



## Analisis Potensi Toleransi Varietas Padi (*Oryza Sativa* L.) Indonesia dan Vietnam Terhadap Cekaman Salinitas

### *Analysis of Potential Tolerance of Rice Varieties (*Oryza Sativa* L.) Indonesia and Vietnam Against Salinity Stress*

Putri Wulandari & Ifan Aulia Candra\*

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

#### Abstrak

Perubahan iklim global menyebabkan meningkatnya intrusi air laut ke wilayah pesisir, memicu salinitas tanah yang berdampak serius terhadap produktivitas tanaman pangan, terutama padi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan membandingkan ketahanan varietas padi lokal Indonesia dan Vietnam terhadap cekaman salinitas melalui pendekatan studi literatur sistematis. Literatur dikumpulkan dari basis data Google Scholar, Scopus, dan ScienceDirect, dengan rentang tahun 2010–2023, dan dianalisis menggunakan sintesis naratif serta analisis tematik-komparatif. Hasil kajian menunjukkan bahwa varietas seperti Sigambiri Merah, Inpago-8, dan Ramos di Indonesia, serta OM567, OM5451, dan OM6976 di Vietnam memiliki tingkat toleransi berbeda terhadap salinitas. Perbedaan tersebut ditentukan oleh ekspresi gen seperti HKT1;5, Saltol, OsMYB2, dan OsNAC6, yang berperan dalam mekanisme eksklusi ion, akumulasi osmolit, serta peningkatan aktivitas antioksidan. Pendekatan pemuliaan berbasis marker dan teknologi CRISPR/Cas9 turut memperkuat ketahanan genetik tanaman. Studi ini merekomendasikan integrasi pendekatan molekuler dan agronomis dalam pengembangan varietas unggul untuk mendukung ketahanan pangan di lahan terdampak salinitas di Asia Tenggara.

**Kata Kunci:** Padi; Cekaman Salinitas; Indonesia dan Vietnam.

#### Abstract

Global climate change is causing increased seawater intrusion into coastal areas, triggering soil salinity that has a serious impact on the productivity of food crops, especially rice. This study aims to examine and compare the resilience of local rice varieties in Indonesia and Vietnam to salinity stress through a systematic literature review approach. The literature was collected from Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect databases, with a range of 2010–2023, and analyzed using narrative synthesis and thematic-comparative analysis. The results of the study showed that varieties such as Sigambiri Merah, Inpago-8, and Ramos in Indonesia, as well as OM567, OM5451, and OM6976 in Vietnam have different levels of tolerance to salinity. The difference is determined by the expression of genes such as HKT1; 5, Saltol, OsMYB2, and OsNAC6, which play a role in the mechanism of ion exclusion, osmolite accumulation, as well as increased antioxidant activity. Marker-based breeding approaches and CRISPR/Cas9 technology have also strengthened the genetic resilience of plants. This study recommends the integration of molecular and agronomic approaches in the development of superior varieties to support food security in salinity-affected lands in Southeast Asia.

**Keywords:** Priest; Salinity Grip; Indonesia and Vietnam.

**How to Cite:** Wulandari, P & Candra, I, A. (2025). Analisis Potensi Toleransi Varietas Padi (*Oryza Sativa* L.) Indonesia dan Vietnam Terhadap Cekaman Salinitas. *Jurnal Ilmiah Pertanian (JIPERTA)*, 7(2):204-212,

\*E-mail: [ifan@staff.uma.ac.id](mailto:ifan@staff.uma.ac.id)

ISSN 2722-0338 (Online)



## **PENDAHULUAN**

Perubahan iklim global telah memicu peningkatan intensitas intrusi air laut ke wilayah daratan, khususnya di kawasan pesisir. Akibatnya, salinitas tanah menjadi isu global yang semakin mendesak, terutama dalam sektor pertanian. Tanah yang mengalami salinisasi tidak hanya mengalami degradasi kualitas, tetapi juga menurunkan produktivitas pertanian, termasuk pada komoditas strategis seperti padi. Salinitas tanah mengganggu keseimbangan ion, menghambat proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis dan respirasi, serta menyebabkan stres oksidatif akibat akumulasi ion-ion toksik seperti  $\text{Na}^+$  dan  $\text{Cl}^-$ . Situasi ini menuntut strategi adaptasi dan mitigasi berbasis ilmu pengetahuan dan teknologi.

Di kawasan Asia Tenggara, Indonesia dan Vietnam menghadapi tantangan yang serupa. Indonesia memiliki garis pantai sepanjang 99.093 km yang menyebabkan banyak lahan pertanian, khususnya lahan marginal seperti gambut, sulfat masam, rawa pasang surut, dan ultisol, terpapar intrusi air laut. Di Vietnam, garis pantai sepanjang 3.260 km, terutama di kawasan Delta Mekong, menyebabkan sekitar 500.000 hektar lahan sawah terdampak salinitas. Keduanya menghadapi risiko nyata terhadap produktivitas padi, komoditas pangan utama yang menjadi penyangga ketahanan pangan nasional.

Berbagai studi menunjukkan bahwa salinitas merupakan salah satu faktor pembatas utama dalam produksi padi. Di Indonesia, produksi padi tahun 2021 mencapai 54,42 juta ton Gabah Kering Giling (GKG), mengalami sedikit penurunan dibandingkan tahun sebelumnya, salah satunya karena faktor lingkungan. Beberapa varietas lokal seperti Inpago-8, Sigambiri Merah, dan Sigambiri Putih menunjukkan toleransi yang lebih tinggi terhadap salinitas (Sihombing et al., 2020). Strategi pemuliaan berbasis marker-assisted selection (MAS) juga telah dilakukan, salah satunya dengan mengidentifikasi gen *Saltol* yang berperan dalam eksklusi ion  $\text{Na}^+$  di akar (Firmansyah et al., 2017).

Sementara itu, Vietnam juga mengembangkan pendekatan serupa dengan teknologi genomik dan seleksi berbasis Quantitative Trait Loci (QTL). Beberapa gen penting yang telah berhasil diidentifikasi antara lain *HKT1;5*, *SKC1*, dan *OsMYB2*, yang berperan dalam homeostasis ion dan mekanisme antioksidan terhadap stres salinitas (Qin et al., 2020). Varietas lokal seperti *Dhoc Pung*, *Tra Long*, *Nep Mo*, *Mot Bui*, dan *Tam Xoan* diketahui memiliki potensi toleran terhadap cekaman salinitas.

Meskipun banyak studi telah dilakukan secara terpisah di masing-masing negara, masih terbatas kajian komparatif antara varietas padi lokal Indonesia dan Vietnam dalam hal ketahanan terhadap salinitas, baik dari aspek molekuler maupun agronomis. Terlebih, belum banyak penelitian yang mengkaji secara langsung ekspresi gen-gen toleran salinitas dan performa fisiologis serta agronomisnya secara lintas negara dengan latar belakang geografis dan agroekosistem yang serupa.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan membandingkan ketahanan varietas padi lokal Indonesia dan Vietnam terhadap cekaman salinitas melalui pendekatan molekuler dan agronomis. Dengan memahami perbedaan dan kesamaan respons adaptif antara kedua negara, hasil penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan varietas unggul toleran salinitas dan menjadi dasar strategi peningkatan ketahanan pangan regional di tengah ancaman perubahan iklim.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis untuk mengkaji toleransi varietas padi Indonesia dan Vietnam terhadap cekaman salinitas, baik dari aspek agronomis maupun molekuler. Pengumpulan literatur dilakukan melalui beberapa basis data

ilmiah terkemuka seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, PubMed, SpringerLink, serta Garuda (Garba Rujukan Digital). Rentang tahun publikasi yang digunakan adalah antara tahun 2010 hingga 2023, guna mencakup perkembangan terbaru dalam penelitian genetik, bioteknologi, dan agronomi terkait toleransi padi terhadap salinitas. Proses pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan kata kunci seperti “padi toleran salinitas”, “salinity stress in rice”, “varietas padi lokal Indonesia”, “Vietnam rice varieties salt tolerance”, “Saltol QTL in rice”, “HKT1;5 gene rice”, dan “marker-assisted selection salt tolerance”, baik dalam bahasa Indonesia maupun Inggris.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini mencakup artikel penelitian primer dan ulasan sistematis yang relevan, memuat data terkait varietas padi, mekanisme molekuler, serta kondisi agronomis di Indonesia dan Vietnam. Literatur yang tidak tersedia dalam versi lengkap, tidak melalui proses peer-review, atau tidak relevan dengan konteks penelitian dikeluarkan dari analisis. Sebanyak 45 artikel yang memenuhi kriteria telah dikaji lebih lanjut. Data dari berbagai sumber tersebut dianalisis menggunakan pendekatan sintesis naratif dan analisis tematik-komparatif. Sintesis naratif digunakan untuk menyusun pemahaman umum mengenai varietas dan respons padi terhadap salinitas. Analisis tematik mengelompokkan temuan berdasarkan topik seperti ekspresi gen, aktivitas antioksidan, dan efisiensi fotosintesis, sedangkan analisis komparatif dilakukan untuk menilai perbedaan dan kesamaan strategi adaptasi antara varietas padi Indonesia dan Vietnam. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai potensi dan tantangan dalam pengembangan varietas padi tahan salinitas di kedua negara.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **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 Sumatra 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 (Setiyono et al., 2022). 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 (Donny, 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 & 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 (Elsheery et al., 2020). 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  $\text{Na}^+$  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 ( $\text{Na}^+$ ) dan kalium ( $\text{K}^+$ ) dalam sel tanaman. Gen HKT1;5 telah diidentifikasi sebagai faktor utama dalam eksklusi  $\text{Na}^+$  dari jaringan daun ke akar, sehingga mengurangi toksisitas ion di bagian atas tanaman. Selain itu, gen SKC1 berperan dalam menjaga keseimbangan  $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$  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., 2020).

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 ekskresi ion Na<sup>+</sup> dan regulasi ekspresi gen toleran stres (Nguyen et al., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan molekuler memiliki potensi besar dalam pengembangan varietas padi yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem, 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**

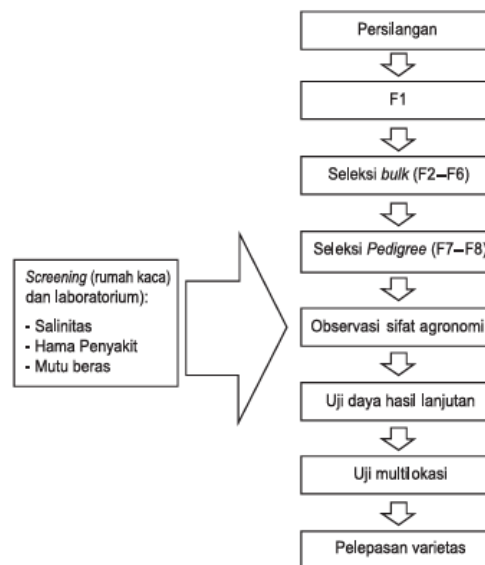
Tanaman padi memiliki beberapa mekanisme toleransi terhadap cekaman salinitas yang melibatkan berbagai proses fisiologis, biokimia, dan molekuler. Salah satu mekanisme utama adalah penyesuaian osmotik, yaitu kemampuan tanaman dalam mempertahankan keseimbangan osmotik melalui akumulasi zat terlarut seperti 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, 2017). Mekanisme kedua adalah ekskresi ion Na<sup>+</sup>, 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<sup>+</sup>) 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> 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 (Nykiel et al., 2023). Dengan adanya berbagai mekanisme ini, varietas padi yang memiliki kombinasi penyesuaian osmotik, ekskresi ion Na<sup>+</sup>, 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.

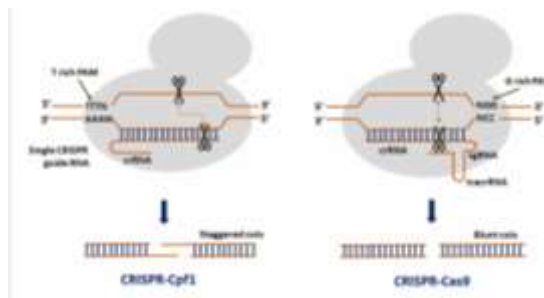


Gambar 1. Skema Perakitan Varietas Padi Toleran Salinitas Menggunakan Kombinasi Metode Bulk dan Pedigree (Aris & Nafisah, 2020).

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

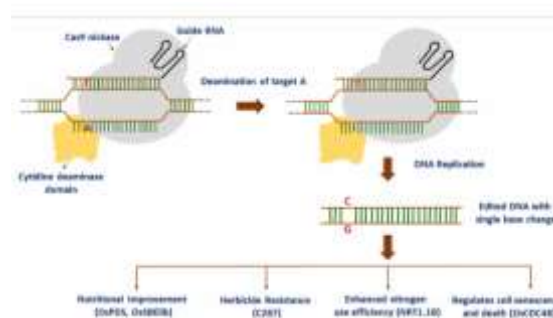
toleransi yang lebih tinggi terhadap cekaman salinitas melalui seleksi genetik dan hibridisasi (Phuc et al., 2021).

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  $\text{Na}^+$  dari jaringan tanaman (Singh & Flowers, 2016). 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. Perbandingan 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 pengeditan 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 ekstrem. 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 praktik agronomi yang tepat sangat diperlukan dalam upaya peningkatan ketahanan pangan di wilayah terdampak salinitas.

## **SIMPULAN**

Penelitian ini menyoroti pentingnya pengembangan varietas padi yang toleran terhadap cekaman salinitas sebagai respons terhadap meningkatnya intrusi air laut akibat perubahan iklim global. Melalui studi literatur sistematis, ditemukan bahwa baik Indonesia maupun Vietnam telah mengembangkan berbagai varietas padi lokal dengan karakteristik adaptif terhadap salinitas. Varietas seperti Sigambiri Merah dan Inpago-8 di Indonesia serta OM567 dan OM6976 di Vietnam menunjukkan perbedaan signifikan dalam ekspresi gen toleransi, mekanisme fisiologis, serta hasil agronomisnya. Mekanisme adaptasi yang mencakup eksklusi ion Na<sup>+</sup>, peningkatan aktivitas antioksidan, serta sintesis osmolit menjadi kunci utama dalam ketahanan padi terhadap lingkungan salin.

Temuan ini menegaskan bahwa kombinasi pendekatan molekuler, pemuliaan berbasis marker (MAS), dan teknologi gene editing seperti CRISPR/Cas9 memiliki potensi besar dalam menciptakan varietas padi yang lebih tangguh terhadap salinitas. Namun demikian, kajian komparatif lintas negara terhadap ekspresi gen dan performa agronomis masih sangat terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi riset lebih lanjut yang tidak hanya fokus pada aspek genetik, tetapi juga mempertimbangkan adaptasi agronomi dan praktik budidaya spesifik lokal. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi kontribusi nyata dalam mendukung ketahanan pangan regional di tengah tantangan perubahan iklim dan degradasi lahan pesisir.

## **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. <https://doi.org/10.29244/agrob.v3i3.15817>
- Donny, F. (2015). Pengaruh Salinitas Terhadap Pertumbuhan Dan Sintasan Megalopa Kepiting Bakau. *Jurnal Agronomi Indonesia*, 43(2), 112–120.
- Elsheery, N. I., Helaly, M. N., Omar, S. A., John, S. V. S., Zabochnicka-Swiątek, M., Kalaji, H. M., & Rastogi, A. (2020). Physiological and molecular mechanisms of salinity tolerance in grafted cucumber. *South African Journal of Botany*, 130(1), 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.014>
- FAO. (2017). Rice Market Monitor 2018. *Rice-Network@fao.Org*, 18, 1–37. <http://www.met.ie/climate/MonthlyWeather/clim-2015-Dec.pdf>
- 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. (2020). 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.
- Major, J. E., Mosseler, A., Malcolm, J. W., & Heartz, S. (2017). Salinity tolerance of three *Salix* species: Survival, biomass yield and allocation, and biochemical efficiencies. *Biomass and Bioenergy*, 105(105), 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.06.014>
- 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.
- Nykiel, M., Gietler, M., Fidler, J., Prabucka, B., & Labudda, M. (2023). Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants. *Plants*, 12(19), 313–324. <https://doi.org/10.3390/plants12193405>
- Phuc, T. H., Giang, V. Q., 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. <https://doi.org/10.22146/IJBIOTECH.63648>
- 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.
- Setiyono, S., Pangestu, R. W., & Kusbianto, D. E. (2022). Aplikasi Pupuk Hayati (Biofertilizer) Dan Pupuk ZA Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Buncis (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 20(1), 10–19. <https://doi.org/10.32528/agritrop.v20i1.7124>
- 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. (2016). Physiology and molecular biology of the effects of salinity on rice. *Handbook of Plant and Crop Stress, Third Edition*, 30(5), 899–939. <https://doi.org/10.1201/b10329-49>
- 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., Widyastuti, U., & Nugroho, S. (2015). Skrining Salinitas Padi Mutan Inseri Pembawa Activation-Tagging pada Fase Perkecambahan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 34(2), 105. <https://doi.org/10.21082/jpptp.v34n2.2015.p105-111>