

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Kultivar Padi unggul Padi cv. Inpago

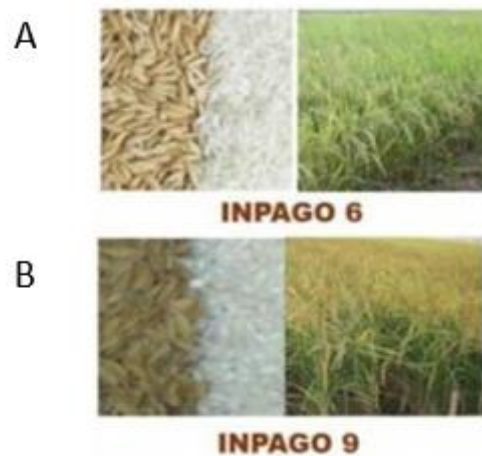
Padi (*Oryza sativa* L.) adalah salah satu tanaman budidaya yang paling berpengaruh dalam sejarah peradaban manusia. Selain merujuk pada tanaman budidaya tersebut, istilah "padi" juga sering digunakan untuk menyebut beberapa spesies lain dari genus yang sama, yang dikenal sebagai padi liar (Wahdah, 2021).

Padi dalam sistematika tumbuhan memiliki tingkat klasifikasi sebagai berikut.

Kingdom : Plantae
Divisio : Spermatophyta
Sub divisio : Angiospermae
Kelas : Monocotyledoneae
Ordo : Poales
Famili : *Gramineae (Poaceae)*
Genus : *Oryza*
Spesies : *Oryza sativa* L.

(Wahdah, 2021).

Padi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis utama: padi kering (gogo), yang dibudidayakan di dataran tinggi tanpa genangan air, dan padi sawah, yang memerlukan pengairan di dataran rendah (Yugi & Tri, 2010). Kultivar Inpago adalah jenis padi gogo atau padi lahan kering yang dihasilkan melalui proses persilangan dengan menjaga kemurnian sifatnya melalui penyerbukan sendiri, yang dikenal sebagai inbrida. Secara umum, kultivar padi Inpago memiliki ciri khas berupa bentuk bulir yang agak bulat serta tinggi tanaman yang relatif pendek (Purba et al., 2023).



Gambar 2.1 Padi Gogo Unggul untuk Lahan Kering cv. Inpago 6 (A) dan cv. Inpago 9 (B). Sumber: www.distan.bulengkap.go.id

Padi gogo cv. Inpago 6 berasal dari galur introduksi IRRI dengan nomor seleksi IR 30176-13-2-MR-I. Kultivar ini memiliki berbagai keunggulan, seperti potensi hasil mencapai 5,81 ton GKG per hektar, tahan terhadap penyakit blas, serta mutu beras yang baik dengan tekstur nasi pulen dan kadar amilosa 22% (Asiva Noor Rachmayani, 2015). Inpago 6 tergolong genjah dengan umur panen 113 hari, tinggi tanaman 117 cm, serta jumlah anakan produktif rata-rata 11 batang per rumpun (Rachmayani, 2015). Sementara itu, kultivar Inpago 9 merupakan hasil persilangan antara UPLRI dan IRAT15, memiliki potensi hasil lebih tinggi hingga 8,4 ton per hektar dan rata-rata hasil sekitar 5,2 ton per hektar. Dengan umur panen 109 hari, tinggi tanaman sekitar 115 cm, serta ketahanan terhadap beberapa ras penyakit blas dan toleransi terhadap kekeringan, Inpago 9 cocok untuk lahan kering dataran rendah hingga menengah (Lubis & Suwarno, 2012).

Selain kedua kultivar gogo tersebut, padi sawah kultivar IR64 juga menjadi salah satu kultivar unggul yang banyak dibudidayakan. IR64 memiliki umur panen sekitar 110–125 hari, tinggi tanaman 85 cm, serta jumlah anakan produktif rata-rata 14,83 per rumpun (Sunandar *et al.*, 2015). Kultivar ini dikenal tahan terhadap wereng coklat biotipe 1 dan 2

serta menghasilkan beras dengan kadar amilosa sekitar 20,57%, sehingga nasi yang dihasilkan memiliki tekstur pulen. Dengan keunggulan masing-masing, kultivar Inpago 6, Inpago 9, dan IR64 menjadi pilihan potensial untuk budidaya baik di lahan kering maupun sawah irigasi (Sunandar *et al.*, 2015).

2.1.2. Cekaman Kekeringan pada Tanaman

Cekaman kekeringan merupakan salah satu stres abiotik yang membatasi produktivitas tanaman. Cekaman ini terjadi ketika tanaman mengalami defisit air yang mengganggu proses fisiologis, biokimia, dan molekuler pada tanaman (Farooq *et al.*, 2009). Sebagai respon terhadap kondisi tersebut, tanaman mengaktifkan berbagai mekanisme adaptasi untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Salah satu respon pertama tanaman saat menghadapi cekaman kekeringan adalah penutupan stomata, yang mengakibatkan penurunan kadar CO₂ di dalam tanaman. Hal ini dapat menghambat aktivitas enzim ribulosa-1,5-bisphosphate karboksilase, sehingga mengurangi laju fotosintesis dan mempengaruhi kualitas dan kuantitas pertumbuhan tanaman (Cahyo *et al.*, 2020).

Secara umum, cekaman kekeringan dapat diklasifikasikan menjadi dua tingkat, yaitu cekaman kekeringan ringan dan cekaman kekeringan berat. Cekaman kekeringan ringan (*mild drought stress*) ditandai oleh penurunan kadar air tanah yang belum mencapai titik kritis, sehingga tanaman masih dapat menjalankan fungsi fisiologis dengan relatif stabil. Pada tahap ini, tanaman merespons dengan adaptasi awal seperti penutupan sebagian stomata untuk mengurangi transpirasi, peningkatan akumulasi osmolit seperti prolin dan gula larut, serta pengaktifan gen-gen pertahanan (Flexas, 2002). Sebaliknya, cekaman kekeringan berat (*severe drought stress*) terjadi ketika pasokan air sangat terbatas dan kebutuhan air tanaman tidak tercukupi dalam jangka waktu yang lama. Dampak dari cekaman berat meliputi gangguan fotosintesis akibat kerusakan kloroplas,

penurunan sintesis protein, peningkatan spesies oksigen reaktif (ROS), dan bahkan kematian sel (Gill & Tuteja, 2010).

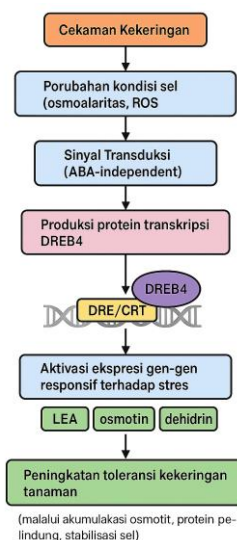
2.1.3. Gen *Dehydration Responsive Element Binding (DREB)*

Dehydration Responsive Element Binding (DREB) pertama kali diidentifikasi dalam *Arabidopsis thaliana*. Gen *AtDREB1* dan *AtDREB2* telah terbukti meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan dan suhu rendah (Qin, 2017). *DREB* termasuk dalam superfamilia AP2/ERF dan memiliki domain AP2/ERF yang sangat terkonservasi, yang memungkinkan mereka untuk berinteraksi dengan elemen *cis DRE/CRT* di promotor gen target (Huang *et al.*, 2020). Dalam banyak spesies tanaman, termasuk padi, *DREB* berperan dalam mengatur ekspresi gen yang terlibat dalam mekanisme pertahanan terhadap stres abiotik (Qin, 2017).

Gen *DREB* sangat penting dalam membantu tanaman menghadapi stres tanpa bergantung pada asam absisat (ABA) (Hassan *et al.*, 2023). Gen ini berperan dalam mengekspresikan berbagai gen yang merespons stres. cDNA pertama yang berhasil diisolasi untuk protein pengikat *DRE*, yaitu *CBF1*, *DREB1A*, dan *DREB2A*, ditemukan menggunakan metode penyaringan satu-hibrid ragi dari *Arabidopsis*. Sejak itu, banyak gen *DREB* lainnya juga telah diisolasi dari berbagai jenis tanaman. Protein-protein ini memiliki kemampuan khusus untuk mengikat urutan *DRE*, yang kemudian memicu ekspresi gen-gen terkait (Lata & Prasad, 2011).

Gen *DREB* dapat diklasifikasikan menjadi beberapa sub-kelompok berdasarkan karakteristik struktural dan fungsionalnya. Klasifikasi ini mencakup enam kelompok utama (A1–A6) atau empat klade (I–IV) (Chai *et al.*, 2020). Salah satu contoh penting adalah *OsDREB4*, yang termasuk dalam kelompok gen *DREB* pada padi. Gen ini, yang terdiri dari dua homolog *OsDREB4-1* dan *OsDREB4-2* yang mengatur respons terhadap cekaman kekeringan dan salinitas, serta berfungsi sebagai faktor trans-aktif dalam jalur pensinyalan stres (Tian *et al.*, 2005). Kedua gen ini mengkode protein yang mengandung domain AP2 terkonservasi, yang berfungsi untuk

mengikat elemen DRE dalam DNA, serta memiliki daerah N-terminal yang berpotensi berfungsi sebagai sinyal lokalisasi inti (NLS) dan daerah *C-terminal* yang berpotensi bertindak sebagai domain aktivasi transkripsi. Gen *OsDREB4* berperan penting dalam mengatur respons tanaman terhadap stres abiotik, khususnya stres akibat kekeringan dan salinitas (Tian *et al.*, 2005).



Gambar 2.2 Mekanisme molekuler DREB4 dalam respons terhadap cekaman kekeringan. DREB4 diinduksi melalui jalur pensinyalan ABA - independent dan mengaktifkan gen-gen stres seperti LEA, osmotin, dan dehidrin melalui pengikatan elemen DRE/CRT pada promotor target gen, sehingga meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan.

2.1.4. *Priming Effect*

Sebagian besar tanaman tidak dapat berpindah tempat sehingga tidak mampu menghindari perubahan lingkungan yang merugikan. Sebagai respons, tanaman membentuk mekanisme fisiologis untuk mengenali dan menyesuaikan diri dengan kondisi tersebut (Conrath, 2009). Salah satu bentuk adaptasi tersebut adalah respons terhadap cekaman kekeringan, yang dapat disimulasikan secara *in vitro* menggunakan *polyethylene glycol* (PEG). PEG merupakan senyawa osmotik yang mampu menurunkan potensial air di lingkungan sekitar akar tanpa diserap oleh jaringan

tanaman, sehingga secara efektif menciptakan kondisi mirip kekeringan di laboratorium (Qin, 2017). Pemberian *PEG* dengan konsentrasi rendah, seperti 1% (w/v), dapat menimbulkan cekaman osmotik ringan yang cukup menginduksi sinyal stres awal dalam tanaman (Susilawati *et al.*, 2022). Respon ini mencakup aktivasi ekspresi gen-gen tertentu seperti *DREB* yang merupakan faktor transkripsi penting dalam pengaturan ekspresi gen-gen pelindung terhadap stres air. Pada kondisi aktivasi dini ini, tanaman mempersiapkan sistem pertahanan internalnya untuk menghadapi kondisi lingkungan yang tidak bersahabat (Susilawati *et al.*, 2022)

Ketika terpapar patogen atau stres lingkungan, tanaman padi dapat mengaktifkan mekanisme pertahanan lokal, dan pada beberapa tanaman dikotil dikenal adanya *Systemic Acquired Resistance* (SAR) yang memicu respons pertahanan sistemik agar infeksi tidak meluas. Dalam penelitian oleh Ahn *et al.* (2005), mekanisme *priming* terjadi pada padi dengan percobaan pemberian *thiamine* pada padi varietas Hwacheong dan Nakdong sebelum diinokulasi patogen *Magnaporthe grisea* (penyebab penyakit blas) dan *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* (penyebab hawar daun). Hasilnya menunjukkan bahwa efek *priming* yang terjadi berhasil menurunkan tingkat keparahan penyakit secara signifikan. Dimana *thiamine* memicu ekspresi gen-gen pertahanan seperti *PR-1*, *PBZ1*, dan *POX22.3* lebih awal dibandingkan respon normal. Hasil ini menunjukkan bahwa *thiamine* memiliki potensi besar sebagai agen pemicu resistensi sistemik (*systemic acquired resistance/SAR*) untuk pengendalian penyakit pada padi (Ahn *et al.*, 2005).

2.1.5. Ekspresi Gen

Ekspresi gen adalah proses pemanfaatan informasi genetik yang ada dalam gen untuk menghasilkan produk-produk genetik. Produk-produk ini umumnya berupa protein, meskipun ada juga senyawa RNA fungsional yang tidak mengkode protein, seperti tRNA (transfer RNA), rRNA (ribosomal RNA), dan snRNA (*small nuclear RNA*). Untuk mengekspresikan

informasi genetik, sel melalui beberapa langkah, termasuk penyalinan informasi genetik dari DNA ke mRNA (*messenger RNA*), yang dikenal dengan proses transkripsi. Setelah itu, informasi genetik dalam mRNA diterjemahkan menjadi protein melalui proses translasi. Sifat-sifat genetik dapat diturunkan dari satu generasi ke generasi berikutnya (Sinaga, 2010).

2.1.6. Studi Transkriptomik menggunakan RNA Sequencing

Transkriptomik adalah cabang ilmu yang mempelajari transkriptom, yaitu kumpulan molekul RNA yang ditranskripsi beserta tingkat ekspresinya dari genom suatu organisme atau sel tertentu. Studi Transkriptomik melibatkan analisis pola ekspresi gen dengan mendeteksi dan mengukur transkrip RNA (Shahid, 2024). *RNA sequencing (RNA-Seq)* adalah metode yang sering digunakan dalam transkriptomik, yang melibatkan sequencing molekul RNA untuk mendapatkan gambaran menyeluruh dan akurat dari transkriptom. Teknologi *RNA-Seq* memungkinkan pengukuran tingkat ekspresi gen dan membantu mengidentifikasi perbedaan ekspresi gen di berbagai sampel atau kondisi. Analisis data transkriptomik melibatkan berbagai teknik komputasi dan statistika. Proses ini mencakup penyelarasan urutan baca, perakitan transkrip, kuantifikasi tingkat ekspresi gen, analisis ekspresi diferensial, serta anotasi fungsional. (Shahid, 2024).

Transkriptomik memiliki berbagai aplikasi dalam penelitian biologi dan kedokteran. Dalam konteks pertanian, transkriptomik digunakan untuk memahami mekanisme toleransi tanaman terhadap stres abiotik seperti kekeringan dan salinitas. Dengan menganalisis perubahan ekspresi gen di bawah kondisi stres, peneliti dapat mengidentifikasi gen-gen kunci yang berperan dalam respons adaptif tanaman. Selain itu, transkriptomik juga digunakan untuk menemukan biomarker potensial untuk penyakit, mengidentifikasi jalur metabolisme baru, dan memahami interaksi kompleks antara gen dan lingkungan (Huang *et al.*, 2020).

2.2. Hasil Penelitian Terdahulu

Berbagai penelitian sebelumnya telah dijadikan referensi dalam mendukung kajian pada penelitian ini. Penelitian-penelitian tersebut memberikan gambaran mengenai pendekatan, metode, serta temuan yang relevan dengan topik yang diangkat. Selain itu, perbandingan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang akan dilakukan turut disertakan untuk menunjukkan keunikan dan kontribusi penelitian ini. Seluruh ringkasan dan perbandingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu Analisis Ekspresi Gen *DREB* dan Studi Transkriptomik pada Padi

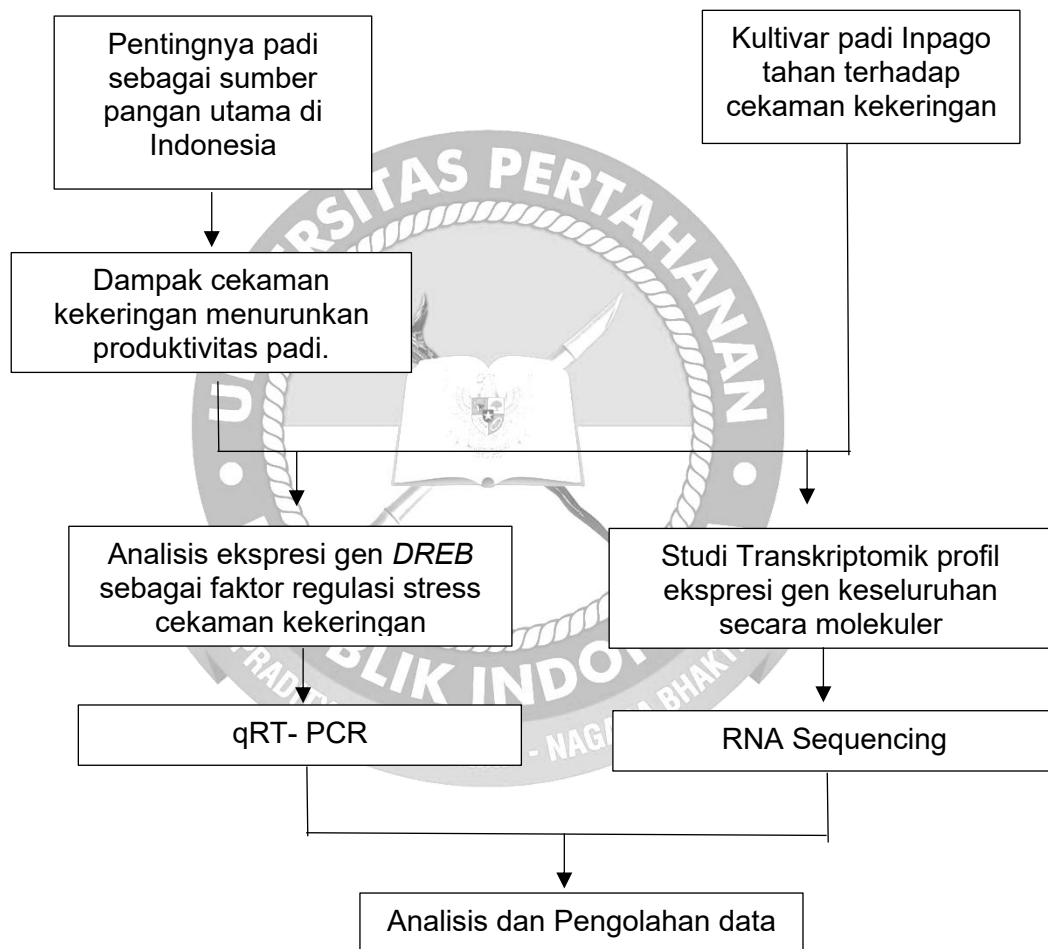
No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Relevansi
1.	(Lathif <i>et al.</i> , 2018)	Varietas Padi Lokal Jawa Timur Tahan Cekaman Kekeringan Berdasarkan Gen <i>DREB2A</i>	Sekuen gen yang dihasilkan berupa Gen <i>DREB2A</i> yang sudah mutasi, dan hasil analisis <i>in silico</i> sampel varietas Jawa memperlihatkan kehilangan kemampuan gen <i>DREB2A</i> yang dimiliki untuk mengikat elemen <i>cis-regulator</i> promotor gen target.	Penelitian ini juga menganalisis gen <i>DREB</i> pada padi tahan kekeringan
2.	(Santoso <i>et al.</i> , 2012),	Respon Padi Transgenik cv. Nipponbare Generasi T1 yang mengandung Gen	Perlakuan salinitas dengan menggunakan konsentrasi 150 mM NaCl dapat lebih membedakan tingkat toleransi	Penelitian ini menguji Gen <i>DREB</i> pada padi dengan menggunakan metode Analisis Molekuler

		<i>OsDREB1A</i> Terhadap Cekaman Salinitas	secara nyata. Tanaman padi transgenik Nipponbare- <i>OsDREB1A</i> generasi T1 yang positif PCR menunjukkan toleransi yang sangat tinggi pada cekaman salinitas 150 mM NaCl dibandingkan dengan padi Nipponbare non- transgenik.	PCR
3.	(Nazirah et al., 2015),	Evaluasi Toleransi Berbagai Varietas Padi Gogo terhadap Cekaman Kekeringan Menggunakan PEG	Hasil percobaan menunjukkan variasi respon varietas terhadap cekaman kekeringan var. ciapus memiliki panjang plumula lebih tinggi dan inpag 5 panjang akar tertinggi. Berat kering plumula tertinggi pada var.ciapus serta akar tertinggi pada inpag 4 sedangkan indeks plumula tertinggi pada inpag 7 dan indeks akar tertinggi terdapat pada tiga varietas yaitu inpari 33, Inpari 6 jete dan sintanur. Konsentrasi 20% PEG 6000 dapat digunakan untuk mendeteksi varietas yang	Penelitian ini menggunakan padi gogo sebagai objek penelitian toleransi kekeringan menggunakan PEG

			toleran cekaman kekeringan.	
4.	(Afrianingsih <i>et al.</i> , 2018)	Toleransi Genotipe Padi pada Vase Vegetatif dan Fase Generatif terhadap Cekaman Kekeringan	Terdapat genotipe yang toleran cekaman kekeringan pada fase vegetatif yaitu genotipe Dro1, IR64, Huanghuazan, Situ Bagendit, Gajah mungkur dan BP14352e-2-3-3Op-JK-0	Penelitian ini mengamati efek pada morfologi dan agronomi padi cv. Inpago 6, Inpago 9, dan IR64 pada perlakuan cekaman kekeringan
5.	(Oktaviani <i>et al.</i> , 2021)	Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Ekspresi Gen Ketahanan OsCATA dan OsAPX1 pada Padi Toleran Kekeringan	Hasil penelitian menunjukkan interaksi perlakuan varietas padi dengan cekaman kekeringan signifikan terhadap panjang akar, dan total klorofil namun tidak signifikan terhadap tinggi tanaman.	Ekspresi Gen menjadi salah satu faktor uji untuk melihat respon padi terhadap cekaman kekeringan pada penelitian ini.

2.3. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir penelitian disajikan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut (Gambar 2.3)



Gambar 2.3. Diagram Kerangka Berpikir