

ANALISIS POTENSI TOLERANSI VARIETAS PADI (*Oryza sativa* L.) INDONESIA DAN VIETNAM TERHADAP CEKAMAN SALINITAS

¹Putri Wulandari, ¹Ifan Aulia Candra, Asiah Wati²

¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Medan Area, Medan, Indonesia

²Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Widya Gama Mahakam Samarinda

E-mail: ifan.auliacandra@yahoo.com

Corresponden: asiahwati@uwgm.ac.id

Article Submitted: 26-03-2025

Article Edited : 29-03-2025

ABSTRAK

Cekaman salinitas merupakan salah satu faktor abiotik utama yang membatasi pertumbuhan dan produktivitas padi (*Oryza sativa* L.), terutama di daerah pesisir dan lahan irigasi yang terpapar intrusi air laut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi toleransi varietas padi dari Indonesia dan Vietnam terhadap cekaman salinitas melalui kajian literatur. Mekanisme toleransi terhadap salinitas mencakup eksklusi ion, akumulasi osmolit, serta peningkatan aktivitas enzim antioksidan. Hasil kajian menunjukkan bahwa varietas padi dari Vietnam umumnya memiliki toleransi lebih tinggi dibandingkan varietas dari Indonesia. Hal ini berkaitan dengan adaptasi genetik dan ekspresi gen tertentu yang berperan dalam homeostasis ion dan detoksifikasi radikal bebas. Kajian ini memberikan wawasan penting bagi upaya pemuliaan varietas unggul yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrim, khususnya lahan dengan kadar garam tinggi.

Kata kunci: Padi, Cekaman Salinitas, Indonesia dan Vietnam

ABSTRACT

Salinity stress is one of the major abiotic factors limiting the growth and productivity of rice (*Oryza sativa* L.), particularly in coastal areas and irrigated lands affected by seawater intrusion. This study aims to analyze the salinity tolerance potential of rice varieties from Indonesia and Vietnam through a literature review. Salinity tolerance mechanisms include ion exclusion, osmolyte accumulation, and increased antioxidant enzyme activity. The review findings indicate that Vietnamese rice varieties generally exhibit higher salinity tolerance compared to Indonesian varieties. This is attributed to genetic adaptations and the expression of specific genes that regulate ion homeostasis and free radical detoxification. This study provides valuable insights for the breeding of superior rice varieties that are more adaptive to extreme environmental conditions, especially in high-salinity soils.

Keywords: Rice, Salinity Stress, Indonesia and Vietnam

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki garis pantai sepanjang 99.093 km yang berkontribusi terhadap luasnya lahan salin di berbagai daerah pesisir. Lahan marginal yang banyak dijumpai berupa lahan gambut, lahan sulfat masam, rawa pasang surut, dan tanah ultisol semakin terancam akibat intrusi air laut yang disebabkan oleh perubahan iklim global. Sedangkan di Vietnam memiliki garis pantai sepanjang 3.260 km yang berkontribusi terhadap luasnya lahan salin di berbagai daerah pesisir. Lahan marginal yang banyak dijumpai berupa lahan pasang surut, tanah alluvial, serta lahan gambut di Delta Mekong semakin terancam akibat intrusi air laut yang disebabkan oleh perubahan iklim global. Salinitas tanah menjadi faktor pembatas utama dalam produksi padi karena menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan hasil panen. Produksi padi di Indonesia mengalami fluktuasi akibat berbagai faktor lingkungan, termasuk salinitas. Data menunjukkan bahwa produksi padi pada tahun 2021 mencapai 54,42 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), mengalami sedikit penurunan dibandingkan tahun sebelumnya.

Faktor yang mempengaruhi hasil panen meliputi kesuburan tanah, curah hujan, pemupukan, pemilihan varietas, dan cekaman abiotik seperti salinitas (BPS, 2021). Tanaman padi sangat rentan terhadap cekaman garam, terutama pada tahap pembibitan dan reproduksi, yang menyebabkan penurunan pertumbuhan dan hasil panen (Donny, 2015). Di

Vietnam, khususnya di Delta Mekong, sekitar 500.000 hektar lahan sawah terdampak salinitas, yang menjadi tantangan serius bagi produksi padi di negara tersebut. Karakteristik alam yang serupa antara Indonesia dan Vietnam membuat kedua negara menghadapi tantangan yang sama dalam hal cekaman salinitas. Di Indonesia, penelitian terhadap varietas lokal seperti Inpago-8, Sigambiri Merah, dan Sigambiri Putih menunjukkan bahwa beberapa varietas memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap cekaman salinitas dibandingkan varietas lainnya (Sihombing *et al.*, 2020). Selain itu, pendekatan hibridisasi dan pemuliaan berbasis marker-assisted selection (MAS) juga telah digunakan untuk mengidentifikasi gen yang bertanggung jawab terhadap toleransi salinitas, seperti gen Saltol, yang berperan dalam eksklusi ion natrium (Na⁺) pada akar (Firmansyah *et al.*, 2017). Di Vietnam, pendekatan serupa telah diterapkan dalam program pemuliaan nasional dengan melibatkan penggunaan teknologi genomik dan seleksi berbasis QTL (Quantitative Trait Loci). Beberapa gen yang telah diidentifikasi terkait dengan toleransi salinitas pada padi antara lain HKT1;5, SKC1, dan OsMYB2, yang berperan dalam regulasi ion homeostasis serta mekanisme antioksidan terhadap stres oksidatif akibat cekaman salinitas (Qin *et al.*, 2020). Beberapa varietas padi lokal yang berpotensi toleran terhadap salinitas telah diidentifikasi, seperti varietas Sigambiri Merah, Inpago-8, Sigambiri Putih, dan Ramos di Indonesia,

serta Dhoc Pung, Tra Long, Nep Mo, Mot Bui, dan Tam Xoan di Vietnam.

Pengembangan varietas tahan salinitas menjadi prioritas dalam strategi ketahanan pangan nasional kedua negara. Salinitas merupakan tantangan utama dalam produksi padi, terutama di daerah dengan sistem irigasi yang tidak stabil dan lahan pasang surut. Pada tingkat molekuler, tanaman padi merespons salinitas melalui beberapa mekanisme adaptif. Gen HKT1;5 berperan dalam mengontrol transportasi ion natrium (Na^+) dari akar ke daun, sehingga mengurangi efek toksik salinitas dalam jaringan tanaman. Sementara itu, OsMYB2 terlibat dalam regulasi ekspresi gen yang berhubungan dengan sintesis osmolit seperti prolin dan glisin betain untuk mempertahankan keseimbangan osmotik seluler. Tanaman juga meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan peroksidase (POD) untuk menangkal stres oksidatif akibat tingginya kadar garam (Aris & Nafisah, 2020). Cekaman salinitas menyebabkan ketidakseimbangan ion dalam sel tanaman, menghambat pertumbuhan, serta mengurangi produktivitas. Efek negatif dari salinitas terhadap tanaman padi meliputi gangguan pada proses fotosintesis, respirasi seluler, serta metabolisme nitrogen.

Selain itu, akumulasi ion Na^+ dan Cl^- yang berlebihan dapat menyebabkan toksisitas ion yang berdampak pada penurunan laju pertumbuhan tanaman dan hasil panen. Studi mengenai toleransi varietas padi terhadap cekaman salinitas menjadi sangat penting dalam rangka mengembangkan varietas yang lebih adaptif terhadap kondisi ekstrem. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengidentifikasi varietas padi yang memiliki toleransi tinggi terhadap cekaman salinitas sebelum ditanam di lapangan (Resdiar *et al.*, 2021).

KARAKTERISTIK TANAMAN PADI

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan tanaman utama di Asia yang dapat tumbuh di berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini memiliki sistem perakaran serabut yang membantu dalam penyerapan unsur hara dan adaptasi terhadap kondisi tergenang. Padi dapat tumbuh di lahan basah maupun kering, tergantung pada jenis varietasnya. Beberapa varietas memiliki daya tahan lebih tinggi terhadap kondisi ekstrem seperti cekaman kekeringan, serangan hama, atau salinitas. Berdasarkan kandungan amilosa dan amilopektin, padi diklasifikasikan menjadi beberapa kategori, yaitu beras pulen, pera, dan ketan (Zannati *et al.*, 2015). Faktor-faktor lingkungan seperti kesuburan tanah, ketersediaan air, dan iklim sangat mempengaruhi pertumbuhan dan hasil panen padi. Oleh karena itu, pemilihan varietas yang sesuai dengan kondisi lingkungan sangat penting dalam pengelolaan pertanian berkelanjutan.

Indonesia memiliki banyak varietas padi yang telah beradaptasi dengan kondisi lingkungan setempat. Padi varietas Sigambiri Merah yang berkembang di wilayah Sumatera Utara, khususnya di daerah Batak Toba

memiliki potensi toleransi terhadap cekaman salinitas. Nama Sigambiri berasal dari bahasa lokal, yang berarti tanaman padi dengan bulir-bulir berwarna merah. Padi merah memiliki sejarah panjang sebagai salah satu sumber pangan pokok dalam masyarakat Batak Toba yang dikenal dengan ketahanannya terhadap kondisi lingkungan tertentu serta kandungan nutrisinya yang tinggi dibandingkan dengan padi putih biasa (Kusbiantoro *et al.*, 2023). Selain itu, varietas ini juga memiliki sistem perakaran yang kuat sehingga mampu bertahan dalam kondisi salin. Sigambiri Merah juga dikenal memiliki kandungan serat dan nutrisi yang lebih tinggi dibanding varietas padi lainnya, sehingga memiliki potensi sebagai sumber pangan fungsional. Secara morfologi, tanaman ini memiliki tinggi batang yang bervariasi antara 90 hingga 120 cm, tergantung pada kondisi lingkungan dan teknik budidaya. Daunnya lebar dengan warna hijau tua, dan bulir padinya cenderung lebih panjang dan ramping dibandingkan dengan varietas padi lainnya. Dari segi kandungan nutrisi, padi merah termasuk Sigambiri Merah, diketahui memiliki kadar serat, zat besi, dan mineral yang lebih tinggi dibandingkan padi putih. Padi merah juga mengandung vitamin B, magnesium, dan antioksidan yang berguna untuk menjaga kesehatan tubuh (Suprpto *et al.*, 2015). Beberapa studi menunjukkan bahwa varietas ini dapat bertahan pada tanah dengan kadar garam tinggi tanpa mengalami penurunan hasil yang signifikan. Oleh karena itu, Sigambiri Merah menjadi salah satu varietas yang potensial dikembangkan di lahan-lahan marginal yang terdampak salinitas.

Di Vietnam, salah satu varietas padi yang dikenal memiliki toleransi terhadap cekaman salinitas adalah OM567. Varietas ini dikembangkan melalui program pemuliaan di Vietnam dan memiliki karakteristik batang yang kokoh, daun hijau gelap, serta daya tahan terhadap cekaman garam yang lebih tinggi dibanding varietas lainnya. OM567 juga memiliki indeks glikemik yang rendah, sehingga menghasilkan beras dengan kualitas yang baik (Nga and Pham, 2020). Penelitian menunjukkan bahwa varietas OM567 memiliki efisiensi fotosintesis yang lebih baik pada kondisi salin dibandingkan varietas lainnya. Faktor ini memungkinkan tanaman untuk tetap berproduksi meskipun dalam kondisi tanah dengan kadar garam tinggi. Oleh karena itu, varietas ini banyak dikembangkan di wilayah pesisir Vietnam yang rawan intrusi air laut.

CEKAMAN SALINITAS

Salinitas merupakan salah satu faktor pembatas dalam produksi tanaman, termasuk padi. Lahan salin umumnya ditemukan di daerah pesisir akibat infiltrasi air laut yang meningkatkan kandungan natrium (Na) dan klorida (Cl) dalam tanah. Tanah dengan salinitas tinggi memiliki daya hantar listrik (EC) lebih dari 4 dS/m dan pH yang cenderung netral hingga sedikit alkali (Liu *et al.*, 2022). Akumulasi ion garam dalam tanah menyebabkan tekanan osmotik tinggi, menghambat penyerapan air, serta menurunkan

ketersediaan unsur hara penting seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) (Rachman *et al.*, 2018). Dampak salinitas pada tanaman padi mencakup gangguan fisiologis seperti penghambatan pertumbuhan akar dan daun, penurunan jumlah anakan, serta klorosis pada daun akibat ketidakseimbangan ion (Major *et al.*, 2017). Respons tanaman terhadap cekaman salinitas melibatkan dua mekanisme utama, yaitu peningkatan tekanan osmotik yang menghambat penyerapan air dan akumulasi ion Na^+ dalam jaringan yang dapat merusak sel tanaman (Arzie *et al.*, 2015). Selain itu, tanaman padi yang toleran terhadap salinitas mampu mensintesis metabolit sekunder dan osmolit seperti prolin dan glisin betain untuk mempertahankan keseimbangan osmotik dan melindungi sel dari stres oksidatif.

Pada tingkat molekuler, cekaman salinitas menginduksi perubahan ekspresi gen yang berperan dalam adaptasi tanaman terhadap kondisi ekstrem. Salah satu jalur utama dalam respons salinitas adalah pengaturan keseimbangan ion melalui transportasi natrium (Na^+) dan kalium (K^+) dalam sel tanaman. Gen HKT1;5 telah diidentifikasi sebagai faktor utama dalam eksklusi Na^+ dari jaringan daun ke akar, sehingga mengurangi toksisitas ion di bagian atas tanaman. Selain itu, gen SKC1 berperan dalam menjaga keseimbangan Na^+ dan K^+ melalui mekanisme transport aktif di membran sel akar. Selain regulasi ion, tanaman padi yang toleran terhadap salinitas menunjukkan aktivasi jalur sinyal hormon, terutama asam absisat (ABA). ABA berperan dalam respons stres dengan meningkatkan ekspresi gen LEA (Late Embryogenesis Abundant), yang membantu menjaga stabilitas membran sel dalam kondisi stres tinggi (Harisyah *et al.*, 2022).

Tanaman padi juga meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan peroksidase (POD) untuk menangkal efek stres oksidatif akibat akumulasi spesies oksigen reaktif (ROS) yang meningkat dalam kondisi salinitas tinggi. Gen OsMYB2, yang merupakan faktor transkripsi dalam tanaman padi, memainkan peran penting dalam regulasi ekspresi gen-gen antioksidan tersebut dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman salinitas. Pendekatan bioteknologi juga telah diterapkan dalam pemuliaan varietas padi tahan salinitas. Penggunaan teknologi *gene editing* CRISPR/Cas9 telah berhasil meningkatkan ekspresi gen HKT1;5 dan OsNAC6, yang berperan dalam eksklusi ion Na^+ dan regulasi ekspresi gen toleran stress (Nguyen *et al.*, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan molekuler memiliki potensi besar dalam pengembangan varietas padi yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrim, khususnya lahan dengan kadar garam tinggi. Salinitas juga mempengaruhi pertumbuhan padi dalam berbagai fase. Tanaman padi umumnya lebih sensitif terhadap salinitas pada fase pembibitan dan reproduksi, sedangkan pada fase vegetatif memiliki toleransi yang lebih tinggi. Pengujian varietas padi terhadap cekaman salinitas menjadi penting dalam

upaya pemuliaan varietas unggul yang mampu bertahan di lahan marginal, guna meningkatkan produktivitas padi di wilayah terdampak salinitas. Lebih lanjut, protein DREB (Dehydration-Responsive Element Binding Protein) telah dikaitkan dengan peningkatan toleransi terhadap stres salinitas melalui regulasi ekspresi gen terkait stres, seperti RD29A dan P5CS yang berperan dalam sintesis prolin sebagai osmolit utama (Wang *et al.*, 2021). Selain itu, gen OsHOS1 yang berfungsi sebagai regulator negatif dalam jalur sinyal stres dingin dan salinitas juga telah diidentifikasi, di mana penghambatan ekspresinya dapat meningkatkan ketahanan terhadap cekaman salinitas pada tanaman padi (Hu *et al.*, 2012).

Penelitian terhadap faktor transkripsi OsBZIP23 juga menunjukkan bahwa protein ini berperan dalam meningkatkan ekspresi gen-gen yang berhubungan dengan akumulasi osmolit dan detoksifikasi ROS, sehingga memperkuat adaptasi tanaman padi terhadap cekaman salinitas (Yang *et al.*, 2019). Dengan adanya berbagai mekanisme molekuler ini, pengembangan varietas padi toleran salinitas menjadi semakin strategis dalam menghadapi perubahan lingkungan global dan degradasi lahan akibat salinitas.

MEKANISME TOLERANSI TANAMAN PADI TERHADAP SALINITAS

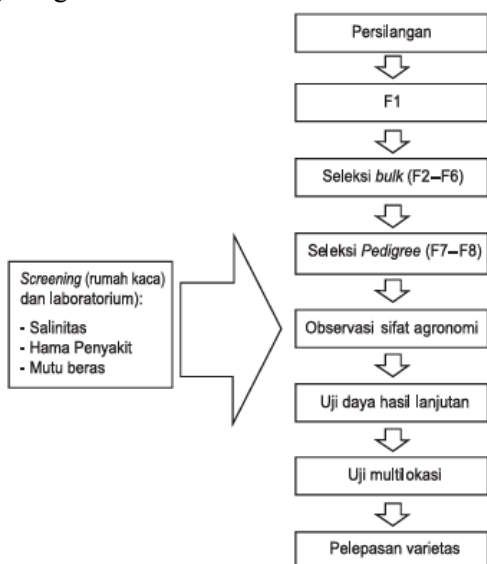
Tanaman padi memiliki beberapa mekanisme toleransi terhadap cekaman salinitas yang melibatkan berbagai proses fisiologis, biokimia, dan molekuler. Salah satu mekanisme utama adalah penyesuaian osmotik, yaitu kemampuan tanaman dalam mempertahankan keseimbangan osmotik melalui akumulasi zat terlarut seperti prolin, gula, dan glisin betain. Zat-zat ini bertindak sebagai osmoregulator yang membantu menjaga stabilitas seluler dan mengurangi dampak negatif dari tekanan osmotik akibat tingginya kadar garam dalam tanah. Penyesuaian osmotik ini sangat penting dalam meningkatkan daya tahan tanaman terhadap stres salinitas karena memungkinkan tanaman tetap menyerap air meskipun potensial air tanah menurun akibat tingginya kandungan garam (FAO, 2022). Mekanisme kedua adalah eksklusi ion Na^+ , yaitu kemampuan tanaman dalam mengontrol penyerapan dan distribusi ion garam dalam jaringan tanaman. Pada varietas padi yang toleran terhadap salinitas, akar tanaman dapat menghambat penyerapan ion natrium (Na^+) yang berlebihan, sehingga mencegah akumulasi ion yang bersifat toksik dalam jaringan daun dan batang. Selain itu, beberapa varietas padi juga memiliki mekanisme pengeluaran ion Na^+ melalui pompa ion yang terdapat di membran sel, sehingga kadar garam dalam jaringan tetap berada dalam batas toleransi tanaman. Studi menunjukkan bahwa varietas padi yang memiliki ekspresi tinggi dari gen HKT1;5 lebih mampu mengontrol akumulasi ion Na^+ di akar dibandingkan varietas yang sensitif terhadap salinitas.

Selain itu, tanaman padi juga merespons cekaman salinitas melalui sintesis metabolit sekunder, yang berfungsi sebagai perlindungan terhadap stres oksidatif

akibat salinitas tinggi. Beberapa senyawa metabolit seperti flavonoid, fenol, dan karotenoid berperan dalam menangkal radikal bebas yang dihasilkan akibat tekanan garam yang tinggi. Mekanisme ini sangat penting karena cekaman salinitas dapat meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) yang dapat merusak sel tanaman. Tanaman yang toleran terhadap cekaman salinitas umumnya memiliki aktivitas enzim antioksidan yang lebih tinggi, seperti superoksida dismutase (SOD), katalase (CAT), dan peroksidase (POD), yang berperan dalam mengurangi stres oksidatif dalam sel tanaman (Zhu, 2016). Dengan adanya berbagai mekanisme ini, varietas padi yang memiliki kombinasi penyesuaian osmotik, eksklusi ion Na⁺, dan sintesis metabolit sekunder yang efektif akan memiliki tingkat ketahanan lebih tinggi terhadap cekaman salinitas. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai mekanisme toleransi ini sangat penting dalam upaya pengembangan varietas padi unggul yang dapat tumbuh optimal di lahan dengan kadar garam tinggi.

UPAYA PERAKITAN VARIETAS PADI TOLERAN CEKAMAN SALINITAS

Upaya untuk mendapatkan varietas padi yang toleran terhadap salinitas juga telah intensif dilakukan oleh para peneliti di Indonesia. 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.

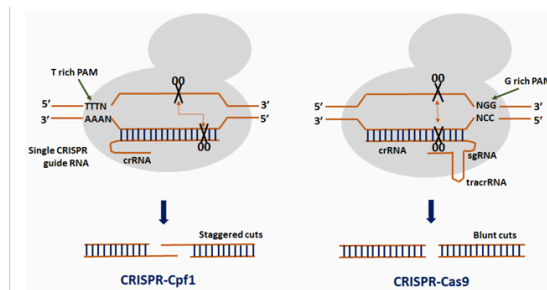


Gambar 1. Skema Perakitan Varietas Padi Toleran Salinitas Menggunakan Kombinasi Metode Bulk dan Pedigree (Hairmansis dan Nafisa 2020).

Perakitan varietas padi toleran cekaman salinitas menjadi strategi utama dalam menghadapi tantangan penurunan produktivitas akibat intrusi air laut dan degradasi tanah di wilayah pesisir serta lahan irigasi dengan kandungan garam tinggi. Pendekatan dalam pemuliaan tanaman untuk meningkatkan toleransi

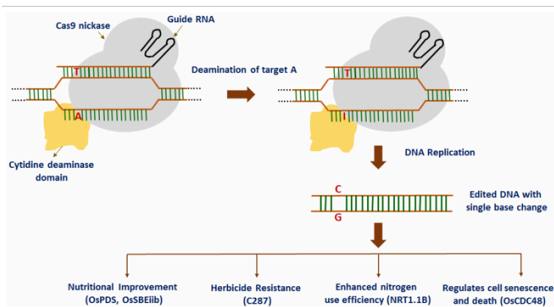
terhadap cekaman salinitas mencakup seleksi genetik, pemuliaan berbasis marker (*marker-assisted selection/MAS*), serta rekayasa genetika menggunakan teknologi *gene editing* seperti CRISPR/Cas9. Di Indonesia, beberapa varietas padi lokal telah diuji ketahanannya terhadap salinitas, seperti Inpago-8, Sigambiri Merah, dan Ramos, yang menunjukkan kemampuan bertahan di tanah dengan kadar garam tinggi. Sementara itu, di Vietnam, varietas seperti OM5451, OM6976, dan OM2517 telah dikembangkan dengan tingkat toleransi yang lebih tinggi terhadap cekaman salinitas melalui seleksi genetik dan hibridisasi (Phuc *et al.*, 2021).

Pendekatan molekuler dalam pemuliaan varietas padi toleran salinitas semakin berkembang dengan identifikasi dan pemetaan *Quantitative Trait Loci (QTL)* yang berhubungan dengan ketahanan terhadap garam. Salah satu QTL yang paling dikenal adalah Saltol, yang ditemukan pada kromosom 1 padi dan berperan dalam eksklusi ion Na⁺ dari jaringan tanaman (Singh *et al.*, 2021). Gen HKT1;5, yang berada dalam lokus Saltol, telah terbukti mengontrol distribusi ion natrium di akar sehingga mengurangi toksisitas akibat salinitas tinggi. Dengan adanya teknik *marker-assisted selection (MAS)*, gen ini dapat dimasukkan ke dalam varietas unggul melalui pemuliaan konvensional yang lebih cepat dan efisien. Selain seleksi berbasis marker, pendekatan bioteknologi seperti *gene editing* menggunakan CRISPR/Cas9 telah digunakan untuk meningkatkan toleransi salinitas pada padi.



Gambar 2. Gambar ini membandingkan sistem CRISPR-Cpf1 dan CRISPR-Cas9 berdasarkan lokasi pemutusan untai DNA. Cpf1 memotong di ujung distal dengan hasil ujung kohesif, sementara Cas9 memotong di ujung proksimal dengan hasil ujung tumpul.

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pengetikan gen OsRR22, yang berperan dalam regulasi sinyal hormon sitokinin, dapat meningkatkan toleransi terhadap cekaman garam dengan cara memperkuat mekanisme penyesuaian osmotik tanaman (Mishra *et al.*, 2021). Selain itu, gen OsNAC6, yang merupakan faktor transkripsi yang mengatur ekspresi gen-gen toleran stres, telah dimodifikasi menggunakan teknik CRISPR/Cas9 untuk meningkatkan ketahanan padi terhadap salinitas tinggi.



Gambar 3. Kemajuan terbaru dalam teknologi penyuntingan basa pada padi:

Mutasi titik diperkenalkan ke dalam tanaman padi untuk peningkatan nilai gizi, ketahanan terhadap herbisida, efisiensi penggunaan nitrogen yang lebih baik, serta pengaturan penuaan dan kematian sel.

Pendekatan ini menunjukkan bahwa pemuliaan berbasis bioteknologi berpotensi besar dalam menciptakan varietas padi yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrim. Keberhasilan perakitan varietas padi toleran salinitas tidak hanya bergantung pada pendekatan genetik dan bioteknologi, tetapi juga pada strategi agronomi yang mendukung implementasi varietas tersebut di lapangan. Pengelolaan lahan dan pemupukan yang sesuai, seperti penggunaan pupuk berbasis silika dan mikroba tanah yang dapat meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman salinitas, menjadi faktor penting dalam mendukung efektivitas varietas unggul yang telah dikembangkan (Yamauchi *et al.*, 2018). Oleh karena itu, integrasi antara pemuliaan tanaman, teknologi bioteknologi, dan praktek agronomi yang tepat sangat diperlukan dalam upaya peningkatan ketahanan pangan di wilayah terdampak salinitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, cekaman salinitas menjadi tantangan utama dalam produksi padi, terutama di daerah pesisir dan lahan dengan sistem irigasi tidak stabil. Varietas padi dari Vietnam umumnya menunjukkan toleransi lebih tinggi terhadap salinitas dibandingkan varietas dari Indonesia. Hal ini disebabkan oleh faktor genetik yang memungkinkan tanaman lebih efisien dalam eksklusi ion Na^+ , akumulasi osmolit, dan peningkatan aktivitas enzim antioksidan. Mekanisme ini berperan dalam menjaga keseimbangan osmotik serta mengurangi dampak negatif dari stres salinitas pada tanaman padi. Oleh karena itu, pengembangan varietas padi toleran salinitas menjadi strategi penting dalam meningkatkan ketahanan pangan di wilayah terdampak salinitas. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengidentifikasi dan mengembangkan varietas unggul yang memiliki ketahanan optimal terhadap cekaman salinitas guna mendukung keberlanjutan produksi padi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris, A., & Nafisah, S. (2020). "Mekanisme toleransi tanaman padi terhadap cekaman salinitas." *Jurnal Agronomi Indonesia*, 48(3), 210-218.
- Arzie, D., Qadir, A., & Suwarno, F. C. (2015). Pengujian toleransi genotipe padi (*Oryza sativa* L) terhadap salinitas pada stadia perkecambahan. *Buletin Agrohorti*, 3(3), 377-386.
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Produksi Padi di Indonesia Tahun 2021*. Jakarta: BPS.
- Donny, F. (2015). *Pengaruh Salinitas terhadap Pertumbuhan dan Produksi Padi*. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 43(2), 112-120.
- FAO. (2022). *Rice Market Monitor 2022*. Food and Agriculture Organization.
- Firmansyah, Y., Rahmawati, N., & Hidayati, N. (2017). "Peran prolin dalam toleransi tanaman padi terhadap cekaman salinitas." *Jurnal Biologi Tropis*, 17(2), 123-130.
- Harisyah, T., Lestari, P., & Nugraha, Y. (2022). "Penyesuaian osmotik dan akumulasi osmolit pada tanaman padi di bawah cekaman salinitas." *Jurnal Bioteknologi Pertanian*, 11(1), 55-63.
- Hu, H., You, J., Fang, Y., Zhu, X., Qi, Z., & Xiong, L. (2012). "Characterization of transcription factor gene OsHOS1 and its role in seed dormancy and salt stress responses in rice." *Plant Physiology*, 158(3), 1377-1388.
- Liu, X., Zhang, S., Jiang, Y., Li, S., & Liu, F. (2022). "Physiological and molecular mechanisms of salinity tolerance in rice." *The Crop Journal*, 10(1), 13-25.
- Major, J. E., A. Mosseler, J. W. Malcolm & S. Heartz. (2017). Salinity Tolerance of Three Salix Species : Survival, Biomass Yield and Allocation, and Biochemical Efficiencies. *Biomass and Bioenergy*, 1 (105) : 10-22
- Mishra, R., Joshi, R. K., Zhao, K., & Nayak, S. (2021). "Genome editing in rice: Advances and applications for abiotic stress tolerance." *Molecular Plant Breeding*, 12(3), 45-58.
- Nga, T. T., & Pham, H. D. (2020). "Strategies for saline soil management in the Mekong Delta." *Vietnam Journal of Agricultural Science*, 38(4), 87-95.
- Nguyen, V. H., Tran, Q. T., & Le, P. T. (2021). "Application of CRISPR/Cas9 for improving salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.)." *Plant Molecular Biology Reports*, 39(2), 152-164.
- Phuc, T. H., Van Manh, N., & Ky, H. (2021). Genetic diversity of local rice varieties (*Oryza sativa* L.) in Vietnam's Mekong Delta based on SSR markers and morphological characteristics. *Indonesian Journal of Biotechnology*, 26(2), 76-81.
- Qin, H., Huang, R., & Jiang, L. (2020). "Genetic and molecular mechanisms of salinity tolerance in rice." *Rice Science*, 27(5), 368-385.
- Rachman, A., Setiawan, B. I., & Sutandi, A. (2018). "Pengaruh salinitas terhadap pertumbuhan dan

- hasil tanaman padi (*Oryza sativa* L.)." *Jurnal Agronomi Indonesia*, 46(1), 45-53.
- Resdiar, A., Fardi, F., Hadiano, W., & Lizma, S. F. (2021). Uji Toleransi Beberapa Padi Lokal Kabupaten Simeulue terhadap Tingkat Cekaman Salinitas (NaCl) pada Fase Vegetatif. *Jurnal Agrotek Lestari*, 7(2), 71-82.
- Sihombing, S., Lubis, S. H., & Hutabarat, R. (2020). "Evaluasi ketahanan beberapa varietas padi lokal terhadap cekaman salinitas di Sumatera Utara." *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(2), 112-120.
- Singh, R. K., & Flowers, T. J. (2021). The physiology and molecular biology of the effects of salinity on rice. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 30(5), 379-396.
- Wang, Y., Wu, Y., Liu, S., & Bai, X. (2021). "The role of DREB transcription factors in regulating plant responses to abiotic stress." *Journal of Plant Physiology*, 267, 153544.
- Yamauchi, A., Winslow, M. D., & Redona, E. D. (2018). "Soil and nutrient management for saline paddy fields: Challenges and opportunities." *Field Crops Research*, 220, 67-78.
- Yang, A., Dai, X., & Zhang, W. H. (2019). "A bZIP transcription factor, OsbZIP23, mediates ABA-dependent signal transduction pathways in rice." *The Plant Journal*, 59(2), 312-327.
- Zannati, A., U. Widyastuti & S. Nugroho. (2015). Skrining Salinitas Padi Mutan Inseri Pembawa Activation-Tagging pada Fase Perkecambahan. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 34 (2) : 105-112
- Zhu, J. K. (2016). "Abiotic stress signaling and responses in plants." *Cell*, 167(2), 313-324