

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Gandum (*Triticum aestivum* L.) merupakan komoditas sereal dengan peran strategis dalam ketahanan pangan global, mengingat kontribusinya sebagai sumber karbohidrat dan protein nabati bagi pemenuhan kebutuhan gizi manusia. Kandungan gluten yang dimilikinya membedakan gandum dari sereal lain seperti padi dan jagung. Di Indonesia, konsumsi produk berbahan dasar terigu terus meningkat seiring perubahan pola pangan masyarakat, sehingga kedudukan gandum bergeser dari komoditas pangan sekunder menjadi komoditas pangan primer. Peningkatan permintaan tersebut belum diimbangi oleh produksi domestik yang memadai, sehingga menimbulkan tantangan bagi upaya pencapaian kedaulatan pangan nasional (Djamar dan Evelin, 2025).

Perbedaan antara produksi dan konsumsi gandum di Indonesia telah mencapai titik yang mengkhawatirkan dalam lima tahun terakhir. Ketergantungan terhadap pasar global terlihat jelas dalam statistik impor. Badan Pusat Statistik mencatat volume impor gandum Indonesia pada tahun 2022 sebesar 9,35 juta ton, yang kemudian melonjak menjadi 10,59 juta ton pada 2023, 11,72 juta ton pada 2024, dan 10,84 juta ton pada tahun 2025 (Badan Pusat Statistik, 2026; Indonesia Trade Data, 2025). Kondisi tersebut menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara pengimpor gandum terbesar di dunia sekaligus meningkatkan kerentanan perekonomian nasional terhadap fluktuasi harga komoditas global, gangguan rantai pasok, dan dinamika geopolitik negara produsen utama (United States Department of Agriculture, 2024).

Upaya menekan ketergantungan terhadap impor telah dilakukan melalui pengembangan varietas gandum lokal yang adaptif terhadap agroekosistem tropis. Varietas gandum yang telah dilepas di Indonesia, di antaranya GURI 1, GURI 2, GURI 3 Agritan, GURI 4 Agritan, GURI 5 Agritan, GURI 6 Unand, GURI 7 Agritan, GURI 8 Agritan, Selayar, Dewata, dan Nias. Varietas Nias menunjukkan daya adaptasi yang relatif baik pada lingkungan dataran menengah hingga tinggi, termasuk toleransi terhadap kelembapan tinggi dan iklim tropis, sehingga

berpotensi dikembangkan lebih lanjut (Fadli, 2022). Varietas Nias dipilih sebagai materi penelitian karena statusnya sebagai salah satu varietas gandum tropis yang telah lama dilepas secara resmi oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian pada tahun 1993, sehingga sering digunakan sebagai varietas pembanding (*check*) dalam berbagai uji adaptasi dan uji multilokasi gandum di Indonesia. Kedudukan tersebut menjadikan varietas Nias sebagai materi genetik acuan yang representatif untuk menyusun protokol dasar induksi kalus embriogenik, mengingat belum tersedianya laporan mengenai respons embriogeniknya terhadap kombinasi 2,4-D dan Picloram secara *in vitro*. Menurut Sulaiman *et al.*, (2020) penyediaan benih bermutu serta perbaikan sifat genetik varietas Nias melalui pemuliaan konvensional masih terkendala oleh keterbatasan waktu dan musim tanam

Teknik kultur jaringan, khususnya kultur embrio, merupakan salah satu pendekatan bioteknologi yang relevan untuk mempercepat perbaikan sifat genetik tanaman. Eksplan embrio, baik embrio muda (*immature embryo*) maupun embrio dewasa (*mature embryo*), umum digunakan dalam kultur *in vitro* karena memiliki tingkat totipotensi tinggi serta responsif terhadap induksi regenerasi (Ye *et al.*, 2023). Kultur embrio memungkinkan sel melewati fase pematangan biji secara alami, memfasilitasi penyelamatan embrio (*embryo rescue*) pada persilangan antarspesies, serta menyediakan sistem regenerasi untuk transformasi genetik dan induksi variasi somaklonal (Wijerathna-yapa *et al.*, 2022). Melalui jalur embriogenesis somatik, satu eksplan embrio berpotensi menghasilkan kalus embriogenik dalam jumlah banyak yang dapat berkembang menjadi tanaman utuh secara klonal (Setiawan *et al.*, 2024).

Pembentukan kalus pada jaringan tanaman dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu respons pelukaan (*wounding response*) akibat isolasi eksplan dan stimulasi hormonal eksogen berupa zat pengatur tumbuh (ZPT). Pelukaan jaringan, baik melalui pemotongan maupun isolasi embrio, memicu aktivasi jalur sinyal pertahanan yang melibatkan perubahan distribusi auksin secara lokal di sekitar area luka, sehingga sel yang semula terdiferensiasi kembali bersifat meristematik dan aktif membelah (Omary *et al.*, 2023). Sinyal pelukaan yang bersifat sementara tersebut diperkuat oleh keberadaan ZPT eksogen dalam media kultur, sehingga pembelahan sel berlangsung secara masif dan membentuk massa kalus (George *et*

al., 2008). Interaksi antara pelukaan sebagai pemicu awal dan ZPT sebagai penentu arah serta intensitas respons menjadi dasar biologis bagi induksi kalus embriogenik gandum dalam penelitian ini.

Penelitian ini secara khusus difokuskan pada kalus embriogenik, bukan sekadar kalus secara umum, karena hanya kalus bertipe embriogenik yang mampu melanjutkan jalur embriogenesis somatik menjadi tanaman utuh, sementara kalus non-embriogenik yang berwarna bening, berair, dan remah tidak memiliki kompetensi regenerasi tersebut. Ahansal *et al.* (2022) melaporkan bahwa penggunaan Picloram menghasilkan tingkat regenerasi planlet gandum durum yang lebih tinggi dibandingkan 2,4-D, yaitu 19,8% pada eksplan embrio matang dan 40,86% pada eksplan embrio muda, namun proporsi kalus embriogenik dari total kalus yang terbentuk tidak dilaporkan secara terpisah. Malik *et al.* (2021) menyatakan bahwa banyak penelitian induksi kalus pada gandum masih melaporkan persentase kalus secara total tanpa memilah proporsi kalus yang benar-benar embriogenik, padahal rendahnya kemampuan regenerasi akibat dominasi kalus non-embriogenik masih menjadi kendala utama dalam pemanfaatan kultur jaringan untuk perbaikan genetik gandum. Kecenderungan serupa bahkan masih ditemukan pada penelitian yang lebih mutakhir; (Tariq *et al.* (2026) melaporkan bahwa konsentrasi 3 mg/L 2,4-D merupakan yang paling efektif menginduksi kalus pada lima varietas gandum unggul, sedangkan NAA dan IBA sama sekali tidak mampu menginduksi kalus pada konsentrasi berapa pun, tetapi proporsi kalus embriogenik di antara kalus yang terbentuk tidak diklasifikasikan lebih lanjut. Kesenjangan metodologis inilah yang mendasari penelitian ini untuk secara eksplisit mengukur dan membandingkan persentase kalus embriogenik, bukan hanya persentase induksi kalus secara umum, pada berbagai kombinasi konsentrasi 2,4-D dan Picloram.

Komposisi zat pengatur tumbuh dalam media dasar berperan menentukan keberhasilan pembentukan kalus embriogenik pada kultur gandum. 2,4-*Dichlorophenoxyacetic acid* (2,4-D) dikenal sebagai auksin sintesis yang efektif menginduksi dediferensiasi sel pada tanaman gandum, melalui perannya dalam memicu pembelahan sel yang tidak terorganisir serta mengaktifkan jalur sinyal genetik menuju nasib sel embriogenik (Ashraf *et al.*, 2022). Meskipun demikian,

penggunaan 2,4-D pada tanaman gandum jenis durum dengan konsentrasi tinggi berpotensi menghambat tahap regenerasi lanjut atau meningkatkan risiko mutasi (Mahato dan Chaudhary, 2019), sehingga optimasi konsentrasinya perlu disesuaikan dengan genotipe, termasuk varietas Nias. Menurut penelitian (Mayerni *et al.*, 2020) sifat respons yang spesifik genotipe ini juga dilaporkan pada tanaman nilam, dengan kombinasi 2,4-D dan BAP pada konsentrasi tertentu sama sekali tidak menginduksi kalus, sementara kombinasi dosis lain pada spesies yang sama berhasil membentuk kalus secara optimal.

Picloram merupakan alternatif atau pendamping auksin yang telah dilaporkan memberikan hasil positif dalam berbagai penelitian kultur jaringan gandum. Pada konsentrasi yang tinggi Picloram memiliki stabilitas lebih tinggi dalam media kultur dibandingkan dengan 2,4-D. Picloram bahkan terbukti mampu menghasilkan efisiensi induksi kalus yang tinggi, mencapai 87,63–98,67% pada eksplan embrio matang maupun muda gandum (Kumar *et al.*, 2017). Picloram juga dilaporkan mampu mempertahankan kualitas kalus agar tetap bersifat embriogenik (berstruktur remah, berwarna putih kekuningan) dalam jangka waktu lebih lama, sehingga berkontribusi pada peningkatan persentase regenerasi menjadi planlet pada *Lycium barbarum* (Khatri dan Joshee, 2024). Penambahan Picloram dalam media induksi diharapkan dapat mengurangi kecenderungan terbentuknya kalus non-embriogenik yang bersifat kompak atau berair akibat penggunaan auksin tunggal.

Kombinasi 2,4-D dan Picloram diduga menciptakan keseimbangan hormonal. Kombinasi tersebut mendukung respons embriogenik pada eksplan gandum, karena kedua auksin sintetis tersebut bekerja pada reseptor berbeda di dalam sel sehingga berpotensi memperkuat ekspresi gen penanda embriogenesis somatik (Yusniwati & Setiawan, 2023). Interaksi keduanya dilaporkan tidak hanya meningkatkan bobot kalus yang terbentuk, tetapi juga memperbaiki kualitas morfologi sel penyusunnya (Ahansal *et al.*, 2022). Pengaturan rasio antara kedua ZPT menjadi faktor penting mengingat kadar hormon endogen bervariasi antarvarietas, sehingga respons sinergis yang dihasilkan bersifat spesifik genotipe (Tariq *et al.*, 2026).

Beberapa penelitian terdahulu mendukung penggunaan kombinasi ZPT tersebut. Roesler *et al.*, (2018) melaporkan bahwa penambahan kombinasi 2,4-D dan Picloram pada media induksi kalus mampu meningkatkan efisiensi regenerasi

pada beberapa genotipe gandum dibandingkan penggunaan protokol regenerasi tunggal. Penelitian pada kultivar gandum lain (Ahmadpour *et al.*, 2016), turut menunjukkan bahwa kombinasi 2,4-D dan Picloram menghasilkan persentase regenerasi tertinggi dibandingkan komposisi ZPT lainnya, mencapai 65% pada eksplan embrio muda, sementara pengujian pada varietas lokal di Indonesia menunjukkan bahwa konsentrasi auksin 1-3 mg/L merupakan rentang yang menentukan apakah sel berkembang menjadi kalus embriogenik atau mengalami nekrosis (Andrea dan Najini, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian mengenai induksi kalus embriogenik gandum varietas Nias melalui kombinasi 2,4-D dan Picloram menjadi penting, mengingat belum tersedianya data pembandingan mengenai persentase kalus embriogenik secara spesifik pada varietas Nias, serta belum diketahuinya apakah pola interaksi 2,4-D dan Picloram yang dilaporkan pada genotipe gandum lain juga berlaku pada varietas ini.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh interaksi antara zat pengatur tumbuh 2,4-D dan Picloram terhadap induksi kalus embriogenik gandum?
2. Bagaimanakah pengaruh zat pengatur tumbuh 2,4-D terhadap induksi kalus embriogenik gandum?
3. Bagaimanakah pengaruh zat pengatur tumbuh Picloram terhadap induksi kalus embriogenik gandum?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh interaksi antara zat pengatur tumbuh 2,4-D dan Picloram terhadap induksi kalus embriogenik gandum.
2. Untuk mendapatkan konsentrasi zat pengatur tumbuh 2,4-D terbaik bagi induksi kalus embriogenik gandum.
3. Untuk mendapatkan konsentrasi zat pengatur tumbuh Picloram terbaik bagi induksi kalus embriogenik gandum.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian di atas diharapkan penelitian ini sebagai berikut;

1. Sebagai acuan konsentrasi optimal 2,4-D dan Picloram untuk induksi kalus embriogenik gandum.
2. Protokol induksi kalus embriogenik sebagai dasar perbanyakan klonal dan transformasi genetik gandum.
3. Dukungan bagi percepatan pengembangan varietas gandum unggul adaptif tropis, sejalan dengan upaya nasional menekan impor.

