

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman cabai (*Capsicum annuum* L.) merupakan komoditas hortikultura penting yang tidak hanya berperan sebagai bahan pangan utama dalam berbagai masakan, tetapi juga memiliki nilai ekonomi tinggi bagi petani. Tingginya permintaan cabai tercermin dari tingkat konsumsi nasional yang pada tahun 2020 mencapai 549,48 ribu ton (Seth & Sebastian, 2024). Produksi cabai nasional juga menunjukkan tren peningkatan, yaitu sebesar 1,21 juta ton pada tahun 2019, 1,26 juta ton pada tahun 2020, dan 1,36 juta ton pada tahun 2021. Namun demikian, kondisi tersebut tidak sepenuhnya mencerminkan situasi di daerah sentra produksi tertentu. Di Sumatera Barat, produksi cabai justru mengalami penurunan secara berturut-turut pada periode yang sama, yaitu dari 139.994 ton (2019) menjadi 133.190 ton (2020) dan 115.766 ton (2021) (Ediwirman *et al.*, 2023).

Sumatera Barat dikenal sebagai salah satu pusat produksi cabai nasional dengan tingkat konsumsi cabai yang relatif tinggi (Hamidah *et al.*, 2020). Salah satu varietas lokal unggulan yang berkembang di wilayah ini adalah cabai Kopay. Cabai Kopay merupakan kultivar lokal yang dikembangkan oleh petani di Kota Payakumbuh melalui proses pemurnian dan seleksi, sehingga menghasilkan benih unggul yang memiliki produktivitas tinggi serta relatif tahan terhadap serangan hama dan penyakit (Azani *et al.*, 2024). Keunggulan lain cabai Kopay adalah ukuran buahnya yang panjang, yaitu mencapai 30–40 cm per buah, sehingga memiliki nilai jual yang tinggi (Noli & Labukti, 2022). Meskipun demikian, produktivitas cabai Kopay di lapangan masih sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, salah satunya cekaman kekeringan.

Kekeringan merupakan salah satu stres abiotik utama yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan fisiologi tanaman cabai. Cekaman ini dapat menurunkan viabilitas benih, kandungan klorofil, serta mengganggu proses fotosintesis yang pada akhirnya menekan produktivitas tanaman (Roziqoh *et al.*, 2023). Pada fase vegetatif, kekeringan secara gradual menyebabkan penurunan tinggi tanaman, indeks luas

daun, jumlah daun, dan bobot kering akar (Verra, 2017). Kekurangan air juga memicu penutupan stomata yang menghambat fotosintesis dan meningkatkan pembentukan *reactive oxygen species* (ROS), sehingga menyebabkan stres oksidatif yang merusak membran sel dan jaringan tanaman (Tang *et al.*, 2019). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan toleransi kekeringan pada fase vegetatif menjadi faktor kunci dalam menjaga stabilitas pertumbuhan dan produktivitas cabai Kopay di lapangan.

Toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan tidak hanya ditentukan oleh respon fisiologis, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh mekanisme molekuler yang melibatkan regulasi gen-gen respons stres. Regulasi gen tersebut dikendalikan oleh faktor transkripsi yang berfungsi sebagai penghubung antara sinyal lingkungan dan respons molekuler tanaman. Salah satu faktor transkripsi penting dalam respons cekaman adalah *Heat Shock Transcription Factor A2* (HSFA2). Pada tanaman cabai, gen *CaHsFA2* diketahui berperan dalam mengaktifkan gen-gen pelindung sel, seperti *heat shock proteins* (HSPs), yang berfungsi menjaga stabilitas protein, mencegah denaturasi, serta melindungi sel dari kerusakan akibat cekaman lingkungan, termasuk kekeringan dan stres oksidatif (Sajjad *et al.*, 2025).

Peran penting HSFA2 dalam toleransi cekaman telah dilaporkan pada berbagai jenis tanaman. Ogawa *et al.* (2007) menunjukkan bahwa overekspresi gen HsfA2 pada *Arabidopsis thaliana* mampu meningkatkan toleransi tidak hanya terhadap cekaman suhu tinggi, tetapi juga terhadap cekaman osmotik dan kekeringan melalui peningkatan ekspresi gen pelindung sel dan sistem antioksidan. Pada tanaman tomat (*Solanum lycopersicum*), Guo *et al.* (2024) melaporkan bahwa SlHsfA2 diinduksi secara kuat pada kondisi cekaman dan berperan dalam pengaturan ekspresi HSP untuk menjaga stabilitas protein dan fungsi sel. Penelitian pada cabai oleh Guo *et al.* (2016) juga menunjukkan bahwa *CaHsFA2* merupakan anggota utama keluarga HSF yang diekspresikan tinggi saat tanaman mengalami cekaman lingkungan dan berperan dalam aktivasi jalur respons stres. Selain itu, gen HSF pada jagung (*Zea mays*) dilaporkan berkontribusi dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman panas dan kekeringan melalui penguatan sistem antioksidan (Akmalia dan Surhayanto, 2017).

Salah satu pendekatan yang potensial untuk meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman kekeringan adalah teknik priming. Priming merupakan perlakuan awal pada benih untuk mempersiapkan tanaman menghadapi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan (Gammoudi *et al.*, 2021). Perkembangan teknologi pertanian modern melahirkan inovasi nanopriming, yaitu perlakuan perendaman benih menggunakan nanopartikel. Nanopartikel dapat berasal dari logam, karbon, maupun ekstrak tumbuhan, dan memiliki karakteristik unggul seperti rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, stabilitas yang baik, serta kemampuan berinteraksi lebih efisien dengan sel tanaman dibandingkan bahan konvensional (Ye *et al.*, 2020; Rhaman *et al.*, 2022).

Nanopriming terbukti mampu meningkatkan vigor benih, pertumbuhan awal, serta toleransi terhadap cekaman lingkungan melalui aktivasi sistem pertahanan antioksidan seperti superoksida dismutase (SOD), peroksidase (POD), dan katalase (CAT), yang berperan penting dalam menekan akumulasi ROS dan mengurangi kerusakan oksidatif (Mazhar *et al.*, 2023). Selain itu, nanopriming juga dilaporkan mampu mempengaruhi regulasi ekspresi gen yang terlibat dalam toleransi kekeringan, termasuk gen faktor transkripsi dan enzim biosintetik osmolit, terutama ketika tanaman berada di bawah kondisi stres air (Chandrashekar *et al.*, 2023; Yadav *et al.*, 2024).

Salah satu bahan alami yang berpotensi digunakan dalam teknologi nanopriming adalah alga cokelat *Padina minor*. Alga ini diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif, seperti polisakarida, asam amino, mineral, fitohormon, dan antioksidan yang berperan dalam mendukung pertumbuhan serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan (Suwirmen *et al.*, 2022). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak *Padina minor* mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, kandungan klorofil, efisiensi penyerapan hara, serta toleransi tanaman terhadap kondisi kekeringan (De Yudanur *et al.*, 2024). Selain itu, formulasi nanopartikel berbasis ekstrak *Padina minor* dilaporkan lebih efektif dibandingkan ekstrak konvensional dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman karena memiliki kemampuan penetrasi dan penyerapan yang lebih tinggi pada jaringan tanaman (Noli *et al.*, 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa efektivitas priming sangat dipengaruhi oleh konsentrasi nanopartikel yang digunakan. Penelitian Najla (2025), menunjukkan bahwa daya berkecambah benih cabai pada konsentrasi rendah ekstrak *P. minor* (50 mg/L) lebih rendah dibandingkan perlakuan kontrol dan konsentrasi yang lebih tinggi, mengindikasikan bahwa senyawa bioaktif belum bekerja optimal pada dosis rendah. Penelitian Bhuvaneshwari *et al.* (2020) melaporkan bahwa nanopartikel ZnO berbasis ekstrak *Halimeda opuntia* pada konsentrasi 50 ppm secara signifikan meningkatkan persentase perkecambahan, panjang akar dan tunas, serta berat kering kecambah jagung.

Berdasarkan uraian tersebut, nanopriming menggunakan nanopartikel *Padina minor* berpotensi menjadi pendekatan inovatif dan ramah lingkungan untuk meningkatkan toleransi kekeringan tanaman. Namun, kajian mengenai pengaruh konsentrasi nanopriming *P. minor* terhadap pertumbuhan vegetatif cabai serta keterkaitannya dengan regulasi gen masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh nanopriming nanopartikel *P. minor* terhadap toleransi kekeringan tanaman cabai (*C. annuum* L.).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas maka diperoleh perumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh nanopriming dengan beberapa konsentrasi nanopartikel *P. minor* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai?.
2. Bagaimana pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai?.
3. Bagaimana interaksi antara konsentrasi nanopartikel *P. minor* dengan cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai?.
4. Bagaimana ekspresi gen *CaHsFA2* pada tanaman cabai terhadap perlakuan nanopriming *P. minor* dan cekaman kekeringan ?.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui pengaruh nanopriming dengan beberapa konsentrasi *P. minor* terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai.
2. Mengetahui pengaruh cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai.
3. Mengetahui interaksi antara konsentrasi nanopartikel *P. minor* dengan cekaman kekeringan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman cabai.
4. Mengetahui ekspresi gen *CaHsFA2* pada tanaman cabai terhadap perlakuan nanopriming *P. minor* dan cekaman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pengaruh nanopriming berbasis nanopartikel *Padina minor* terhadap respon fisiologis dan molekuler tanaman cabai pada kondisi cekaman kekeringan. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait pemanfaatan nanopartikel alami dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik.

