

Pengembangan Varietas Unggul Padi untuk Lahan Terdampak Salinitas

Development of Improved Rice Varieties for Saline Affected Areas

Aris Hairmansis dan Nafisah

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi
Jalan Raya Sukamandi 9, Subang, Jawa Barat 41256
Telp. (0260) 520157; Fax. (0260) 521104
E-mail: a.hairmansis@gmail.com

Diterima: 9 Juli 2019

Revisi: 12 Juni 2020

Disetujui: 11 Agustus 2020

ABSTRAK

Kadar garam yang tinggi pada tanah menjadi salah satu masalah utama pada pertanaman padi di lahan rawa pasang surut dan lahan sawah sepanjang pesisir pantai. Konsentrasi garam yang tinggi pada tanah dapat menyebabkan penurunan hasil bahkan dapat mengakibatkan gagal panen atau puso. Penanaman varietas yang toleran terhadap salinitas menjadi cara yang paling efisien untuk mengurangi dampak negatif kegaraman tanah terhadap keberlanjutan produksi padi. Berbagai usaha telah ditempuh untuk memperbaiki toleransi tanaman padi, baik melalui pemuliaan konvensional maupun dengan bantuan bioteknologi seperti marka molekuler dan rekayasa genetik. Pengetahuan dalam mekanisme toleransi tanaman padi terhadap cekaman salinitas telah berkembang dengan pesat mendukung program perakitan varietas toleran. Sejumlah varietas unggul padi toleran salinitas telah dilepas di Indonesia dan potensial untuk diadopsi petani di lahan terdampak salinitas seperti varietas Inpari 34 Salin Agritan dan Inpari 35 Salin Agritan. Makalah ini membahas kemajuan dalam pengetahuan terkait mekanisme toleransi tanaman padi terhadap salinitas dan strategi dalam merakit varietas unggul padi toleran salinitas yang dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan-lahan pertanian yang terdampak salinitas di Indonesia.

kata kunci: padi, toleran salinitas, pemuliaan tanaman

ABSTRACT

Soil salinity is one of the significant abiotic constraints in rice production, particularly in tidal swamp areas and lowland rice along with coastal areas. High salt concentration in the soil hampered rice growth and caused significant yield losses. The cultivation of salinity tolerant rice varieties is the most efficient strategy to minimize the negative effect of soil salinity on rice production sustainability in salt-affected rice areas. Intensive efforts have been made to improve salinity tolerant of rice through conventional breeding as well as using biotechnology such as molecular markers and genetic engineering. Knowledge in salinity tolerance mechanisms has increased and has been used in the improvement of salinity tolerant rice. Several salt-tolerant rice varieties have been released in Indonesia. They have the potential to be adopted by farmers in salt-affected areas such as Inpari 34 Salin Agritan and Inpari 35 Salin Agritan. This paper discusses progress on recent studies on the mechanism of rice adaptation to salinity stress and strategy, which can be implemented in the development of salinity tolerant rice varieties to increase rice productivity in salt-affected areas of Indonesia.

keywords: rice, salinity tolerance, breeding

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan beras yang menjadi bahan pangan pokok bagi sebagian besar masyarakat Indonesia terus meningkat seiring dengan penambahan jumlah penduduk. Peningkatan produksi padi di masa mendatang akan menghadapi tantangan yang semakin berat baik akibat cekaman biotik maupun abiotik. Masalah abiotik utama yang menjadi hambatan dalam sistem produksi padi antara lain kekeringan,

salinitas, rendaman, keracunan unsur logam seperti besi dan aluminium, serta defisiensi unsur hara (Mackill, 2008). Kendala-kendala tersebut akan terus berkembang dan akan menjadi lebih serius seiring dengan terjadinya perubahan iklim global.

Meningkatnya konsentrasi garam atau salinitas tanah di wilayah sepanjang pesisir pantai menjadi salah satu kendala utama yang dapat mengganggu stabilitas produksi padi

nasional khususnya pada musim kemarau. Luas areal lahan pertanian yang terkena dampak salinitas akan terus bertambah utamanya sebagai dampak perubahan iklim global (Forsters, dkk., 2011). Perubahan iklim global telah menyebabkan kenaikan permukaan laut yang berakibat meningkatnya intrusi air laut ke daratan. Selain itu, kenaikan suhu udara juga menyebabkan meningkatnya evaporasi yang mempercepat naiknya air tanah ke permukaan. Kenaikan air tanah ini akan membawa larutan garam yang tersimpan di lapisan bawah ke lapisan olah tanah (Vinod, dkk., 2013).

Berbagai teknologi budidaya telah dikembangkan sebagai strategi adaptasi untuk meminimalkan pengaruh merugikan kadar garam dalam tanah terhadap produksi padi. Hingga saat ini teknologi yang paling murah dan efisien untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menanam varietas yang toleran terhadap salinitas. Dengan semakin meluasnya lahan-lahan potensial yang terkena dampak salinitas, ditambah masalah lain baik abiotik dan biotik di lahan tersebut, diperlukan strategi yang tepat dan efisien dalam pengembangan varietas toleran salinitas.

Kemajuan yang pesat di bidang fisiologi dan biologi molekuler sangat membantu pemulia dalam proses mendapatkan varietas yang toleran salinitas dan sekaligus membawa sifat-sifat penting lainnya seperti tahan hama penyakit, memiliki mutu beras yang baik, dan toleran terhadap cekaman abiotik lainnya. Tulisan ini mengulas kemajuan yang telah diperoleh dalam studi terkait toleransi tanaman padi terhadap salinitas dan strategi pengembangan varietas padi toleran salinitas yang dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan-lahan pertanian yang terdampak salinitas.

II. KARAKTERISTIK LAHAN SALIN

Suatu lahan dikelompokkan sebagai lahan salin apabila konduktivitas listrik (*electrical conductivity*, EC) di tanah lebih dari 4 dS/m (Singh, dkk., 2010). Tingginya kadar garam dalam tanah dapat disebabkan oleh akumulasi berbagai garam terlarut yang merupakan kombinasi antara kelompok kation seperti natrium, kalsium dan magnesium; dan kelompok anion seperti klorida dan sulfat (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Bagi sebagian besar tanaman

termasuk padi, ion natrium (Na^+) merupakan garam yang paling berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman.

Lahan salin di Indonesia banyak dijumpai di daerah rawa pasang surut tipe A dan di lahan sawah dataran rendah di sepanjang pesisir pantai seperti di daerah pantai utara dan pantai selatan Pulau Jawa (Forsters, dkk., 2011; Mulyani dan Sarwani, 2013). Survei yang dilakukan di daerah Indramayu menunjukkan sekitar 65 ribu hektare areal padi yang terletak dalam radius 5–10 km dari pantai tergolong sebagai daerah yang rawan terhadap salinitas dan tingkat salinitasnya dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil padi (Rumanti, dkk, 2018). Diperkirakan sekitar 1,6 juta hektare lahan padi rawan terhadap ancaman salinitas yang disebabkan kenaikan permukaan air laut setinggi 1 m (Forsters, dkk., 2011).

III. DAMPAK SALINITAS DAN ADAPTASI TANAMAN PADI TERHADAP PENGARUH SALINITAS

3.1. Dampak Salinitas terhadap Tanaman Padi

Padi tergolong sebagai tanaman pangan yang paling peka terhadap pengaruh tingkat kandungan garam dalam tanah dibandingkan tanaman pangan lain seperti gandum, sorgum, dan jagung (Munns dan Tester, 2008). Produksi padi akan menurun sekitar 10–15 persen jika ditanam pada tanah dengan EC 4 dS/m (Dobermann dan Fairhurst, 2000). Penelitian yang dilakukan di Kabupaten Indramayu menunjukkan petani masih mengusahakan padi di sawah sekitar pantai utara dengan tingkat salinitas hingga 5,5 dS/m (Sitorus, 2012). Sementara pemetaan yang dilakukan oleh ACIAR menunjukkan zona hingga 5 km dari pantai Indramayu sebagian besar persawahannya menunjukkan tingkat salinitas di atas 3 dS/m (Rumanti, dkk, 2018). Padi menjadi satu-satunya tanaman pangan yang dapat dibudidayakan di lahan pertanian yang mengandung garam tinggi seperti di pesisir pantai karena padi mampu tumbuh dalam kondisi jenuh air di mana air dapat mencuci kandungan garam di lahan tersebut (Ismail, dkk., 2010). Fase pertumbuhan padi yang paling peka terhadap pengaruh garam adalah pada

fase awal pertumbuhan dan saat menjelang pembungaan (Ismail, dkk., 2010).

Kadar garam yang tinggi dalam tanah dapat memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman padi terutama melalui dua mekanisme (Horie, dkk., 2012; Munns dan Tester, 2008). Pertama, kadar garam yang tinggi dalam tanah dapat memberikan tekanan osmosis terhadap tanaman sehingga tanaman padi mengalami tekanan yang mirip dengan stres fisiologis yang ditimbulkan oleh kekeringan (Horie, dkk., 2012). Tekanan tersebut menyebabkan pertumbuhan tanaman melambat karena laju fotosintesis tanaman menurun. Kedua, ion garam seperti natrium (Na^+) dalam konsentrasi yang berlebih bersifat beracun dalam sel tanaman khususnya di dalam sitoplasma, sehingga dapat mengganggu berbagai proses fisiologis tanaman yang sebagian besar berlangsung di dalam sitoplasma (Munns dan Tester, 2008). Pengaruh racun yang ditimbulkan oleh konsentrasi garam yang tinggi dalam jaringan tanaman dapat terlihat jelas pada tanaman yang peka, ditandai dengan kerusakan jaringan daun atau nekrosis pada daun muda. Tekanan osmosis maupun pengaruh racun ion dalam larutan garam dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan dan hasil tanaman, bahkan dapat menyebabkan kematian tanaman.

3.2. Adaptasi Tanaman Padi terhadap Pengaruh Salinitas

Terdapat tiga mekanisme toleransi yang dilakukan tanaman untuk beradaptasi dengan kondisi garam eksternal yang tinggi (Horie, dkk., 2012; Munns dan Tester, 2008):

Pertama, tanaman beradaptasi terhadap pengaruh tekanan osmosis, disebut sebagai *osmotic tolerance*. Tanaman padi beradaptasi terhadap pengaruh tekanan osmosis yang diakibatkan konsentrasi garam eksternal yang tinggi melalui sejumlah mekanisme. Adaptasi dilakukan antara lain dengan mempertahankan laju pertumbuhannya, menetralkan *Reactive Oxygen Species* (ROS) dan mengontrol keseimbangan ion (*ion homeostasis*) di tingkat sel (Deinlein, dkk., 2014). Netralisasi ROS salah satunya dilakukan dengan meningkatkan aktivitas enzim-enzim yang berperan mendetoksifikasi aktifitas ROS seperti beberapa tipe peroksidase (Munns dan Tester, 2008).

Kedua, tanaman beradaptasi dengan mengeluarkan ion garam dari luar sel atau jaringan tanaman. Mekanisme ini disebut sebagai *ion exclusion*. Ion garam terakumulasi di dalam jaringan daun terutama disebabkan karena transpor ion natrium dari akar ke tajuk melewati xilem dalam proses transpirasi. Oleh karenanya salah satu mekanisme toleransi yang digunakan tanaman merespon kondisi garam eksternal yang tinggi ialah dengan mencegah masuknya ion natrium ke jaringan tajuk, sehingga dapat meminimalkan akumulasi ion natrium dalam jaringan tajuk (Munns dan Tester, 2008). Proses transpor tersebut dikendalikan oleh sejumlah *transporter* ion natrium yang bekerja spesifik di masing-masing sel yang berbeda di jaringan akar tanaman (Munns dan Tester, 2008).

Ketiga, tanaman beradaptasi terhadap pengaruh negatif garam dengan menoleransi sifat beracun natrium dalam jaringan. Mekanisme ini disebut sebagai *tissue tolerance*, yaitu dengan jalan memindahkan ion garam ke bagian sel tanaman yang lebih toleran seperti di vakuola (Munns dan Tester, 2008). Pemindahan natrium ke vakuola dapat menjaga konsentrasi natrium dalam sitoplasma dalam ambang yang tidak mengganggu proses metabolisme sel. Konsentrasi natrium yang tinggi dalam vakuola juga dapat dimanfaatkan tanaman untuk menurunkan potensial osmotik di sel untuk mengurangi pengaruh stres osmotik akibat pengaruh salin.

IV. PELUANG PERAKITAN PADI TOLERAN SALINITAS

Kunci dari proses perbaikan sifat toleran salinitas terdapat pada ketersediaan keragaman genetik plasma nutfah padi untuk sifat tersebut. Keragaman genetik tersebut dapat berasal dari *gene pool* padi yang terdiri atas varietas unggul, varietas lokal dan padi liar, serta dari luar *gene pool* padi yang dapat diperoleh melalui pendekatan rekayasa genetika.

Selanjutnya, pemilihan metode pemuliaan untuk memanfaatkan keragaman genetik yang ada dan metode *screening* toleransi salinitas menjadi penentu utama keberhasilan perakitan varietas toleran salinitas. Pemanfaatan bioteknologi seperti penanda molekuler dan

rekayasa genetika yang dikombinasikan dengan teknik-teknik pemuliaan konvensional memberikan harapan besar dalam mempercepat dan meningkatkan presisi dalam pemuliaan padi toleran salinitas.

4.1. Keragaman Genetik Plasma Nutfah Padi dalam Toleransinya terhadap Salinitas

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi variasi genetik dalam plasma nutfah padi dan menunjukkan adanya keragaman yang luas dalam toleransi tanaman padi terhadap salinitas (Nafisah dan Daradjat, 2008; Utama, dkk., 2009; Ahmadi, dkk., 2011; Platten, dkk., 2013; Astuti, dkk., 2017). Sejumlah plasma nutfah yang merupakan padi lokal Indonesia juga telah diidentifikasi memiliki toleransi yang cukup baik terhadap salinitas seperti Siputih, Lahatan Jambu, Sirendah, Ketan Nangka, Raden Ayu, Cingri, dan Celebes Maros (Hairmansis, dkk., 2017). Beberapa padi lokal asal Bengkulu juga diketahui memiliki toleransi yang baik terhadap salinitas (Astuti, dkk., 2017).

Keragaman toleransi plasma nutfah padi terhadap salinitas dapat disebabkan mekanisme toleransi yang berbeda dan dapat juga disebabkan keragaman alel yang mengendalikan mekanisme toleransi yang sama (Ahmadi, dkk., 2011; Platten, dkk., 2013; Hairmansis, dkk., 2014). Adanya keragaman ini membuka peluang untuk menyatukan mekanisme toleransi terhadap salinitas yang berbeda dalam satu genotipe, sehingga diharapkan tingkat toleransi padi dapat meningkat (Hairmansis, dkk., 2014).

4.2. Pemanfaatan Marka Molekuler dalam Perakitan Varietas Padi Toleran Salin

Efektifitas perakitan varietas toleran salinitas sangat ditentukan oleh metode pemuliaan yang digunakan. Proses seleksi varietas yang toleran dapat menjadi lebih efektif dengan bantuan penanda molekuler. Identifikasi locus pengendali sifat-sifat kuantitatif (*Quantitative Trait Loci* = QTLs) toleran salin dan pemanfaatan penanda DNA telah mempercepat proses perbaikan sifat toleran salin pada padi (Ismail, dkk., 2010; Linh, dkk., 2012).

Sejumlah QTLs yang memiliki kontribusi besar terhadap toleransi salinitas pada tanaman padi telah berhasil diidentifikasi. Salah satu QTL mayor yang diketahui terlibat dalam regulasi rasio

Na^+/K^+ dalam sel, *Salto1*, telah berhasil dipetakan di kromosom 1 berasal dari *recombinant inbred lines* (RIL) hasil persilangan IR29 dan varietas toleran Pokkali (Bonilla, dkk., 2002). Alel *Salto1* telah digunakan untuk meningkatkan toleransi salinitas padi dengan menggunakan metode silang balik dan dengan bantuan penanda molekuler (Ismail, dkk., 2010; Thomson, dkk., 2010).

4.3. Pemanfaatan Rekayasa Genetika untuk Mendapatkan Tanaman Padi Toleran Salinitas

Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan toleransi tanaman padi terhadap salinitas dengan menggunakan rekayasa genetika. Pendekatan yang paling banyak dilakukan adalah dengan mentransformasikan gen-gen yang mengendalikan sintesis *compatible solute* ke dalam padi (Su, dkk., 2006; Redillas, dkk., 2012). Beberapa studi juga melaporkan perakitan tanaman transgenik toleran salinitas dengan mengekspresikan faktor transkripsi seperti *dehydration-responsive element binding* (DREB) (Wang, dkk., 2008; Datta, dkk., 2012).

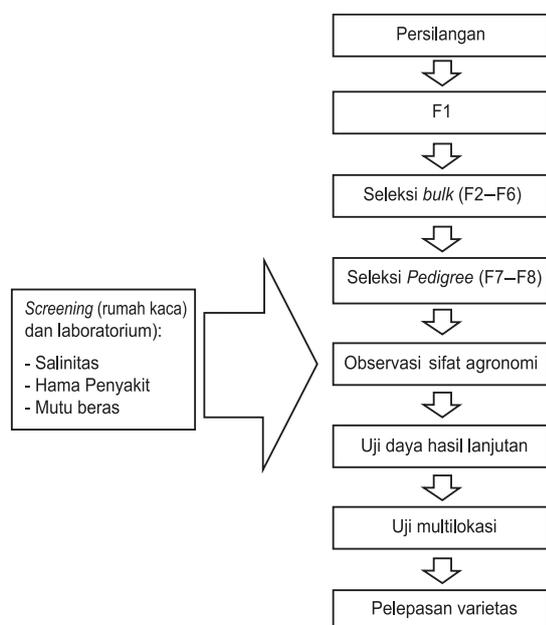
Padi transgenik toleran salin juga berhasil dikembangkan dengan memodifikasi transpor Na^+ untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap pengaruh negatif Na^+ . Padi transgenik yang mengekspresikan gen *NHX1*, antiporter Na^+/H^+ di vakuola, berhasil meningkatkan toleransi padi terhadap salinitas (Chen, dkk., 2007). Perbaikan toleransi tanaman padi juga berhasil diperoleh dengan mengekspresikan gen *AVP1* (vacuolar H^+ -pyrophosphatase) untuk meningkatkan kemampuan tanaman padi memindahkan ion Na^+ ke dalam vakuola (Kim, dkk., 2013; Liu, dkk., 2010).

V. STATUS PEMULIAAN PADI TOLERAN SALINITAS DI INDONESIA

Upaya untuk mendapatkan varietas padi yang toleran terhadap salinitas juga telah intensif dilakukan oleh para peneliti di Indonesia (Nafisah dan Daradjat, 2008; Utama, dkk., 2009; Astuti, dkk., 2017; Nafisah, dkk., 2017). Sebagian besar pemuliaan untuk toleransi terhadap salinitas di Indonesia dilakukan secara konvensional. Penggabungan sifat toleran salinitas dan sifat-sifat unggul lainnya dilakukan melalui persilangan. Dua varietas yang sering

digunakan sebagai donor sifat toleran salinitas adalah Pokkali dan Nona Bokra (Suhartini, dkk., 1982; Ismail, dkk., 2007).

Sejumlah metode seleksi digunakan untuk memilih galur-galur toleran salin. Secara konvensional beberapa metode yang umum digunakan antara lain metode silang balik, *bulk*, *pedigree*, dan kombinasi *bulk* dan *pedigree* (Singh, dkk., 2010). Metode silang balik dapat digunakan jika ingin memindahkan sifat yang dikendalikan oleh gen mayor ke dalam varietas unggul yang peka terhadap salinitas seperti yang dilakukan oleh Thomson, dkk. (2010). Kombinasi metode *bulk* dan *pedigree* merupakan metode seleksi yang paling umum digunakan dalam pemuliaan padi di Indonesia termasuk untuk perakitan varietas toleran salinitas. Dengan metode tersebut dimungkinkan menggabungkan sifat toleran salin dengan sifat-sifat unggul lain dalam satu populasi pemuliaan dan menyeleksi dengan biaya dan tenaga kerja yang relatif efisien. Seleksi *bulk* dilakukan pada generasi awal (F2–F6) dan dilanjutkan dengan seleksi *pedigree* di lahan yang terdampak salinitas pada generasi F7–F8 untuk memilih galur yang toleran (Gambar 1). Pengujian-pengujian berikutnya dilakukan di lahan terdampak salinitas untuk mengevaluasi penampilan agronomis dan daya hasil galur padi



Gambar 1. Skema Perakitan Varietas Padi Toleran Salinitas Menggunakan Kombinasi Metode *Bulk* dan *Pedigree*. Dimodifikasi dari Hairmansis, dkk. (2017)

sebelum suatu galur dilepas sebagai varietas unggul.

Salah satu penentu keberhasilan perakitan varietas toleran salinitas adalah tersedianya metode *screening* yang akurat, *reproducible* dan massal. *Screening* untuk mendapatkan varietas yang toleran salinitas dapat dilakukan secara artifisial pada fase bibit di rumah kaca menggunakan larutan hara yang ditambahkan garam (Gregorio, dkk., 1997) dan di lahan petani yang mengalami masalah salinitas (Nafisah, dkk., 2017). *Screening* yang bertujuan untuk menyeleksi toleransi tanaman berdasarkan mekanisme yang berbeda juga telah dikembangkan dengan memanfaatkan citra digital (Hairmansis, dkk., 2014). Pendekatan tersebut saat ini masih belum dapat dilakukan secara massal di Indonesia disebabkan keterbatasan fasilitas yang dimiliki lembaga riset tanah air.

Screening toleransi salinitas terhadap galur-galur hasil persilangan idealnya dilakukan dari generasi awal untuk meningkatkan efisiensi seleksi, namun *screening* pada tahap awal tersebut membutuhkan biaya yang besar karena jumlah galur yang diuji yang masih banyak. Oleh karenanya, seleksi *pedigree* untuk memilih galur-galur dengan sifat-sifat agronomi yang unggul dilakukan di lahan terdampak salinitas agar sekaligus dapat mengevaluasi toleransi galur terhadap salinitas (Gambar 1).

Screening toleransi terhadap salinitas yang dilakukan di rumah kaca dapat dilakukan terhadap galur-galur di tingkat observasi dan daya hasil untuk melakukan verifikasi toleransinya terhadap salinitas (Nafisah dan Daradjat, 2008). Pada tahapan tersebut, galur-galur hasil pemuliaan juga perlu dievaluasi ketahanannya terhadap hama penyakit utama di lahan sawah seperti wereng batang cokelat, hawar daun bakteri, tungro, dan blas (Gambar 1). Selain itu perlu dilakukan pengujian mutu beras agar diperoleh galur-galur toleran salinitas yang mutu berasnya baik dan sesuai dengan selera konsumen.

Perakitan varietas toleran salinitas di Indonesia pada awalnya diarahkan untuk mendapatkan varietas yang adaptif di lahan rawa pasang surut. Varietas Dendang dan Lambur

yang masing-masing dilepas pada tahun 1999 dan 2001, merupakan varietas padi yang adaptif di tipologi lahan rawa pasang surut (Tabel 1). Seiring dengan berkembangnya permasalahan salinitas di lahan sawah irigasi khususnya di daerah pesisir pantai maka sifat toleran salinitas kemudian menjadi salah satu sifat penting dalam perakitan varietas unggul padi sawah. Sebagai contoh, pada jarak 5 km dari pantai utara di daerah Indramayu diketahui tingkat salinitas di lahan sawah sebagian besar di atas 3 dS/m yang dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan hasil padi (Rumanti, dkk, 2018).

Sejumlah galur padi sawah toleran salinitas diintroduksi dari IRRI untuk dievaluasi daya adaptasinya di lahan salin di Indonesia (Nafisah dan Daradjat, 2008). Pada tahun 2014, terdapat tiga varietas padi toleran salinitas yang dilepas di Indonesia yaitu Inpari 34 Salin Agritan dan Inpari 35 Salin Agritan yang dihasilkan oleh Balitbangtan, dan Inpari Unsoed 79 Agritan yang dihasilkan oleh Universitas Jenderal Soedirman. Ketiga varietas tersebut potensial untuk dikembangkan di daerah pesisir pantai yang rawan terhadap intrusi air laut (Tabel 1).

VI. TANTANGAN PENGEMBANGAN PADI TOLERAN SALINITAS DAN ANTISIPASINYA

Permasalahan salinitas pada lahan pertanian ke depan akan semakin bertambah terutama akibat perubahan iklim global. Untuk mengantisipasi hal tersebut program pemuliaan padi untuk merakit varietas unggul padi yang toleran salin juga perlu diintegrasikan dengan menggunakan strategi yang lebih efisien.

Kendati mekanisme toleransi tanaman terhadap salinitas telah banyak dipelajari, namun perakitan varietas padi yang toleran salinitas masih cenderung terhambat. Hal utama yang

mendasari lambatnya proses untuk memperoleh varietas yang tahan adalah mekanismenya yang bersifat kompleks. Sebagian besar *screening* yang dilakukan untuk mendapatkan varietas yang tahan hanya memprioritaskan mekanisme *ion exclusion* karena sifat tersebut yang paling mudah dipelajari dengan peralatan yang sederhana. Sementara mekanisme terkait *osmotic tolerance* dan *tissue tolerance* masih sering diabaikan. Selain itu, sebagian besar *screening* terhadap galur-galur padi yang dilakukan di rumah kaca ditujukan untuk mendapatkan varietas yang tahan pada fase bibit (vegetatif). *Screening* sifat toleran pada fase generatif hanya dapat dilakukan secara efektif di lahan yang terdampak salin, namun sering terkendala tingkat salinitas di lahan petani yang sangat beragam dan sulit diprediksi. Hal tersebut menyulitkan dalam seleksi memperoleh varietas yang toleran salinitas pada fase reproduktif.

Kendala lain yang menghambat berkembangnya varietas toleran salinitas adalah kompleksnya masalah abiotik dan biotik yang terjadi di lahan salin. Ciri utama lahan suboptimal adalah adanya lebih dari satu cekaman dalam satu daerah. Dengan demikian, varietas yang dilepas untuk daerah tersebut perlu dikombinasi dengan sifat toleran lain. Sebagai contoh di lahan sawah yang terkena dampak salin di daerah pesisir, sering juga mengalami pengaruh rendaman pada saat musim hujan dan mengalami kekeringan saat musim kemarau.

Beberapa hal yang membutuhkan penelitian lebih lanjut dalam pemuliaan padi toleran salinitas antara lain: (i) karakterisasi mekanisme toleransi terhadap salinitas yang dimiliki oleh plasma nutfah lokal; (ii) penggabungan mekanisme toleransi yang berbeda untuk meningkatkan tingkat toleransi; dan (iii) penggabungan sifat

Tabel 1. Varietas Unggul Baru Padi Toleran Salinitas yang telah Dilepas di Indonesia

Varietas	Tahun dilepas	Umur panen (hari)	Rata-rata hasil (ton/ha)	Potensi hasil (ton/ha)	Tekstur nasi
Dendang	1999	123–127	4,0	5,0	Pulen
Lambur	2001	113–117	4,0	5,0	Pulen
Inpari 34 Salin Agritan	2014	102	5,1	8,1	Agak pera
Inpari 35 Salin Agritan	2014	106	5,3	8,3	Agak pera
Inpari Unsoed 79 Agritan	2014	109	4,9	8,2	Cukup pulen

Sumber: Suprihatno, dkk. (2010); Wahab, dkk. (2018)

toleran salinitas dengan sifat toleran abiotik yang lain seperti rendaman dan kekeringan untuk mendapatkan varietas yang multi-toleran.

Dengan bantuan marka molekuler, pengumpulan (*pyramiding*) berbagai mekanisme toleransi diharapkan dapat dilakukan dengan lebih efisien. Penelitian untuk mendapatkan informasi marka-marka terkait dengan sifat-sifat toleran tersebut diperlukan untuk mempercepat perakitan varietas yang toleran terhadap berbagai cekaman abiotik.

Adopsi varietas unggul toleran salinitas yang sudah dilepas ke petani juga perlu terus ditingkatkan untuk menjaga stabilitas produksi padi di lahan tersebut dan melindungi petani dari kehilangan hasil akibat salinitas. Ketersediaan benih varietas toleran di tingkat petani menjadi penentu adopsi varietas unggul baru.

VII. KESIMPULAN

Permasalahan salinitas yang terjadi di lahan-lahan yang potensial untuk produksi padi perlu diantisipasi dengan mengembangkan varietas padi yang toleran terhadap salinitas. Pemahaman yang semakin baik terhadap mekanisme tanaman padi dalam beradaptasi terhadap pengaruh garam serta kemajuan dalam metode *screening* memberikan peluang yang lebih besar kepada pemulia dalam mendesain program perakitan varietas toleran. Varietas unggul padi toleran salinitas yang telah dihasilkan oleh lembaga-lembaga riset perlu dioptimalkan pemanfaatannya dengan menyediakan benih varietas toleran salinitas di tingkat petani sehingga produktivitas padi di lahan terdampak salinitas dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, N., S. Negrão, D. Katsantonis, J. Frouin, J. Ploux, P. Letourmy, G. Droc, P. Babo, H. Trindade, G. Bruschi, R. Greco, M.M. Oliveira, P. Piffanelli, and B. Courtois. 2011. Targeted association analysis identified japonica rice varieties achieving Na⁺/K⁺ homeostasis without the allelic make-up of the salt tolerant indica variety Nona Bokra. *Theoretical and Applied Genetics*. 123:881–895.
- Astuti, D., A.N. Nurhasanah, S. Nugroho, dan A. Estiati. 2017. Penapisan beberapa padi lokal dari Pulau Enggano terhadap ketahanan salinitas. *Jurnal Lahan Suboptimal*. 6(2):134–141
- Bonilla, P., J. Dvorak, D. Mackill, K. Deal, and G. Gregorio .2002. RLFP and SSLP mapping of salinity tolerance genes in chromosome 1 of rice (*Oryza sativa* L.) using recombinant inbred lines. *Philippine Agricultural Science*. 85:9.
- Chen, H., R. An, J.H. Tang, X.H. Cui, F.S. Hao, J. Chen, and X.C. Wang. 2007. Over-expression of a vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene improves salt tolerance in an upland rice. *Molecular Breeding*. 19:215–225.
- Datta, K., N. Baisakh, M. Ganguly, S. Krishnan, K. Yamaguchi Shinozaki, and S.K. Datta. 2012. Overexpression of Arabidopsis and rice stress genes' inducible transcription factor confers drought and salinity tolerance to rice. *Plant Biotechnology Journal*. 10:579–586.
- Deinlein, U., A.B. Stephan, T. Horie, W. Luo, G. Xu, and J.I. Schroeder. 2014. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends in Plant Science*. 19(6):371–379.
- Doberman, A. and T. Fairhurst. 2000. *Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management*. Potash and Phosphate Institute, Potash and Phosphate Institute of Canada and International Rice Research Institute. Manila. p. 191
- Forster, H., T. Sterzel, C.A. Pape, M. Moneo-Lain, I. Niemeyer, R. Boer, J.P. Kropp. 2011. Sea-level rise in Indonesia: on adaptation priorities in the agricultural sector. *Regional Environmental Change*. 11(4): 893–904.
- Gregorio, G.B., D. Senadhira, and R.D. Mendoza. 1997. *Screening rice for salinity Tolerance*. International Rice Research Institute, Manila. p. 30.
- 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*. 7:16.
- Hairmansis, A., Nafisah, A. Jamil. 2017. Towards developing salinity tolerant rice adaptable for coastal regions in Indonesia. *2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Food Security: A Comprehensive Approach*. KnE Life Sciences: 72–79.
- Horie, T., I. Karahara, and M. Katsuhara. 2012. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. *Rice*. 5:11.

- Ismail, A., S. Heuer, M. Thomson, and M. Wissuwa. 2007. Genetic and genomic approaches to develop rice germplasm for problem soils. *Plant Molecular Biology*. 65:547–570.
- Ismail, A., M. Thomson, G. Vergara, M. Rahman, R. Singh, G. Gregorio, and D. Mackill. 2010. Designing resilient rice varieties for coastal deltas using modern breeding tools. Di dalam: C. T. Hoanh, dkk. (eds.). *Tropical Deltas and Coastal Zones Food Production, Communities and Environment at the Land-Water Interface*. CAB International, Oxfordshire.:154–165.
- Kim, Y.S., I.S. Kim, Y.H. Choe, M.J. Bae, S.Y. Shin, S.K. Park, H.G. Kang, Y.H. Kim, and H.S. Yoon. 2013. Overexpression of the Arabidopsis vacuolar H⁺-pyrophosphatase AVP1 gene in rice plants improves grain yield under paddy field conditions. *The Journal of Agricultural Science*. 152(6): 941–953.
- Linh, L.H., T.H. Linh, T.D. Xuan, L.H. Ham, A.M. Ismail, and T.D. Khanh. 2012. Molecular breeding to improve salt tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) in the Red River Delta of Vietnam. *International Journal of Plant Genomics*. 2012:9.
- Liu, Q., Q. Zhang, R. Burton, N. Shirley, B. Atwell. 2010. Expression of vacuolar H⁺-pyrophosphatase (OVP3) is under control of an anoxia-inducible promoter in rice. *Plant Molecular Biology*. 72:47–60.
- Mackill, D.J. 2008. Breeding for resistance to abiotic stresses in rice: The value of quantitative trait loci, Plant Breeding. *The Arnel R. Hallauer International Symposium*. Blackwell Publishing. pp. 201–212.
- Mulyani, A. dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 7(1): 47–55
- Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59: 651–681.
- Nafisah, A. Hairmansis, dan T. Sitaresmi. 2017. Daya hasil galur-galur elit padi di lahan sawah rawan salin di Cilamaya Wetan Karawang. *Jurnal Lahan Suboptimal*. 6 (1): 21–32
- Nafisah, dan A.A. Daradjat. 2008. Keragaan galur-galur padi introduksi toleran terhadap lahan salin. Di dalam: B. Suprihatno, dkk. (eds.) *Seminar Nasional Padi 2008*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi.
- Platten, J.D., J. Egdane, and A. 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*. 13:32.
- Redillas, M.F.R., S.H. Park, J. Lee, Y. Kim, J. Jeong, H. Jung, S. Bang, T.R. Hahn, and J.K. Kim. 2012. Accumulation of trehalose increases soluble sugar contents in rice plants conferring tolerance to drought and salt stress. *Plant Biotechnology Reports*. 6:89–96.
- Rumanti, I.A., A. Hairmansis, Y. Nugraha, U. Susanto, P. Wardana, R.E. Subandiono, Z. Zaini, H. Sembiring, N.I. Khan, R.K. Singh, and D.E. Johnson. 2018. Development of tolerant rice varieties for stress-prone ecosystems in the coastal deltas of Indonesia. *Field Crops Research*. 223: 75–82.
- Singh, R.K., E. Redoña, and L. Refuerzo. 2010. Varietal improvement for abiotic stress tolerance in crop plants: special reference to salinity in rice. Di dalam: *Abiotic stress adaptation in plants*. Springer, Dordrecht.: 387–415.
- Sitorus, T. A. 2012. *Analisis salinitas dan dampaknya terhadap produktivitas padi di wilayah pesisir Indramayu*. Skripsi. Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor. Bogor. p. 36.
- Su, J., R. Hirji, L. Zhang, C. He, G. Selvaraj, and R. Wu. 2006. Evaluation of the stress-inducible production of choline oxidase in transgenic rice as a strategy for producing the stress-protectant glycine betaine. *Journal Experimental Botany*. 57:1129–1135.
- Suhartini, T., I. Hanarida, S. Kartowinoto, Z. Harahap, dan M. Diredja. 1982. Lahan rawa dan pembentukan varietas padinya. Di dalam: A. Widjono dan M. Syam (eds) *Penelitian Pemuliaan Padi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. p.148.
- Suprihatno, B., A.A. Daradjat, Satoto, Baehaki, Suprihanto, A. Setyono, S.D. Indrasari, I.P. Wardana, dan H. Sembiring. 2010. *Deskripsi Varietas Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Subang. p.99
- Thomson, M., M. Ocampo, J. Egdane, M.A. Rahman, A. Sajise, D. Adorada, E. Tumimbang-Raiz., E. Blumwald, Z. Seraj, R. Singh, G. Gregorio, and A. Ismail. 2010. Characterizing the *Saltol*

quantitative trait locus for salinity tolerance in rice. *Rice* 3:148–160.

Utama, M.Z.H., W. Haryoko, R. Munir, dan Sunadi. 2009. Penapisan varietas padi toleran salinitas pada lahan rawa di Kabupaten Pesisir Selatan. *Jurnal Agronomi Indonesia*. 37(2):101–106.

Vinod, K.K., S.G. Krishnan, N.N. Babu, M. Nagarajan, and A.K. Singh. 2013. Improving salt tolerance in rice: Looking beyond the conventional. *Di dalam: P. Ahmad, dkk. (eds.) Salt Stress in Plants*. Springer New York: 219–260.

Wahab, M.I., Satoto, Rahmini, L.M. Zarwazi Suprihanto, A. Guswara, dan Suharna. 2018. *Deskripsi Varietas Unggul Baru Padi*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi. p.99.

Wang, Q., Y. Guan, Y. Wu, H. Chen, F. Chen, and C. Chu. 2008. Overexpression of a rice OsDREB1F gene increases salt, drought, and low temperature tolerance in both *Arabidopsis* and rice. *Plant Molecular Biology*. 67:589–602.

BIODATA PENULIS:

Aris Hairmansis dilahirkan di Pamekasan, 5 Juni 1978. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya tahun 2001, pendidikan S2 di program studi Agronomi, Sekolah Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor tahun 2005, dan pendidikan S3 di program studi Ilmu Tanaman, *The University of Adelaide*, Australia tahun 2014.

Nafisah dilahirkan di Pekalongan, 14 Maret 1971. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di jurusan Pemuliaan Tanaman, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada tahun 1997, pendidikan S2 di program studi Pemuliaan Tanaman, *University of the Philippines*, Los Banos tahun 2005, dan Pendidikan S3 di program studi Genetika dan Pemuliaan Tanaman, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, CAAS, PR China tahun 2013.