

Penanganan Stres Salin dalam Pertanian Padi Sawah: Hasil Kajian dari Wilayah Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten, Indonesia

Addressing Soil Salinity Stress in Rice Farming: Insights from Tirtayasa District, Banten Province, Indonesia

Erwin Fajar Hasrianda¹, Agusdin Dharma Fefirenta², Indra Gunawan^{3,4},
dan La Ode Muhammad Muchdar Davis¹

¹Pusat Riset Botani Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),
Jl. Raya Jakarta-Bogor No.970, Nanggewer Mekar. Cibinong, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

²Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),
Jl. Raya Jakarta-Bogor No.970, Nanggewer Mekar. Cibinong, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

³Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN),
Jl. Raya Jakarta-Bogor No.970, Nanggewer Mekar. Cibinong, Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

⁴Universitas Nusa Bangsa, Jl. KH Sholeh Iskandar KM.4, Tanah Sareal,
Kota Bogor, Jawa Barat, Indonesia.

E-mail: erwi011@brin.go.id

Diterima: 30 Oktober 2023

Revisi: 5 Maret 2024

Disetujui: 29 April 2024

ABSTRAK.

Stres lahan salin menjadi kendala besar bagi pertanian padi dan ketahanan pangan di Indonesia, khususnya di Kecamatan Tirtayasa, Provinsi Banten. Kondisi ini diperparah dengan perubahan iklim dan pemanasan global. Sebuah studi lapangan dilakukan untuk mengkaji dampak stres salin pada pertanian padi dan mendapatkan wawasan dari para petani di daerah yang terkena dampak salinitas untuk mengembangkan varietas padi toleran salin. Penelitian yang dilakukan meliputi pengukuran tingkat salinitas tanah, pH tanah, dokumentasi visual kesehatan tanaman padi, dan observasi mikroskopis. Hasil penelitian di wilayah Tirtayasa menunjukkan peningkatan luas lahan yang terkena cekaman salin dari tahun ke tahun. Analisis morfologi menunjukkan bahwa tanaman padi Inpari 32 yang terpapar salinitas memiliki jumlah akar yang lebih sedikit, bahkan pada salinitas sedang, sehingga menyebabkan penurunan hasil yang signifikan hingga 100 persen. Para petani juga tidak memiliki metode yang efektif untuk mengatasi stres salin di lahan mereka. Meskipun ada varietas padi yang toleran terhadap salin di pasar, para petani mengamati bahwa hasil panen varietas toleran salin tidak sebanding dengan varietas yang tidak toleran terhadap salin. Studi ini menyoroti pentingnya pengembangan varietas padi toleran salin sejalan dengan preferensi petani lokal untuk meningkatkan kebutuhan pangan guna mengembangkan varietas padi toleran salin untuk mengatasi tantangan cekaman salin di bidang pertanian.

kata kunci: padi, cekaman salin, adaptasi tanaman, akar

ABSTRACT.

Soil salinity stress poses a major obstacle to rice farming and food security in Indonesia, especially in the Tirtayasa sub-district, Banten Province. This condition is exacerbated by climate change and global warming. A field study was conducted to examine the impact of salt stress on rice farming and gain insights from farmers in salin-affected areas to develop salt-tolerant rice varieties. The research included measurements of soil salinity levels, soil pH, visual documentation of rice plant health, and microscopic observations. The results showed an increasing land area affected by salt stress over the years in the Tirtayasa region. Morphological analysis indicated that Inpari 32 rice plants exposed to salinity had fewer roots, even at moderate salinity levels, resulting in a significant decrease in yields up to 100 percent. Farmers also lacked effective methods to cope with salt stress in their fields. Although the market provides salt-tolerant rice cultivars, farmers observe that their yields are not comparable to non-tolerant varieties. This study highlights the urgency of developing salt-tolerant rice varieties in line with the preferences of local farmers to enhance food resilience in Indonesia. These findings provide additional information on salin soil in Banten and the need to develop a salt-tolerant rice variety to overcome salin-stress challenges in agriculture.

keywords: rice, salin stress, plant adaptation, roots

I. PENDAHULUAN

Salinitas tanah telah menjadi masalah bagi keamanan pangan global. Lahan salin adalah salah satu tantangan utama pertanian modern. Perubahan iklim dengan kekeringan yang berkepanjangan dan kenaikan permukaan laut, diperkirakan akan memperburuk masalah ini. Menurut FAO, dari sekitar 73 persen luas lahan global yang telah dianalisis, luasan lahan terkontaminasi salin mencakup 424 juta hektare tanah permukaan (0 hingga 30 cm) dan 833 juta hektare tanah bawah (30 hingga 100 cm) (FAO, 2021). Penelitian lain menunjukkan bahwa satu miliar hektare tanah dipengaruhi secara negatif oleh cekaman salin (Ghassemi, dkk., 1995; Negacz, dkk., 2022). Diperkirakan sekitar 62 juta hektare, atau 20 persen dari tanah irigasi dunia, terpengaruh oleh salin (Egamberdieva, dkk., 2019).

Dikatakan juga bahwa dari 230 juta hektare lahan pertanian yang digunakan saat ini di seluruh dunia, 20 persennya dipengaruhi oleh salin dan proporsi ini meningkat setiap tahun karena praktik irigasi yang tidak tepat, pemupukan berlebihan dan praktik pertanian berlebih serta penyebab alam seperti paparan salin di lahan daerah pesisir akibat kenaikan permukaan laut (Ruan, dkk., 2010; Shabala, 2013; Kamran, dkk., 2020; Liu, dkk., 2022). Oleh karena itu, pada skala global, salin adalah stres abiotik yang signifikan, memengaruhi antara seperempat hingga sepertiga hasil panen pada pertanian (Munns dkk., 2000; Liu, dkk., 2022).

Dengan perubahan iklim dan kekeringan, salin tanah diperkirakan menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi produktivitas pertanian dalam beberapa dekade mendatang. Stres salin tidak hanya memengaruhi produktivitas tanaman, tetapi juga dapat memiliki dampak negatif pada aspek ekologi, sosial dan ekonomi di daerah dengan salin tinggi (Hussain, dkk., 2018b).

Padi termasuk dalam tanaman sereal yang menjadi sumber pangan setengah populasi dunia, tetapi termasuk tanaman yang rentan terhadap stres salin (Ma, dkk., 2016; Hussain, dkk., 2018a). Oleh karena itu, meningkatkan toleransi salin padi sangat penting untuk keamanan pangan global (Liu, dkk., 2022). Hal

ini didukung oleh pandangan sebagian petani bahwa sistem pertanian padi sawah dianggap oleh petani sebagai bentuk pertanian yang paling menguntungkan. Oleh karena itu, pengenalan tanaman padi toleran salin di lahan sawah padi sangat diperlukan untuk mengatasi penurunan produksi karena masalah salin (Rachman dan Dariah, 2018).

Peningkatan konsentrasi salin di tanah adalah faktor stres lingkungan yang terutama memengaruhi lahan sawah yang terletak dekat pantai, seperti lahan sawah padi di Pantai Utara Jawa, yang merupakan pusat produksi padi utama di Indonesia. Akibatnya, masalah salin menimbulkan ancaman bagi keamanan pangan. Ini menjadikan mitigasi dan rehabilitasi lahan sawah padi salin sebagai prioritas utama dalam upaya untuk mempertahankan kemandirian pangan di Indonesia (Rachman dan Dariah, 2018).

Stres salin, atau peningkatan kandungan salin di lahan pertanian, mengancam produktivitas dan keamanan pangan nasional, terutama dalam pertanian padi. Sebagai negara tropis dan kepulauan dengan wilayah pesisir yang luas, Indonesia memiliki sejumlah besar tanah salin. Situasi ini diperkirakan akan memburuk pada masa depan karena perubahan iklim dan pemanasan global. Akan tetapi, varietas padi komersial toleran terhadap salin dan tersedia di pasar ternyata produktivitasnya tidak sebaik kultivar elite non-toleran (Sukawati, 2010; Sastro, dkk., 2022).

Dalam rangka upaya mendorong peningkatan daya toleransi dan produktivitas padi sawah di lahan salin perlu dilakukan penelitian terkait respons padi terhadap lahan salin dan pengumpulan informasi dan praktik pertanian dari petani padi yang lahannya terdampak salin. Penelitian ini bertujuan menggali respons tanaman kultivar padi yang ditanam warga setempat terhadap cekaman salin dan dicocokkan dengan perilaku pola pertanian petani penggarap setempat. Data ini dapat dijadikan acuan dalam pengembangan varietas padi yang lebih adaptif terhadap kondisi salin yang berproduksi tinggi, sesuai dengan preferensi petani dan menghasilkan padi dengan nilai pasar yang baik.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Tirtayasa, Kabupaten Serang, Provinsi Banten (Gambar 1; Tabel 1) dan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan, Kawasan Sains dan Teknologi Soekarno, BRIN, Cibinong. Penelitian dilaksanakan pada bulan September dan Oktober 2023.

lokasi terpisah yang jauh dari sungai Ciujung dan sedang ditanami padi jenis Inpari 32 agar dapat dibandingkan hasilnya. Padi yang diambil sampelnya meliputi jenis Inpari 32, Mekongga, Tengkurak, Hibrida SL II.



Gambar 1. Peta sungai Ciujung sebagai sumber utama air irigasi sawah petani sekaligus sebagai sumber utama intrusi air laut yang menyebabkan lahan sawah menjadi salin dan ketujuh titik pengambilan sampel di penelitian ini.

Sumber peta: Google Earth, dengan modifikasi.

Tahapan penelitian dimulai dengan kunjungan langsung ke lahan-lahan pertanian padi sawah milik petani setempat. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya menggali pengetahuan lokal dari generasi ke generasi terkait dengan pola penanaman padi dan cara petani lokal menghadapi tantangan lingkungan yang tingkat salinnya tinggi serta untuk memahami kedinamisan perkembangan cekaman salin di lahan sawah beserta dampak dari salin pada pertumbuhan dan hasil panen di wilayah Tirtayasa. Adapun narasumber yang diwawancarai meliputi tujuh orang petani padi sawah di masing-masing lokasi sampel dan lima orang pendamping pertanian setempat.

Tanaman padi jenis Inpari 32 adalah jenis padi yang banyak ditanam petani di Serang. Pemilihan lokasi pengambilan sampel dilakukan di lima titik di sepanjang bantaran sungai Ciujung dengan jarak sawah lokasi pengambilan sampel berkisar antara 0–500 meter dari tepi sungai Ciujung pada lahan salin dan terdapat padi jenis Inpari 32. Sedangkan pada lahan kontrol (tidak terdampak salin) dilakukan di dua

2.1. Pengambilan Informasi Kearifan Lokal Petani.

Pengumpulan informasi melalui wawancara lapangan dengan petani dilakukan pada petani yang telah berpengalaman dalam menanam padi, minimal selama 5 musim tanam terakhir. Wawancara ini bertujuan untuk memahami dampak salin di lahan pertanian mereka selama beberapa tahun ke belakang. Dalam proses wawancara, dibandingkan dampak salin di pertanian padi ketika terjadi peningkatan kadar salin lahan dengan kondisi ketika kadar salin rendah atau tidak salin sama sekali. Selain itu, turut digali juga pemahaman para petani setempat tentang risiko dampak yang ditimbulkan oleh pertanian padi di lahan dengan kadar salin yang tinggi.

Selama kunjungan ini, dikumpulkan data terkait perkembangan lahan dengan salin tinggi dari waktu ke waktu menurut komunitas petani lokal. Selain itu turut juga dilakukan observasi langsung di lokasi-lokasi penanaman padi di daerah dengan tingkat salin tinggi. Hasil

observasi ini kemudian dibandingkan dengan pertumbuhan padi di lahan non-salin selama periode waktu yang sama.

2.2. Pengambilan dan Preparasi Sampel Tanah.

Tanah diambil pada kedalaman 10–20 cm sebanyak 200 g dari tiga titik di sekitar masing-masing tanaman yang dijadikan sampel (tanah di area perakaran). Tanah dimasukkan dalam *polybag* hitam tanpa lubang dan dibawa ke laboratorium untuk dikering anginkan selama 3–4 hari, kemudian dihaluskan hingga lolos saringan dengan ukuran pori <2 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kondisi Kimia Tanah Lokasi Pengambilan Sampel

Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa lahan sawah yang berada dekat dengan sungai Ciujung berkadar salin tinggi dan dua lahan sawah yang berlokasi jauh dari sungai Ciujung berkadar salin rendah, bahkan mendekati normal, dan air sungai Ciujung berkadar salin sangat tinggi (Tabel 1). Sementara kondisi kemasaman di lahan dekat sungai Ciujung dan air sungai menunjukkan kadar kemasaman yang lebih rendah dibanding lahan yang jauh dari sungai Ciujung. Ini ditunjukkan dengan nilai

Tabel 1. Kondisi kimia (tingkat salin dan tingkat keasaman) dari sampel lahan dan sampel air sungai Ciujung yang diukur pada penelitian ini.

Lokasi	Keterangan	pH H ₂ O	EC (dS m ⁻¹)	Kadar Salin		GPS	
				ppm	persen (%)	Lat	Lon
Lokasi 1	Inpari 32	6,31	3,010	1.520	0,15	6°00'42.2" S	106°20'28.0" E
Lokasi 1	Mekongga	5,95	1,175	587	0,05	6°00'42.2" S	106°20'28.0" E
Lokasi 2	Inpari 32	5,24	5,840	2.940	0,29	6°00'56.8" S	106°20'21.1" E
Lokasi 3	Tengkurak (Tanaman padi telah mati, diduga karena salinitas)	5,74	2,340	1.170	0,11	5°59'34.5" S	106°20'15.2" E
Lokasi 4	Inpari 32	7,02	0,256	128	0,01	6°01'17.4" S	106°19'57.8" E
Lokasi 5	Inpari 32	7,27	0,870	435	0,04	6°01'17.5" S	106°20'01.0" E
Lokasi 6	Inpari 32	6,56	0,130	65	0,0065	6°03'30.2574" S	106°8'58.236" E
Lokasi 7	Hibrida SL II	6,39	0,137	70	0,007	6°03'26.5" S	106°08'57.1" E
Air Sungai	Sungai Ciujung disamping lokasi 1	7,08	19,650	11.100	1,11	6°00'42.2" S	106°20'28.0" E

2.3. Pengukuran pH, Kadar Salin, dan *Electrical Conductivity* pada Tanah dan Air.

Penelitian ini mengambil data kondisi kimia sampel yang meliputi tingkat salin tanah dan kadar pH di tujuh titik lokasi. Tujuh titik ini meliputi tiga lokasi lahan sawah dekat sungai Ciujung dan satu sampel dari air sungai Ciujung. Larutan sampel yang telah lolos saringan kemudian diukur kadar salin, pH dan *electrical conductivity* menggunakan *water quality tester* (Model C-600, Yieryi Technology Co, Shen Zhen, China). Analisa sifat tanah merujuk pada Eviati dan Sulaeman (2009).

pH sampel yang lebih rendah dari sampel yang diukur.

Nilai *Electrical Conductivity* (EC) sampel tanah terukur berkisar antara 0,256 hingga 5,84. Sedangkan kadar salinnya berkisar antara 0,01–0,29 persen, di mana sampel air dari sungai Ciujung menunjukkan kadar salin tertinggi di antara seluruh sampel. Ini ditandai dengan hasil analisis nilai EC air sungai yang menunjukkan angka 19,65 dan kadar salin senilai 1,11 persen. Di sisi lain, lokasi 6 dan 7 yang jauh dari sungai Ciujung menunjukkan kadar salin terendah di antara semua sampel, yaitu dengan nilai EC hanya 0,130 dan 0,137 dengan kadar salin 0,0065 persen dan 0,007 persen. Data ini

mengindikasikan bahwa air dari sungai Ciujung merupakan sumber dari cekaman salinitas bagi lahan padi sawah di sekitarnya. Adapun tingkat pH tanah dari sampel yang diambil menunjukkan keragaman, baik di lokasi yang dekat maupun yang jauh dari sungai Ciujung. Hal ini mengindikasikan cekaman salin di lokasi penelitian tidak berkorelasi dengan tingkat pH tanah.

Petani di Kecamatan Tirtayasa, umumnya mengandalkan air dari sungai Ciujung sebagai sumber irigasinya. Namun ada juga petani yang menggunakan air dari sumur resapan setempat sebagai alternatifnya. Meskipun air berasal dari sumur resapan, tanaman padi sawah di sana tetap menunjukkan gejala stres salin dan mengalami gagal panen. Tanah salin ditandai dengan kandungan garam mudah larut (NaCl , Na_2CO_3 , Na_2SO_4), yang secara signifikan dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Rachman dan Dariah, 2018). Selain itu, Sutono (2015) mencatat bahwa peningkatan kandungan natrium di lahan sawah padi dikaitkan dengan: (i) ketidakseimbangan antara pelepasan sungai air tawar dan penetrasi air asin dari laut; (ii) kedekatan sumber air salin permukaan ke lahan sawah padi; dan (iii) kecurigaan penyebaran air salin bawah permukaan di daratan (Sutono, 2015; Rachman dan Dariah, 2018). Oleh karena itu, tanah dengan salin tinggi tidak terbatas pada daerah pesisir tetapi juga dapat terjadi di tanah yang jauh, seperti tanah kering dengan curah hujan yang sangat rendah atau lahan sawah padi yang terkontaminasi dengan limbah kandungan salin tinggi (Rachman dan Dariah, 2018). Salin di daerah dekat pantai utara Jawa terutama disebabkan oleh penetrasi air laut ke darat, baik melalui permukaan tanah atau melalui resapan air di bawah permukaan tanah (*intrusion*). Air laut dapat melewati tubuh air, batu, bahan induk, dan tanah pori-pori dengan tekanan hidrostatik rendah, sehingga tidak dapat menahan air laut (Marwanto, dkk., 2009; Rachman dan Dariah, 2018). Atas dasar tersebut, salinitas lahan sawah yang ditemukan di penelitian ini diduga terutama merupakan hasil penetrasi air laut melalui aliran sungai Ciujung. Intrusi air laut yang terjadi adalah melalui aliran air di permukaan tanah maupun melalui resapan air di bawah permukaan tanah.

3.2. Observasi di Lapangan dan Wawancara dengan Petani Padi

Petani di Kecamatan Tirtayasa berpendapat bahwa sumber salinitas di lahan mereka berasal dari intrusi air laut melalui aliran sungai Ciujung yang langsung terhubung dengan laut di daerah pesisir utara pulau Jawa. Peralihan fungsi lahan memengaruhi fungsi penyimpanan cadangan air, rendahnya curah hujan ketika musim kemarau dan penggunaan air tanah dalam jumlah besar oleh warga diduga menjadi faktor yang mengakibatkan tanah pertanian yang ada memiliki tekanan hidrostatika tanah yang rendah dan mengakibatkan intrusi aliran air laut ke lahan pertanian meningkat tidak terkendali. Hal ini juga ditambah dengan banyaknya penebangan vegetasi pepohonan, penghilangan hutan bakau di areal pantai dalam rentang 20 tahun terakhir di wilayah Tirtayasa untuk fungsi pertanian, pemukiman dan tambak ikan. Dampak yang terjadi adalah meningkatnya kadar salin tanah yang berperan atas penurunan hasil panen secara signifikan, bahkan hingga gagal panen. Hasil wawancara juga mengungkap bahwa luasan lahan sawah petani yang terdampak salin makin meningkat dari tahun ke tahun. Berdasarkan hasil wawancara dengan petani diketahui bahwa isu kondisi stres salin pada lahan sawah di wilayah Tirtayasa belum muncul di era 1980-an hingga awal 1990-an. Seiring pertambahan penduduk dan pemukiman warga, yang diiringi dengan menurunnya jumlah pepohonan, dan vegetasi pohon bakau di pesisir pantai utara pulau Jawa mengakibatkan peningkatan intrusi air laut ke lahan sawah dari tahun ke tahun. Hal ini didukung dengan data citra satelit (Gambar 2) yang merekam data area di sekitar aliran sungai Ciujung di wilayah Kecamatan Tirtayasa selama tiga dekade terakhir. Citra satelit menunjukkan bahwa pada tahun 1992 muara sungai Ciujung masih tampak kehijauan, menandakan vegetasi pesisir yang masih baik. Hal ini mulai berubah pada citra satelit tahun 2002. Pada tahun 2002 mulai tampak petakan-petakan yang diduga tambak ikan ataupun sawah. Pada citra tahun 2002utupan vegetasi sekitar sungai Ciujung sudah tidak sebanyak pada tahun 1992. Citra satelit juga menunjukkan bahwa pada tahun 2012 dan 2022 jumlah vegetasi menjadi jauh berkurang dibanding kondisi pada tahun 1992,

sementara jumlah petakan di area yang sama telah bertambah banyak.

menyusup ke tanah, juga ditambah dengan menurunnya jumlah vegetasi penutup tanah



Gambar 2. Citra satelit yang menggambarkan kondisi bantaran dan muara sungai Ciujung, Kecamatan Tirtayasa selama 30 tahun terakhir. Gambar ini menunjukkan tutupan vegetasi mendominasi lahan di sekitar sungai Ciujung pada tahun 1992. Sedangkan pada tahun 2002, 2012 dan 2022 jumlah vegetasi sudah jauh berkurang, sementara jumlah petakan yang diduga sawah dan tambak ikan warga bertambah banyak.

Sumber gambar: google earth.

Situasi tersebut diperburuk oleh fakta bahwa tidak semua saluran sungai di daerah pesisir Jawa utara (termasuk sungai Ciujung) memiliki gerbang untuk mencegah air laut memasuki daerah lahan pertanian. Akibatnya, sejumlah lahan sawah padi di daerah ini mengalami peningkatan kandungan salin. Titik persimpangan antara air asin dan air tawar kadang-kadang terjadi di tepi pantai ketika debit air sungai sedang tinggi, tetapi dapat meresap meluas jauh ke dalam daratan ketika debit air sungai sedang mencapai titik terendah (Rachman dan Dariah, 2018). Pada gilirannya, situasi ini akan meningkatkan kadar salin tanah dan memperluas area lahan sawah padi yang terkena cekaman salin di wilayah yang dekat dengan laut.

Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Rachman dan Dariah (2018), yang menyatakan bahwa berkurangnya vegetasi di areal resapan air tanah yang tersisa, peningkatan populasi, dan perubahan pola penggunaan lahan turut memperburuk kondisi lahan salin. Sebagai akibatnya, daerah infiltrasi air tanah yang tersisa tidak lagi mampu menyerap air hujan ke dalam tanah dan menyimpannya. Peningkatan pemukiman penduduk di daerah infiltrasi air tanah turut menghalangi penyerapan aliran air permukaan, mengurangi kemungkinan air untuk

yang menjadi makin berkurang. Kecepatan laju pengembangan yang makin meningkat juga berperan membawa sumber air asin lebih dekat dengan lahan sawah. Akibatnya, terjadi peningkatan penetrasi air asin ke lahan pertanian yang dapat menyebabkan tanaman padi tidak berkembang dengan baik, hingga menyebabkan kematian tanaman. Selain itu, juga perlu untuk mempertimbangkan bahwa tanah yang tetap tergenang air asin terus menerus selama tiga hari atau lebih memiliki potensi untuk menjadi salin, terutama jika banjir air laut terjadi secara teratur dan berulang-ulang menyebabkan tanah tidak lagi dapat ditanami (Rachman dan Dariah, 2018). Faktor-faktor tersebut menunjukkan risiko peningkatan lahan pertanian yang terpengaruh oleh salin di pesisir utara pulau Jawa. Namun, hingga saat ini, tidak ada data yang akurat tentang potensi luasan lahan sawah padi yang menjadi salin dari tahun ke tahun di Indonesia (Rachman dan Dariah, 2018). Dengan demikian, temuan dari penelitian ini dapat menjadi informasi tambahan sehubungan dengan distribusi tanah salin di Jawa bagian utara.

Selain itu, dari wawancara dengan petani juga diketahui bahwa stres salin yang rutin terjadi selama musim kering menyebabkan penurunan panen tanaman padi dan berujung

pada penurunan pendapatan mereka. Hal ini karena bibit unggul tanaman padi yang tersedia di pasaran umumnya rentan terhadap stres salin, yang dapat mengakibatkan tingkat kegagalan tanaman hingga 100 persen. Ini, pada gilirannya, memiliki implikasi terhadap kesejahteraan ekonomi petani. Petani yang ditemui sangat bergantung pada rekomendasi petugas penyuluh pertanian untuk menanam varietas komersial. Mereka mengambil pendekatan ini karena dianggap melibatkan risiko kegagalan tanaman yang lebih rendah.

Hal ini juga didukung oleh pernyataan Rachman dan Dariah (2018), bahwa cekaman salin di lahan pertanian yang tidak ditangani dapat berdampak signifikan pada produktivitas tanaman dan kesejahteraan petani padi. Hal ini karena usaha pertanian padi yang dikerjakan tidak dapat menghasilkan keuntungan yang cukup ketika dilakukan di tanah dengan tingkat salin yang tinggi dan permanen. Setelah sumber natrium bereaksi dengan tanah, sifat salinitas yang sebelumnya transitif dapat berubah menjadi kondisi permanen, menyebabkan berbagai kerugian dalam pertanian padi, terutama di daerah yang rentan terpapar cekaman salin stres (Rachman dan Dariah, 2018).

Selain itu, petani yang diwawancarai mengatakan bahwa penanaman padi di lahan yang memiliki pasokan air sepanjang tahun melalui irigasi teknis selama musim kemarau dapat menghasilkan panen yang lebih besar daripada penanaman padi selama musim hujan. Melimpahnya suplai sinar matahari bersama dengan ketersediaan air yang cukup diyakini berkorelasi positif dengan hasil panen padi yang lebih tinggi. Sayangnya, area yang menerima irigasi teknis selama musim kering sangatlah terbatas. Sebagian besar petani di lokasi penelitian ini bergantung pada sungai Ciujung sebagai sumber air irigasi pertanian mereka, tetapi air sungai ini akan menjadi salin selama musim kemarau.

3.3. Efek Cekaman Salin pada Tanaman Padi Petani

Petani di Tirtayasa, Serang, Banten umumnya menanam varietas padi komersial (Inpari 32, Inpari 64, Hibrida SL II, Ciherang, Tengkurak, Pajero, Mekongga). Mereka memilih

jenis ini karena benihnya mudah diperoleh, memiliki potensi hasil panen yang tinggi dan mudah menjual hasilnya. Pada penelitian ini juga diketahui bahwa petani di sana menganggap kultivar komersial padi tahan salin yang saat ini ada di pasar setempat memiliki karakteristik yang kurang disukai petani. Berdasarkan pengalaman petani sebelumnya, kultivar padi tahan salin di lahan mereka memiliki potensi hasil jauh lebih rendah, sekalipun sudah diberikan perlakuan agronomis secara optimum oleh petani (pemupukan, pengendalian hama-penyakit, olah tanah, pengapuran dan penggunaan benih unggul). Ketersediaan benih padi tahan salin juga mereka rasa sulit diperoleh dan program diseminasi serta pengkajian teknologi benih aksesori padi tahan salin belum optimal sampai di petani padi setempat.

Cekaman lahan salin berdampak pada ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Petani di wilayah terdampak salin pada musim kering menghadapi penurunan pendapatan akibat hasil panen yang menurun drastis, hingga gagal panen. Hasil pengamatan menunjukkan padi sawah jenis Inpari 32, Tengkurak, dan Mekongga yang sedang ditanam petani menunjukkan respons tidak tahan terhadap stres salin, yang ditandai dengan banyaknya bulir kosong yang dihasilkan, terhambatnya pertumbuhan, hingga kematian tanaman. Jenis Inpari 64, Hibrida SL II, Ciherang, dan Pajero juga mengalami gagal panen jika ditanam di lahan sawah yang berkadar salin tinggi. Hal tersebut terjadi karena varietas padi hibrida umumnya tergolong tidak tahan pada cekaman salinitas (Sastro, dkk., 2022).

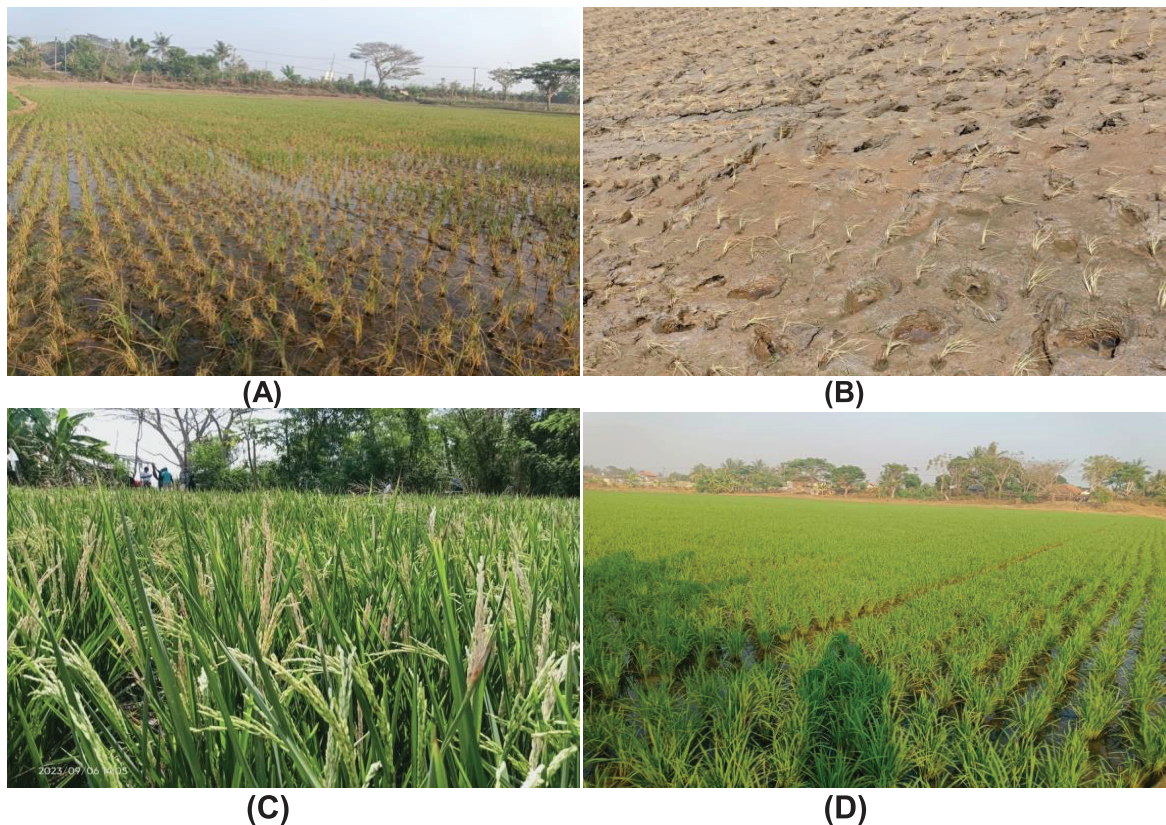
Sejumlah penelitian beragam respons tanaman padi terhadap stres salin turut mengungkapkan bahwa salinitas berdampak buruk pada tanaman padi. Hal ini meliputi; sistem akar padi yang kurang berkembang, daun menguning dan mengering, lebih sedikit bulir per tanaman, tanaman yang lebih pendek, produksi biomassa yang menurun, jumlah biji yang lebih rendah per malai, bobot seribu benih yang menurun, dan bunga yang lebih steril, yang menyebabkan penurunan indeks hasil panen tanaman padi (Hakim, dkk., 2014; Machado dan Serralheiro, 2017; Razzaq, dkk., 2020; van Zelm, dkk., 2020). Di samping itu, stres salin turut

memengaruhi biokimia dan fisiologi tumbuhan pada setiap tahap perkembangan, dari tahap germinasi hingga penuaan (Muranaka, dkk., 2002; Murphy, dkk., 2003; Lodeyro dan Carrillo, 2015; Liu, dkk., 2022). Proses kematian akibat salin dimulai dengan pengeringan ujung daun yang lebih tua, maju ke dasar daun, kemudian ke daun muda, dan akhirnya ke titik pertumbuhan. Tanaman padi mengering di tengah kondisi air tersedia mencukupi di lahan sawah padi (Rachman dan Dariah, 2018). Akumulasi dari sejumlah dampak negatif inilah yang diduga menjadi penyebab banyaknya bulir kosong dan kematian tanaman padi yang ditemukan pada penelitian ini.

Respons padi ketika terpapar salin sangat bergantung pada umur tanaman. Ketika tanaman padi berumur kurang dari 12 hari setelah tanam (hst) terpapar salin, tanaman padi mengalami

kematian yang cepat. Pada umur tanam sekitar 30 hst, meskipun proses kematian berlangsung lebih lambat namun tanaman padi tetap mati pada akhirnya. Pada umur tanam sekitar 55 hst, tanaman padi menunjukkan tanda-tanda seperti masa bunting yang lebih lama, penundaan waktu keluarnya bulir, serta perubahan warna daun menjadi kemerahan. Di sisi lain, pada umur tanam sekitar 65 hari, tanaman padi mengalami perubahan yang lebih drastis, termasuk perubahan warna daun menjadi kemerahan, gangguan dalam fase pengisian bulir, dan banyaknya bulir yang kosong (Gambar 3).

Tingginya tingkat kematian tanaman padi jika terpapar salin pada umur di bawah 12 hst diduga karena masih rentannya tanaman padi pada fase vegetatif awal. Germinasi benih dan pertumbuhan bibit transplantasi mewakili fase yang paling kritis dalam menumbuhkan



Gambar 3. (A) tanaman padi jenis Inpari 32 sawah umur 20 hst mati seluruhnya setelah seminggu terpapar salin. (B) tanaman padi jenis Inpari 32 umur 25 hst mulai mengalami kekeringan dan kematian pada daun tertuanya, menjalar ke daun yang lebih muda sebelum akan mati sepenuhnya. (C) tanaman padi jenis Mekongga umur 63 hst dan di fase pengisian bulir setelah 7 hari terpapar salin tidak sepenuhnya mati namun menjadikan bulirnya kosong dan mengakibatkan hasil panen yang rendah. (D) padi jenis Inpari 32 umur 28 hst yang tidak terpapar salin kondisinya tumbuh sehat dan tidak ada gejala kering daun ataupun kematian.

tanaman padi yang sehat, dengan salin memiliki efek buruk pada produktivitas padi di tanah salin (Hussain dkk., 2018b). Dampak merugikan dari salin lebih jelas selama germinasi benih di bibit padi, karena tanaman sangat sensitif terhadap stres salin selama tahap awal dibandingkan dengan fase pengembangan selanjutnya (Jenks, dkk., 2007; Läuchli dan Grattan, 2007; Hussain, dkk., 2018b).

Diketahui juga bahwa kematian tanaman padi karena salin turut disebabkan oleh akumulasi sejumlah besar ion Na^+ dan penurunan kadar ion Ca , Mg , dan K yang dapat digunakan oleh tanaman (Rachman dan Dariah, 2018). Peningkatan penyerapan Na^+ selama tahap penanaman dan pengembangan tanaman mengurangi rasio K^+/Na^+ , yang mengarah pada efek toksisitas Na^+ , dan selanjutnya mengakibatkan kematian sel dan kerusakan daun. Pada tingkat seluler, kondisi ini turut memengaruhi filamen aktin dan mikrotubulus tanaman, sehingga menyebabkan gangguan dalam pembelahan dan peregangan sel dan menghambat pertumbuhan tanaman (Hussain dkk., 2018b).

Tanaman padi yang ditanam petani di sana pada umur dibawah 40 hst setelah terpapar air salin dari sungai Ciujung sudah akan kasat mata dampak salinnya. Pada tanaman rentang umur ini, jika terpapar salin lebih dari 7 hari maka hampir pasti selalu mematikan mayoritas tanaman padi dan mengakibatkan gagal panen total. Gejalanya dimulai dari daunnya yang paling ujung berwarna kekuningan, layu dan kemudian nekrosis hingga berujung pada kematian tanaman akibat serangan salin. Sedangkan tanaman terkena salin di atas 40 hst sampai 60 hst, dampaknya berupa daun tanaman banyak yang layu mengering, namun sejumlah besar tanaman masih dapat bertahan hidup. Sedangkan jika umurnya lebih dari 60 hst maka masih ada harapan hasil panen gabah walaupun hasilnya akan menurun jauh. Berdasarkan literatur, diketahui pada padi lahan sawah salin tinggi, tanaman padi biasanya mulai mati sejak hari keempat setelah penanaman ketika mereka berumur sekitar 30 hari (Rachman dan Dariah, 2018). Namun, toleransi tanaman dan tahap reproduksi tampaknya kurang berkorelasi, mungkin karena keterlibatan set

gen yang berbeda pada tahap perkembangan yang berbeda dalam menanggapi stres salin (Moradi dan Ismail, 2007; Razzaque, dkk., 2019). Karena tekanan osmotik akibat potensi air yang lebih rendah dari larutan eksternal, menyebabkan tanaman kekurangan air dan larutan setelah terkena cekaman salin dan pada akhirnya akan menyebabkan tanaman mati dengan cepat (Munns, dkk., 2000; Fricke, dkk., 2004; Qin, dkk., 2020; Zhao, dkk., 2020).

Di sisi lain, dampak negatif tanah salin pada daun tanaman padi diduga merupakan konsekuensi dari dampak cekaman salin pada padi meliputi penutupan stomata yang menyebabkan peningkatan suhu daun dan inhibisi perpanjangan sel (Hussain, dkk., 2018b). Stres osmotik diduga menjadi penyebab penutupan stomata yang cepat, mengurangi kemampuan tanaman untuk menyerap CO_2 dan menghambat fotosintesis (Wegner, dkk., 2011; Liu, dkk., 2022). Stres salin juga turut mengakibatkan penurunan pigmen klorofil sehingga memengaruhi fotosintesis dan distribusi nutrisi. Hal tersebut pada akhirnya akan menyebabkan penurunan hasil panen (Hussain, dkk., 2018b). Dalam sebuah studi terpisah, Dionisio-Sese dan Tobita (2000) mengamati penurunan tingkat fotosintesis bersih dari empat genotipe padi karena tingkat salin tanah yang meningkat. Penurunan ini disebabkan oleh pengaruh langsung stres salin pada stomata tanaman, yang mengurangi turgor sel-sel penjaga di daun. Meskipun kandungan klorofil tetap tidak terpengaruh, fotosintesis berkurang diakibatkan peningkatan kandungan NaCl dalam daun (Dionisio-Sese dan Tobita, 2000; Hussain, dkk., 2018b).

Selain itu, banyaknya gabah kosong pada tanaman padi di lahan salin yang ditemukan di penelitian ini sejalan dengan hasil berbagai penelitian serupa. Sejumlah penelitian mengungkapkan bahwa stres salin secara signifikan mengurangi produksi gabah, bobot panen kering, dan pertumbuhan daun, diakibatkan oleh penghambatan inisiasi dan ekspansi daun karena akumulasi ion dalam daun, yang dikenal sebagai stres osmotik (Munns dan Tester, 2008; Mahmood, dkk., 2009; Rajendran, dkk., 2009; Horie, dkk., 2012; Hussain, dkk., 2018b). Stres salin juga mengurangi agronomi

tanaman, yaitu: luas daun, tingkat pertumbuhan daun, dan jumlah anakan per tanaman terutama melalui pengurangan jumlah dan tingkat perpanjangan sel (Hairmansis, dkk., 2014; Hussain, dkk., 2018b).

Lebih jauh, hasil pengamatan mikroskopis akar tanaman padi menunjukkan tanaman padi yang dibudidayakan di lahan sawah non-salin dibandingkan lahan sawah salin memiliki sifat morfologi yang kontras. Perakaran tanaman padi yang ditanam di lahan non salin (Gambar 4A) memiliki jumlah rambut akar yang lebih melimpah dan lebih lebat apabila dibandingkan dengan tanaman padi yang ditanam dalam kondisi lingkungan salin tinggi (Gambar 4B dan 4C).

Adanya perbedaan struktur morfologi akar tanaman padi di tanah non-salin dibandingkan dengan yang tumbuh di lingkungan salin juga sejalan dengan penelitian Hussain dkk. (2018a) yang menemukan bahwa cekaman osmotik yang diinduksi salinitas juga akan turut mempengaruhi fungsi akar (Hussain dkk., 2018b). Ini karena sistem akar tumbuhan secara langsung berinteraksi dengan tanah salin.

Seperti yang dicatat oleh Julkowska, dkk. (2014) respons padi terhadap salin dimulai oleh sistem akar, yang merupakan jaringan utama tanaman yang paling awal terpapar stres salin (Julkowska dkk., 2014; Liu dkk., 2022). Penelitian terpisah juga menunjukkan bahwa stres salin dapat merusak akar dan metabolisme akar dengan merusak dinding sel, pemblokiran apoplas, gangguan fungsi mitokondria dan sitosol, perubahan dalam ekspresi berbagai gen dan enzim, serta gangguan pada fungsi organel (Maia, dkk., 2013; Flowers dan Colmer, 2015; Hussain dkk., 2018b). Selain itu, paparan stres salin terhadap padi merusak pertumbuhan tanaman melalui beberapa faktor, termasuk stres osmotik, toksisitas ion, ketidakseimbangan nutrisi, dan efek kumulatif dan interaktif dari faktor-faktor ini (Ashraf dan Harris, 2004; Flowers dan Flowers, 2005; Singam, dkk., 2011; Hussain dkk., 2018b). Kehadiran larutan tanah salin di zona akar tanaman meningkatkan tekanan osmotik, membuatnya sulit bagi akar tanaman untuk menyerap air sehingga mengakibatkan kekeringan fisiologis pada tanaman. Dalam kondisi di mana konsentrasi



(A)



(B)



(C)

Gambar 4. Kondisi akar tanaman padi jenis Inpari 32 dari lokasi sawah di Tirtayasa, Serang, Banten di bawah mikroskop dengan pembesaran mikroskop visual 40X. Akar dari padi yang ditanam di sawah dengan kadar salin rendah memiliki jumlah rambut akar yang lebih lebat (A) dibanding akar padi di kondisi lahan berkadar salin tinggi (B) (C).

salin tanah cukup tinggi, air dalam sel tumbuhan bergerak ke luar akan menyebabkan dinding protoplasma menyusut dan sel-sel menjadi rusak (*plasmolysis*) (Rachman dan Dariah, 2018). Semua faktor ini diyakini berkontribusi pada penurunan jumlah rambut akar pada tanaman padi dalam kondisi tanah salin yang ditemukan dalam penelitian ini.

Untuk mengatasi tantangan ini, genotipe padi toleran dapat menahan salin tanah melalui mekanisme biologis seperti osmoregulasi, keseimbangan ion, mekanisme apoplastik, sintesis antioksidan, regulasi genetik dan hormonal terkait ketahanan salin, dan produksi protein responsif stres lingkungan (Hussain, dkk., 2018b). Namun, telah ditemukan juga bahwa tanaman padi toleran yang saat ini ada mampu bertahan di kondisi salin, tetapi hanya menghasilkan biji yang relatif sedikit (Rachman dan Dariah, 2018). Oleh karenanya pada masa depan diperlukan pengembangan kultivar padi tahan salin yang lebih baik dari yang ada saat ini.

3.4. Pemuliaan Tanaman dalam Penanganan Stres Salin dalam Pertanian Padi

Pada studi ini terungkap bahwa tanah yang terpengaruh oleh salin menghalangi kemampuan petani untuk membudidayakan padi secara optimal. Oleh karena itu, petani sangat mengharapkan adanya program pemuliaan varietas padi yang toleran cekaman salin. Dalam konteks ini, diharapkan bahwa berbagai kemajuan dalam penelitian dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan jenis tanaman padi baru yang toleran salin dan berproduksi tinggi. Akses padi yang toleran salin akan memungkinkan petani di Tirtayasa, Serang untuk dapat bertani padi sepanjang tahun dan memberikan hasil panen yang tinggi. Hal ini juga didukung oleh pandangan Zhao, dkk. (2020) dan Liu, dkk. (2022) yang menyatakan bahwa masalah salin tanah yang sedang berlangsung merupakan ancaman yang signifikan bagi produksi padi dan keamanan pangan pada masa depan. Untuk mengatasi tantangan lingkungan ini, pendekatan yang paling efektif adalah pembiakan dan penanaman varietas padi toleran salin (Zhao, dkk., 2020; Liu, dkk., 2022).

Sejumlah mekanisme genetik yang berkontribusi pada toleransi tanaman padi

terhadap salin telah berhasil diidentifikasi. Namun, penting juga untuk dicatat bahwa toleransi salin adalah sifat kompleks yang diatur oleh banyak gen dengan efek yang berbeda pada alur metabolisme yang beragam (Hussain, dkk., 2018b). Menurut Razzaque, dkk. (2019), toleransi salin adalah sifat poligenetik yang dipengaruhi oleh beragam mekanisme fisiologis terpisah. Sifat dan mekanisme ini bervariasi secara signifikan di antara genotipe tanaman (Razzaque, dkk., 2019). Dalam rangka meningkatkan toleransi salin tanaman, dua pendekatan utama telah digunakan adalah pemanfaatan variasi genetik alami antara varietas tanaman yang toleran dan sensitif, serta menghasilkan tanaman transgenik dengan gen baru atau merubah pola tingkat ekspresi dari gen ketahanan yang ada (Zhang, dkk., 2004; Liu, dkk., 2022). Karena itu, keanekaragaman dari varietas padi lokal yang ada merupakan potensi sifat unggul dan sumber daya genetik yang ke depannya dapat digunakan dalam rangka merakit padi yang memiliki beragam sifat toleran cekaman lahan salin.

Pengetahuan dalam merakit jenis padi tahan salin telah coba digali melalui berbagai penelitian. Di antaranya Hussain, dkk. (2018), menemukan bahwa kemampuan padi untuk menahan salin tanah terkait pada mekanisme biologisnya seperti osmoregulasi, keseimbangan ion, asidifikasi apoplastik, sintesis antioksidan, regulasi genetik dan hormonal, dan produksi protein responsif stres (Hussain, dkk., 2018b). Selain itu, peneliti lain telah mengungkapkan bahwa mekanisme umum untuk toleransi salin di padi melibatkan mempertahankan kandungan Na^+ yang lebih rendah. Hal ini dapat dicapai melalui ekskresi natrium dari sel tanaman, sekresi yang efektif dari salin beracun ke dalam daun dan akar yang lebih tua, serta pengisolasian Na^+ ke dalam vakuola maupun keluar dari sel (Lin, dkk., 2004; Ren, dkk., 2005; Cotsaftis, dkk., 2012; Kavitha, dkk., 2012; Platten, dkk., 2013; Maathuis, dkk., 2014; Rahman, dkk., 2016; Razzaque, dkk., 2019). Berbagai temuan ini dapat menjadi petunjuk untuk mengkaraktisasi sifat sifat unggul ketahanan salin dari varietas padi lokal yang ada.

Lebih jauh, untuk meningkatkan resistensi padi terhadap salin, gen yang menyandi sifat

ketahanan cekaman salin tersebut dapat ditemukan di aksesori padi lokal. Selanjutnya gen target ini dapat disisipkan ke dalam genom padi melalui metode rekayasa genetik atau dengan *interspecific crossbreeding*. Pendekatan ini pada akhirnya dapat mengarah pada produksi tanaman padi yang toleran terhadap salin (Hussain, dkk., 2018b). Selain itu, pengurutan basa genom (*genome sequencing*) dari tanaman padi juga telah turut memberikan wawasan berharga dalam meningkatkan pemahaman genomik fungsional. Ini pada gilirannya, memungkinkan pemahaman yang lebih mendalam tentang toleransi salin pada tingkat fisiologis dan molekuler untuk manajemen stres salin yang lebih baik di padi.

Di samping itu, berbagai gen terkait toleransi salin juga telah berhasil diintegrasikan ke dalam padi melalui sejumlah penelitian bidang rekayasa genetika tanaman. Namun demikian, pembiakan tanaman konvensional tetaplah dinilai sebagai strategi penanganan berkelanjutan untuk mengatasi stres biotik dan abiotik. Setelah varietas yang toleran terhadap salin berhasil dikembangkan, diyakini praktik pertanian standar akan mampu memproduksi hasil panen yang memuaskan. Namun terlepas dari sejumlah kemajuan ilmiah yang ada, penting untuk dicatat juga bahwa sejauh ini belum ada genotipe padi ataupun manajemen budidaya pertanian yang dilaporkan telah mampu sepenuhnya menghilangkan tantangan yang muncul oleh cekaman lahan salin (Hussain dkk., 2018b). Oleh karena itu, penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan adaptabilitas padi terhadap stres salin menjadi penting untuk dikembangkan lebih lanjut.

IV. KESIMPULAN

Lahan pertanian padi sawah di wilayah Tirtayasa, Kabupaten Serang, provinsi Banten, Indonesia terdampak cekaman salin akibat intrusi air laut melalui sungai Ciujung ketika musim kemarau. Hal ini berdampak negatif pada pertanian padi di sana yang ditandai dengan rendahnya jumlah rambut akar, kematian tanaman padi umur muda, banyaknya bulir kosong, hingga gagal panen. Hasil berbeda diperoleh pada padi yang ditanam di lahan tidak terpapar air dari sungai Ciujung dan kondisi lahan tidak salin. Padi ini memiliki rambut akar

yang lebih lebat, mampu hidup baik dan tidak mengalami gagal panen. Saat ini petani tidak puas dengan jenis padi tahan salin yang umum ditanam karena potensi hasil panennya yang rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis ingin berterima kasih kepada Organisasi Penelitian Ilmu Hayati dan Lingkungan, Badan Penelitian dan Inovasi Nasional (BRIN) Indonesia, atas dukungan dan fasilitas riset yang diberikan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, M., and P. J. C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166(1): 3–16. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2003.10.024>
- Cotsaftis, O., D. Plett, N. Shirley, M. Tester, and M. Hrmova. 2012. A two-staged model of Na⁺ exclusion in rice explained by 3d modeling of HKT transporters and alternative splicing. *PLoS ONE*, 7(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039865>
- Dionisio-Sese, M. L., and S. Tobita. 2000. Effects of salinity on sodium content and photosynthetic responses of rice seedlings differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 157(1): 54–58. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80135-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80135-2)
- Egamberdieva, D., S. Wirth, S. D. Bellingrath-Kimura, J. Mishra, and N. K. Arora. 2019. Salt-Tolerant Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Enhancing Crop Productivity of Saline Soils. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02791>
- Eviati, S., dan M. Sulaeman. 2009. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah. 246 halaman.
- FAO. 2021. *Global Map of Salt-Affected Soils*. Italia: FAO Rome.
- Flowers, T. J., and T. D. Colmer. 2015. Plant salt tolerance: Adaptations in halophytes. *Annals of Botany*, 115(3): 327–331. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu267>.
- Flowers, T. J., and S. A. Flowers. 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? *Agricultural Water Management*, 78(1–2): 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.04.015>
- Fricke, W., G. Akhiyarova, D. Veselov, and G. Kudoyarova. 2004. Rapid and tissue-specific changes in ABA and in growth rate in response to salinity in barley leaves. *Journal of Experimental*

- Botany*, 55(399): 1115–1123. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh117>.
- Ghassemi, F., A. J. Jakeman, and H. A. Nix. 1995. *Salinisation of Land and Water Resources: Human Causes, Extent, Management and Case Studies*. CAB International.
- Hairmansis, A., B. Berger, M. Tester, and S. J. Roy. 2014. Image-based phenotyping for non-destructive screening of different salinity tolerance traits in rice. *Rice*, 7(1): 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12284-014-0016-3>.
- Hakim, M. A., A. S. Juraimi, M. M. Hanafi, M. R. Ismail, A. Selamat, M. Y. Rafii, and M. A. Latif. 2014. Biochemical and anatomical changes and yield reduction in rice (*Oryza sativa* L.) under varied salinity regimes. *BioMed Research International*, 2014.
- Horie, T., I. Karahara, and M. Katsuhara. 2012. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. *Rice*, 5(1): 1–18. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-5-11>
- Hussain, M., S. Ahmad, S. Hussain, R. Lal, S. Ul-Allah, and A. Nawaz. 2018a. Rice in saline soils: physiology, biochemistry, genetics, and management. *Advances in Agronomy*, 148: 231–287.
- Hussain, M., S. Ahmad, S. Hussain, R. Lal, S. Ul-Allah, and A. Nawaz. 2018b. Rice in saline soils: physiology, biochemistry, genetics, and management. *Advances in Agronomy*, 148:1. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.11.002>
- Jenks, M. A., P. M. Hasegawa, S. M. Jain, and M. Foolad. 2007. *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Springer.
- Julkowska, M. M., H. C. J. Hoefsloot, S. Mol, R. Feron, G. J. De Boer, M. A. Haring, and C. Testerink. 2014. Capturing arabidopsis root architecture dynamics with root-fit reveals diversity in responses to salinity. *Plant Physiology*, 166(3): 1387–1402. <https://doi.org/10.1104/pp.114.248963>
- Kamran, M., A. Parveen, S. Ahmar, Z. Malik, S. Hussain, M. S. Chattha, M. H. Saleem, M. Adil, P. Heidari, and J. T. Chen. 2020. An overview of hazardous impacts of soil salinity in crops, tolerance mechanisms, and amelioration through selenium supplementation. *International Journal of Molecular Sciences*: 21(1), 1–27. <https://doi.org/10.3390/ijms21010148>
- Kavitha, P. G., A. J. Miller, M. K. Mathew, dan F. J. M. Maathuis. 2012. Rice cultivars with differing salt tolerance contain similar cation channels in their root cells. *Journal of Experimental Botany*, 63(8): 3289–3296. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers052>.
- Läuchli, A., and S. R. Grattan. 2007. Plant growth and development under salinity stress. *Advances in Molecular Breeding toward Drought and Salt Tolerant Crops*, 1–32.
- Lin, H. X., M. Z. Zhu, M. Yano, J. P. Gao, Z. W. Liang, W. A. Su, X. H. Hu, Z. H. Ren, and D. Y. Chao. 2004. QTLs for Na⁺ and K⁺ uptake of the shoots and roots controlling rice salt tolerance. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(2): 253–260. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1421-y>
- Liu, C., B. Mao, D. Yuan, C. Chu, and M. Duan. 2022. Salt tolerance in rice: Physiological responses and molecular mechanisms. *Crop Journal*: 10(1), 13–25. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2021.02.010>
- Lodeyro, A. F., and N. Carrillo. 2015. Salt stress in higher plants: mechanisms of toxicity and defensive responses. *Stress Responses in Plants: Mechanisms of Toxicity and Tolerance*: 1–33.
- Ma, X., F. Feng, H. Wei, H. Mei, K. Xu, S. Chen, T. Li, X. Liang, H. Liu, and L. Luo. 2016. Genome-wide association study for plant height and grain yield in rice under contrasting moisture regimes. *Frontiers in Plant Science*, 7(1801): 1–13.
- Maathuis, F. J. M., I. Ahmad, and J. Patishtan. 2014. Regulation of Na⁺ fluxes in plants. *Frontiers in Plant Science*, 5 (Sep): 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00467>
- Machado, R. M. A., and R. P. Serralheiro. 2017. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. *Horticulturae*, 3(2), 30; 1–13.
- Mahmood, A., T. Latif, and M. A. Khan. 2009. Effect of salinity on growth, yield and yield components in basmati rice germplasm. *Pakistan Journal of Botany*, 41(6): 3035–3045.
- Maia, J. M., E. L. Voigt, S. L. Ferreira-Silva, A. V. Fontenele, C. E. C. Macêdo, and J. A. G. Silveira. 2013. Differences in cowpea root growth triggered by salinity and dehydration are associated with oxidative modulation involving types I and III peroxidases and apoplastic ascorbate. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(2): 376–387. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9308-2>
- Marwanto, S., A. Rachman, D. Erfandi, dan I. G. M. Subiksa. 2009. *Tingkat salinitas tanah pada lahan sawah intensif di Kabupaten Indramayu, Jawa Barat*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Moradi, F., and A. M. Ismail. 2007. Responses of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seedling and reproductive stages in rice.

- Annals of Botany*, 99(6): 1161–1173. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm052>
- Munns, R., J. Guo, J. B. Passioura, and G. R., Cramer. 2000. Leaf water status controls day-time but not daily rates of leaf expansion in salt-treated barley. *Australian Journal of Plant Physiology*, 27(10), 949–957. <https://doi.org/10.1071/pp99193>.
- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Muranaka, S., K. Shimizu, and M. Kato. 2002. Ionic and osmotic effects of salinity on single-leaf photosynthesis in two wheat cultivars with different drought tolerance. *Photosynthetica*, 40:201–207.
- Murphy, L. R., S. T. Kinsey, and M. J. Durako. 2003. Physiological effects of short-term salinity changes on *Ruppia maritima*. *Aquatic Botany*, 75(4): 293–309. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(02\)00206-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(02)00206-1)
- Negacz, K., Ž. Malek, A. de Vos, and P. Vellinga. 2022. Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*, 203, 104775. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104775>
- Platten, J. D., J. A. Egdane, and A. M. Ismail. 2013. Salinity tolerance, Na⁺ exclusion and allele mining of HKT1;5 in *Oryza sativa* and *O. glaberrima*: Many sources, many genes, one mechanism? *BMC Plant Biology*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1471-2229-13-32>
- Qin, H., J. Zhang, H. Yang, S. Yao, L. He, H. Liang, Y. Wang, H. Chen, P. Zhao, and G. Qin. 2020. Safety assessment of water-extract sericin from silkworm (*Bombyx mori*) cocoons using different model approaches. *BioMed Research International*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9689386>
- Rachman, A., dan S. S. A. Dariah. 2018. Pengelolaan Sawah Salin Berkadar Garam Tinggi. *IAARD Press*, 6: August.
- Rahman, A., K. Nahar, M. Hasanuzzaman, and M. Fujita. 2016. Calcium supplementation improves Na⁺/K⁺ ratio, antioxidant defense and glyoxalase systems in salt-stressed rice seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 7(MAY2016): 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00609>
- Rajendran, K., M. Tester, and S. J. Roy. 2009. Quantifying the three main components of salinity tolerance in cereals. *Plant, Cell and Environment*, 32(3): 237–249. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01916.x>
- Razzaq, A., A. Ali, L. Bin. Safdar, M. M. Zafar, Y. Rui, A. Shakeel, A. Shaukat, M. Ashraf, W. Gong, and Y. Yuan. 2020. Salt stress induces physiochemical alterations in rice grain composition and quality. *Journal of Food Science*, 85(1): 14–20.
- Razzaque, S., S. M. Elias, T. Haque, S. Biswas, G. M. N. A. Jewel, S. Rahman, X. Weng, A. M. Ismail, H. Walia, T. E. Juenger, and Z. I. Seraj. 2019. Gene expression analysis associated with salt stress in a reciprocally crossed rice population. *Scientific Reports*, 9(1): 1–17. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44757-4>
- Ren, Z. H., J. P. Gao, L. G. Li, X. L. Cai, W. Huang, D. Y. Chao, M. Z. Zhu, Z. Y. Wang, S. Luan, and H. X. Lin. 2005. A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter. *Nature Genetics*, 37(10): 1141–1146. <https://doi.org/10.1038/ng1643>.
- Ruan, C. J., J. A. T. da Silva, S. Mopper, Q. Pei, and S. Lutts. 2010. Halophyte improvement for a salinized world. *Critical Reviews in Plant Sciences*: 29 (6), 329–359. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.524517>.
- Sastro, Y., S. Suprihanto, A. Hairmansis, I. Hasmi, Satoto, Rumanti, IA, Susanto, U, Z. B. Kusbiantoro, B. Handoko, DD, Rahmini, T. Sitaresmi, Yunani, N. 2022. *Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi*. Jakarta : Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Shabala, S. 2013. Learning from halophytes: Physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany*, 112(7): 1209–1221. <https://doi.org/10.1093/aob/mct205>
- Singam, K., N. Juntawong, S. Cha-Um, and C. Kirdmanee. 2011. Salt stress induced ion accumulation, ion homeostasis, membrane injury and sugar contents in salt-sensitive rice (*Oryza sativa* L. spp. indica) roots under isoosmotic conditions. *African Journal of Biotechnology*, 10(8): 1340–1346. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1805>
- Sukawati, Indah. 2010. *Pengaruh kepekatan larutan nutrisi organik terhadap pertumbuhan dan hasil baby kailan (brassica oleraceae var. Albo-glabra) pada berbagai komposisi media tanam dengan sistem hidroponik substrat*. Skripsi pada Universitas Sebelas Maret.
- Sutono, S. 2015. Penanggulangan dan pengelolaan sawah tanah salin. *Prosiding Lokakarya Strategi Pengelolaan Lahan Salin Mendukung Peningkatan Produksi Padi di Jawa Tengah, Semarang*, 17–18.
- Van Zelm, E., Y. Zhang, and C. Testerink. 2020. Salt tolerance mechanisms of plants. *Annual Review of Plant Biology*, 71(1): 403–433. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100005>.

-
- Wegner, L. H., G. Stefano, L. Shabala, M. Rossi, S. Mancuso, and S. Shabala. 2011. Sequential depolarization of root cortical and stelar cells induced by an acute salt shock - implications for Na⁺ and K⁺ transport into xylem vessels. *Plant, Cell and Environment*, 34(5): 859–869. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2011.02291.x>
- Zhang, J. Z., R. A. Creelman, and J. K. Zhu. 2004. From laboratory to field. Using information from Arabidopsis to engineer salt, cold, and drought tolerance in crops. *Plant Physiology*, 135(2), 615–621. <https://doi.org/10.1104/pp.104.040295>
- Zhao, C., H. Zhang, C. Song, J. K. Zhu, and S. Shabala. 2020. Mechanisms of plant responses and adaptation to soil salinity. *Innovation*, 1(1):100017. <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2020.100017>.

BIODATA PENULIS

Erwin Fajar Hasrianda dilahirkan di Jakarta, 28 Juli 1986. Penulis menempuh pendidikan S1 sarjana pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa pada tahun 2004, dan pendidikan S2 *Master of Sciences* bidang *Plant Breeding and Genetics* pada tahun 2014, di Wageningen University, Belanda.

Agusdin Dharma Fefirenta dilahirkan di Blitar, 6 Agustus 1988. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Ilmu Hama dan Penyakit Tumbuhan, Universitas Brawijaya tahun 2011, pendidikan S2 di Program Studi Fitopatologi Universitas Gadjah Mada tahun 2014.

Indra Gunawan dilahirkan di Bogor, 19 Agustus 1982. Penulis menyelesaikan pendidikan SLTA di Rimba Madya tahun 2000, saat ini sedang menempuh pendidikan S1 di Program Studi Biologi Universitas Nusa Bangsa.

La Ode Muhammad Muchdar Davis dilahirkan di Baubau, 17 Mei 1987. Penulis menyelesaikan pendidikan S3 di *Graduate School of Biological Sciences, Nara Institute of Science and Technology*, Jepang tahun 2016.

Halaman ini sengaja dikosongkan