prekursor utama dalam sintesis prolin (Stys *et al.*, 2012).

Akumulasi kadar prolin pada tanaman dapat dilakukan dengan metode Ninhidrin dengan menggunakan bagian daun tanaman (Nurmalasari, 2018) maupun jaringan tanaman berupa kalus (Summart, *et al.* 2010). Adapun tahapan-tahapan dalam menentukan kadar prolin menggunakan daun segar dengan menghancurkan daun segar sebanyak 0,5g dan ditambahkan larutan sulfosalisilat 3% sebanyak 10 ml. Selanjutnya hasil tumbukan disaring dengan kertas Whatman nomor 1 dan direaksikan dalam tabung reaksi dengan asam ninhidrin dan asetat glasial masing-masing sebanyak 2 ml pada suhu 100°C selama 1 jam. Kemudian tabung reaksi diletakkan dalam gelas piala berisi es. Larutan asam ninhidrin dibuat dengan memanaskan 1,25g ninhidrin dalam 30 ml asam asetat glasial dan 20 ml asam fosfat hingga larut. Campuran diekstraksi dengan 4 ml toluene dan divortex selama 15-20 detik sehingga terbentuk dualapisan cairan yang terpisah. Toluene yang berwarna merah yang mengandung prolin

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

terletak di bagian atas. Selanjutnya larutan yang mengandung prolin diambil dengan pipet untuk diukur kadar prolinnya dengan spektrofotometer, absorbansi dibaca pada panjang gelombang 520nm. Dari data tersebut akan didapat data yang persamaan regresi dengan kadar prolin (x) dan absorbansinya (y). Kadar prolin yang diperoleh masih dalam bentuk μM , dan dijadikan μ gram/ml dengan mengalikan BMP (Berat Molekul Prolin) 115,13 gram/mol. Kadar prolin/berat segar daun dihitung dengan rumus:

$$= \frac{\text{prolin}}{R \times Tml} \times ml \text{ toluen (gram sampel)}$$

$$\frac{115,13 \mu \frac{\text{gram}}{\text{mol}}}{(5)}$$

Penelitian Summart, *et al.* (2010) menunjukkan bahwa kandungan prolin pada sel tanaman padi tercekam salinitas meningkat sekitar 2,0 - 2,5 kali lebih tinggi dari pada sel pada tanaman kontrol (tidak tercekam). Kandungan prolin tertinggi pada sel tanaman dengan cekaman salinitas yaitu sekitar 246 $\mu\text{g} / \text{g}$ bobot basah di hari ke-10. Selain itu, Zhang, *et al.* (2014) menyebutkan bahwa konsentrasi prolin ditemukan lebih tinggi pada bagian perakaran dibandingkan pada bagian batang maupun daun. Prolin yang terdapat pada akar merupakan respon pertahanan pertama yang berlangsung pada tanaman toleran, sehingga tanaman dapat mempertahankan pertumbuhan biomassa di atas permukaan tanah dan mereduksi kerugian akibat cekaman salinitas. Akumulasi prolin pada tanaman padi tercekam salin juga tergantung pada varietasnya, semakin toleran suatu tanaman maka akumulasi prolin semakin tinggi dibandingkan dengan tanaman peka salin.

Kandungan prolin pada tanaman padi akan meningkat seiring dengan

meningkatnya konsentrasi NaCl pada tanaman. Peningkatan kandungan prolin tersebut mencapai 4 kali lipat saat pemberian NaCl dengan konsentrasi 200 mM selama 3 hari (Lin *et al.*, 2002). Hasil penelitian Yunita *et al.*, (2018), akumulasi prolin pada tanaman padi tercekam salinitas juga dipengaruhi oleh jenis varietas padi. Akumulasi prolin pada tanaman padi varietas toleran salinitas akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan varietas tanaman padi peka salinitas. Pemberian NaCl 150 mM pada media kultur varietas padi peka menyebabkan tanaman mati dan kadar prolin menurun. Sedangkan pemberian NaCl 150 mM pada media kultur tanaman toleran menyebabkan kadar prolin meningkat.

Pengukuran Kandungan *Heat Shock Protein* (HSP)

Protein merupakan komponen utama metabolisme sel yang terdapat didalam sitoplasma serta organel sel seperti nucleus, kloroplas, mitokondria dan retikulum endoplasma. Setiap organisme terdapat perbedaan ekspresi protein dari jaringan satu dengan jaringan lainnya serta tergantung pada kondisi lingkungan. Sel akan menghambat proses transportasi, sintesis DNA, RNA dan protein. Protein unik yang akan terekspresikan pada tanaman saat stres lingkungan salinitas disebut *Heat Shock Protein* (HSP).

Heat Shock Protein (HSP) muncul akibat dari adanya *Heat Shock Respons* (HSRs) yaitu respon genetik untuk menginduksi gen-gen yang mengkode molekuler chaperon, protease dan protein-protein lain yang penting untuk mekanisme dan pemulihan terhadap gangguan bersifat fisiologik maupun lingkungan. Respon *Heat Shock Protein* (HSP) yang cepat sebagai mekanisme proteksi tanaman dalam menghadapi stres juga memastikan setiap

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

protein dalam tubuh pada keadaan bentuk, waktu yang seharusnya dan menjadi pengawas untuk memastikan kematian sel, menentukan sel yang sudah rusak ataupun di hancurkan.

Heat Shock Protein (HSP) memiliki hubungan erat dengan ROS (*reactive oxygen species*) dimana tanaman mengalami peningkatan toksisitas ROS dan sebagai elisitor untuk menginduksi HSPs pada tanaman saat beradaptasi. HSPs termasuk molekul yang bertindak dalam menanggapi berbagai stress diantaranya suhu yang ekstrim (suhu tinggi dan suhu rendah), kekeringan, salinitas, keracunan logam berat, intensitas cahaya dan luka pada tanaman (Xu *et al.*, 2011). *Heat Shock Protein* (HSP) menentukan proses *folding protein* dan ketepatan formasi protein melalui pencegahan agregasi protein. Dengan menstabilkan proses *folding*, HSP membantu transportasi protein di berbagai membran intraseluler. *Heat Shock Protein* (HSP) sebagai *central integrators* dari homeostasis protein dalam sel, berperan membantu membentuk lipatan molekul kompleks protein (*folded protein*), menempatkan protein tersebut ke dalam sel dan membuat proteolisis pada beberapa sistem pengaturan penting lainnya seperti pertumbuhan, diferensiasi dan kemampuan hidup sel. Hasil penelitian Koo *et al.*, (2015) menyatakan HSPs berperan dalam perkembangan embryogenesis, biji dan buah selain itu juga diprediksi pada perkembangan umbi dan perolehan nutrisi selama fase pembentukan umbi (Shekhar *et al.*, 2016).

Belum diketahui lebih rinci banyaknya *Heat Shock Protein* (HSP) yang berkontribusi terhadap toleran stres pada tanaman dan molekul yang teridentifikasi sebagai protein stres (Mishra *et al.*, 2018). Semua molekul protein stres dikatakan sebagai *Heat Shock Protein* (HSP). Namun demikian. Pada penelitian lainnya

menyebutkan protein yang telah diidentifikasi memiliki fungsi seperti molekul pendamping contohnya, Calnexin atau calreticulin dan protein disulfide isomerase yang membantu dalam pelipatan protein (Al-Whaibi, 2011). Ada 5 jenis *Heat Shock Protein* (HSP) berdasarkan berat molekul, urutan asam amino dan fungsinya meliputi :

1. *Heat Shock Protein*100

Dikategorikan sebagai anggota dari superfamily AAA ATPase terlibat dalam merespon variabel stress yang banyak. *Heat Shock Protein* (HSPs)100 berfungsi sebagai protein yang bekerja melalui re-solubilisasi yakni peningkatan kelarutan dari agregat protein, menjaga biogenesis kloroplas, dan mempercepat kondisi normal pasca stress. *Heat Shock Protein* (HSPs)100 bekerjasama dengan *Heat Shock Protein* (HSPs)70 dalam pelarutan agregat protein untuk menghindari terjadinya agregasi protein (pengumpulan protein).

2. *Heat Shock Protein*90

Berperan dalam pelipatan protein, transduksi sinyal, kontrol siklus sel, *protein trafficking*, regulasi aktivitas reseptor glukokortikoid, dan resistensi fotipatogen. Pada tanaman *Arabidopsis thaliana* protein yang teridentifikasi dari keluarga *Heat Shock Protein* (HSPs)90 dinotasikan bersama dengan subfamili sitosolik AtHsp90-1 hingga AtHsp90-4 sedangkan protein yang berada di plastida, mitokondria dan retikulum endoplasma masing-masing terdiri dari AtHsp90-5, AtHsp90-6 dan AtHsp90-7 (Krishna and Gloor, 2001).

3. *Heat Shock Protein*70

Berperan bersama dengan *Heat Shock Protein* (HSPs)100 dalam mencegah agregasi protein yang salah dalam lipatan dan memfasilitasi pelipatan kembali protein saat stress terjadi, translokasi protein terutama di kloroplas dan mitokondria, mengalokasikan protein-protein yang rusak/tidak dapat diperbaiki menuju jalur

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

degradasi lisosom atau proteasomal, bekerja pada kompleks translocon yang secara kooperatif mengikat precursor protein dan mendorong organel target.

4. *Heat Shock Protein*60

Molekul protein ini dapat ditemukan dimana-mana pada sel prokariota tetapi pada eukariota terdapat di mitokondria dan plastida. *Heat Shock Protein* (HSPs)60 berperan penting dalam membantu rubisco dan protein plastida lainnya, pelipatan dan agregasi pada kloroplas dan protein residen mitokondria. Protein yang diduga sebagai *Heat Shock Protein* (HSPs), chaperonin, berperan sebagai pengatur pasca transkripsi banyak proteindan membantu mencegah agregasi protein target (Mishra *et al.*, 2018).

5. *Heat Shock Protein*40

Heat Shock Protein (HSP) 40 termasuk ko-faktor atau subfamily dari Hsp 70 yang bekerja selalu bersama-sama dalam mengatur sintesa protein terutama pada pelipatan, transportasi dan degradasi protein. Pada prokariotik Hsp 40 disebut DnaJ, tetapi pada manusia disebut Hsp 40 sesuai dengan berat molekulnya. Hsp 40 mempunyai tiga type I,II dan III yang masing-masing mengandung 70 asam amino dengan terdapat bagian J-domain yang berhubungan dengan ATP ase dari Hsp 70 dan berfungsi dalam stimulasi aktivasi ATPase. Oleh karena kinerja Hsp 40 selalu mendampingi Hsp 70, maka sebagian besar fungsi Hsp 40 menyerupai Hsp 70 dalam hal pelipatan, transportasi dan degradasi serta aktivitas ATPase dalam sintesis protein.

Heat Shock Protein (HSP) dapat terjadi stress dalam bentuk induksi panas, stress lingkungan (radiasi ultraviolet atau logam berat), patologis (infeksi) atau fisiologi (pertumbuhan dan differensiasi sel). HSP dihasilkan melalui suatu mekanisme, dimulai dari aktivasi *heat shock factor* (HSF) yang dipacu oleh suatu stress yang ditimbulkan oleh lingkungannya.

Dalam bentuk HSF monomer, HSF bergerak dari sitosol menuju ke inti sel, untuk bergabung dengan HSF monomer lain, membentuk HSF trimmer. HSF trimmer selanjutnya berikatan dengan penghubung yang ada pada gen heat shock protein (DNA). Ikatan ini menghasilkan RNA *messenger* (mRNA) HSP. RNA *messenger* ini akan bergerak ke sitosol dimana terjadi proses translasi yang hasil akhirnya membentuk protein yang disebut *heat shock protein* (HSPs).

Respon stres abiotik pada tanaman dan adaptasi molekuler mencakup induksi berbagai biomolekul yang responsif terhadap stres. Peningkatan ekspresi *heat shock transcription factors* (HSFs) berikatan dengan daerah promotor gen yang responsif terhadap stres, yang pada akhirnya mengarah pada ekspresi HSF, chaperone, cochaperone, dan gen responsif HTS yang dapat diinduksi stres. Jaringan HTS yang dapat diinduksi diatur secara ketat oleh protein pendamping dan pendampingnya. Regulasi kompleks HSF-chaperone/cochaperone diatur oleh modifikasi pasca-translasi (PTM) dan juga, oleh ubiquitination dan degradasi yang dimediasi protein pendamping oleh sistem *proteasome ubiquitin* (UPS). HSP juga mengatur aktivitas HSF melalui asosiasi atau disosiasi dengan kompleks HSF, selain alternatif *splicing* dan *nonsense-mediated mRNA degradation* (NMD) (Mishra *et al.*, 2018).

Pengukuran kadar *Heat Shock Protein* (HSPs) melalui metode *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA). *Enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA) adalah teknik *assay* yang berbasisan plat/lempeng yang dirancang untuk mendeteksi dan kuantifikasi peptide, protein, antibodi dan hormon. Fungsi dan regulasi gen Hsp dan Hsf padi melalui metode pengukuran profil ekspresi pada benih padi yang diinduksikan stres panas dan

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

dibandingkan pada kondisi di bawah tekanan dingin, kekeringan dan garam. Perbandingan tersebut mengungkapkan bahwa, sementara sebagian besar Hsfs dan Hsps memiliki pola respons dan regulasi yang sangat mirip dan tumpang tindih di bawah tekanan yang berbeda, beberapa dari gen tersebut menunjukkan respons spesifik yang signifikan terhadap stres yang berbeda (Swindell *et al.*, 2007).

KESIMPULAN

Indikator-indikator fisiologis yang dapat digunakan sebagai acuan pengukuran salinitas pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) pada cekaman salinitas meliputi stabilitas membran sel, senyawa prolin, dan *Heat Shock Protein* (HSP). Studi tentang pengukuran indikator fisiologis dapat menjadi solusi untuk menentukan bagaimana adaptasi tanaman padi (*Oryza sativa* L.) sehingga dapat merakit varietas tanaman padi pada cekaman salinitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, M., A. Kamran, M. Asif, U. Qadeer, Z. I. Ahmed and A. Goyal. (2013). Silicon priming: a potential source to impart abiotic stress tolerance in wheat: A review. *AJCS*. 7 (4): 484-491.
- Ai, N.S., dan Yunia, B. (2011). Konsentrasi klorofil daun sebagai indikator kekurangan air pada tanaman. *Jurnal Ilmiah Sains*. 11(2): 166-173
- Ali, Y., Z. Aslam, M. Y. Ashraf and G. R. Tahir. (2004). Effect of salinity on chlorophyll concentration, leaf area, yield and yield components of rice genotypes grown under saline environment. *International Journal of Environmental Science & Technology*. 1(3): 221- 225
- Alvarez MP, Carol E, Hernandez MA, and Bouza PJ. 2015. Groundwater dynamic, temperature and salinity response to the tide in Patagonian marshes: Observations on a coastal wetland in San Jose Gulf. *Argentina Journal of South American Earth Sciences* 62: 1-11. DOI: 10.1016/j.jsames.2015.04.006.
- Al-Whaibi, M. H. (2011). Plant heat-shock proteins: a mini review. *J. King Saud Univ. Sci.* 23, 139–150. DOI :<https://doi.org/10.1016/j.jksus.2010.06.022>
- Arsyad, S., dan Rustiadi, E. (Eds.). (2008). Penyelamatan tanah, air, dan lingkungan. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Ashraf, M. F. M. R., and Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Babu, R. C., Zhang, J., Blum, A., Ho, T. H. D., Wu, R., and Nguyen, H. T. (2004). HVA1, a LEA gene from barley confers dehydration tolerance in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) via cell membrane protection. *Plant Science*. 166(4): 855-862.
- BPS. (2021). Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Padi Menurut Provinsi 2018- 2020. Diunduh dari <http://bps.go.id>
- Cardenas, L., T.L. Holdaway-Clarke, F. Sanchez, C. Quinto, J.A. Feijo, J.G. Kunkel, P.K. Hepler. (2000). Ion changes in legume root hairs responding to nod factors. *Plant Physiol*. 123:443-451.
- Da Silva, Neto, A. D. A., J. T. Prisco, J. Eneas-Filho, C. F. de Lacerda, J. V. Silva, P. H. A. and E. Gomes-Filho. 2008. Effects of salt stress on plant growth, stomatal response and solute accumulation of different maize

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

- genotypes. *Braz. J. Plant Physiol* 16 (1): 31-38
- Djaenudin, D., Marwan H., H. Subagyo, Anny Mulyani, dan N. Suharta.(2000). Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian. Versi 3. Bada
- Durgun, E., Ciraci, S., Zhou, W., and Yildirim, T. (2006). Transition-metal-ethylene complexes as high-capacity hydrogen-storage media. *Physical review letters*, 97(22), 226102.
- Ghafoor, A., Qadir, M., and Murtaza, G. (2004). Salt-affected soils: Principles of management. Allied Book Centre.
- Harjadi , S.S. dan S. Yahya, 1988. *Fisiologi Stres Tanaman*. PAU IPB, Bogor
- Jamil, M., Muhammad, A., Syafiq U.R., Ahmad, M., and Eui, S.R. (2012). Salinity induced changes in cell membrane stability, protein and RNA contents. *Journal of Biotechnology*. 11(24): 6476-6483.
- Karolinoerita, V., dan Annisa, W. (2020). Salinisasi Lahan dan Permasalahannya di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2), 91-99.
- Koo, H. J., Park, S. M., Kim, K. P., Suh, M. C., Lee, M. O., Lee, S. K., Xinli, X., and Hong, C. B. (2015). Small heat shock proteins can release light dependence of tobacco seed during germination. *Plant Physiology*, 167, 1030–1038. DOI :10.1104/pp.114.252841
- Krishna, P., and Gloor, G. (2001). The Hsp90 family of proteins in *Arabidopsis thaliana*. *Cell stress & chaperones*, 6(3), 238.
- Krismiratsih, F., S. Winarso., dan Slamerto. (2020). Cekaman Garam NaCl dan Teknik Aplikasi Azolla pada Tanaman Padi. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. 25(3): 349-355.
- Kusmiyati, F., Sumarsono dan Karno. (2014). pengaruh perbaikan tanah salin terhadap karakter fisiologis *Calopogonium mucunoides*.*Pastura*: 4(1): 1-6.
- Lekklar, C., Pongpanich, M., Suriya-Arunroj, D., Chinpongpanich, A., Tsai, H., Comai, L., andBuaboocha, T. (2019). Genome-wide association study for salinity tolerance at the flowering stage in a panel of rice accessions from Thailand. *BMC genomics*. 20(1), 1-18.
- Lin, C. C., Hsu, Y. T., and Kao, C. H. (2002). The effect of NaCl on proline accumulation in rice leaves. *Plant Growth Regulation*, 36(3), 275.
- Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants, Sec. Edition. Acad. Press.
- Marschner, P. (2012). Mineral Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Elsevier. 649
- Masganti., Susilawati, A., dan Yuliani, N. (2020). Optimasi Pemanfaatan Lahan Untuk Peningkatan Produksi Padi Di Kalimantan Selatan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 14(2), 101-114.
- Mishra D., Shekhar S., Singh D., Chakraborty S., and Chakraborty N. (2018). Heat Shock Proteins and Abiotic Stress Tolerance in Plants. In: Asea A., Kaur P. (eds) Regulation of Heat Shock Protein Responses. *Springer, Cham*vol 13.DOI :https://doi.org/10.1007/978-3-319-74715-6_3
- Mukhlis, S. A., Nazemi, D., dan Maftuah, E. (2012). Info Teknologi Pertanian Rawa, (Biosure pupuk hayati masam purun tikus pasang surut budidaya tomat lahan rawa jagung manis lahan gambut). 1(6).

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

- Munns, R., and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651-681.
- Nuraeni, R., Sitorus, S. R. P., dan Panuju, D. R. (2017). Analisis perubahan penggunaan lahan dan arahan penggunaan lahan wilayah di Kabupaten Bandung. *Buletin Tanah dan Lahan*, 1(1), 79-85.
- Nurmalasari, I. R. (2018). Kandungan Asam Amino Prolin Dua Varietas Padi Hitam Pada Kondisi Cekaman. *Gontor AGROTECH Science Journal*, 4(1), 29-43.
- Parida, A.K dan Das. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants. *Exotocitology and environtmental safety*, 60: 324-349.
- Pellet, D. M., D.L. Grunes, L.V. Kochian. (1995). Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). *Planta*, 196:788-795
- Per, TS., Khan, NA., Reddy, PS., Masood, A., Hasanuzzaman, M., Khan, MIR., and Anjum, NA. (2017). Approaches in Modulating Proline Metabolism in Plants for Salt and Drought Stress Tolerance: Phytohormones, Mineral Nutrients and Transgenics. *Plant Physiology and Biochemistry*. 115: 126–140.
- Purwaningrahayu, R.D. (2016). Karakter morfofisiologi dan agronomi kedelai toleran salinitas. *Iptek Tanaman Pangan*. 11(1): 35-48.
- Purwaningrahayu, R.D., dan A. Taufiq. (2017). Karakter Fisiologi Kedelai Toleran Cekaman Salinitas. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi*. Malang.
- Rachman, A., Dariah, Ai., dan Sutono, S. (2018). *Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi*. IAARD Press. Jakarta
- Salisbury, F.B dan Cleon W. Ross. (1995). *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid I. ITB. Bandung. hal. 67-72.
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman*. IPB Press. Bogor.
- Shekhar, S., Mishra, D., Gayali, S., Buragohain, A. K., Chakraborty, S., and Chakraborty, N. (2016). Comparison of proteomic and metabolomic profiles of two contrasting ecotypes of sweetpotato (*Ipomoea batata* L.). *Journal of Proteomics*, 143: 306– 317. DOI: 10.1016/j.jprot.2016.03.028
- Simon, E.W. 1974. Phospholipids and plant membrane permeability. *New Phytol.* 73: 377–420.
- Sipayung, R. (2003). *Stres garam dan mekanisme toleransi tanaman*. USU digital library.
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman*. IPB Press. Bogor.
- Stys, P. K., You, H., & Zamponi, G. W. (2012). Copper-dependent regulation of NMDA receptors by cellular prion protein: implications for neurodegenerative disorders. *The Journal of physiology*, 590(6), 1357-1368.
- Subagyono, K., (2008). *Kerusakan Lahan Pertanian Akibat Tsunami*. Balai Penelitian Tanah, Bogor.
- Sudana, W. (2017). Potensi Dan Prospek Lahan Rawa Sebagai Sumber Produksi Pertanian. *Potensi Dan Prospek Lahan Rawa Sebagai Sumber Produksi Pertanian*, 3(2), 141–151.
<https://doi.org/10.21082/akp.v3n2.2005.141-151>.
- Suhartini, T., T. Zulchi., and P. Harjosudarmo. 2017. Toleransi plasma nutfah padi lokal terhadap salinitas. *Bul. Plasma Nutfah* 23(1):51–58.

DOI: 10.32663/ja.v%vi%i.2424

- Sukarman, Mulyani A, dan Purwanto S. 2020. Modifikasi metode evaluasi kesesuaian lahan berorientasi perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1): 1-11. DOI:[10.21082/jsdl.v14n2.2020.91-99](https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n2.2020.91-99)
- Summart, J., Thanonkeo, P., Panichajakul, S., Prathepha, P., & McManus, M. T. (2010). Effect of salt stress on growth, inorganic ion and proline accumulation in Thai aromatic rice, Khao Dawk Mali 105, callus culture. *African Journal of Biotechnology*, 9(2).
- Susilawati, A., Nursyamsi, D., & Syakir, M. (2016). Optimalisasi penggunaan lahan rawa pasang surut mendukung swasembada pangan nasional. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 10(1).
- Swindell, W. R., Huebner, M., and Weber, A. P. (2007). Transcriptional profiling of Arabidopsis heat shock proteins and transcription factors reveals extensive overlap between heat and non-heat stress response pathways. *BMC genomics*, 8(1), 1-15.
- Tuasamu, Y. (2009). Toleransi Hotong (*Setaria italica* L. Beauv) pada Berbagai Cekaman Kekeringan: Pendekatan Anatomi dan Fisiologi. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Utama, M.Z.H. (2008). Mekanisme fisiologi toleransi cekaman aluminium pada spesies legum penutup tanah terhadap metabolisme Nitrat (NO₃⁻), Amonium (NH₄⁺), dan Nitrit (NO₂⁻). *Buletin Agronomi*, 36 (2): 175-179.
- Xu, Y., Zhan, C., and Huang, B. (2011). Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. *International Journal of Proteomics*, 2011 (529648). DOI :<https://doi.org/10.1155/2011/529648>
- Yousfi, S., Mahmoudi, H., Abdelly, C., & Gharsalli, M. (2007). Effect of salt on physiological responses of barley to iron
- Yunita, R., Khumaida, N., Sopandie, D., and Mariska, I. (2018). Analisis Cekaman Salinitas terhadap Padi Mutan pada Kondisi. *Vitro. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 2(1), 25-34.
- Zhang, M., Huang, H., and Dai, S. (2014). Isolation and Expression Analysis of Proline Metabolism-Related Genes in *Chrysanthemum lavandulifolium*. *Gene*. 537(2): 203–213.