

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN UMUM**

#### **1.1 Latar Belakang**

Penyakit tungro merupakan salah satu penyakit penting pada tanaman padi. Tungro disebabkan oleh kombinasi 2 jenis virus yang berbeda, yaitu RTSV (*Rice Tungro Spherical Virus*) dan RTBV (*Rice Tungro Bacilliform Virus*) (Muliadi & Widiarta, 2017). RTSV merupakan virus yang bersifat *helper*, sedangkan RTBV merupakan virus yang bersifat *dependent* (Hull, 1996). RTBV terlibat dalam pengembangan gejala sementara RTSV sangat penting untuk transmisi virus (Srilatha et al., 2019a). Periode retensi virus pada wereng hijau berbeda antara RTBV dan RTSV. Retensi RTSV pada wereng hijau dua sampai empat hari dan empat sampai lima hari dalam kasus RTBV. Infeksi simultan dengan kedua virus ini memungkinkan perkembangan penyakit dan ekspresi gejala penuh terjadi (Bunawan et al., 2014).

Penyebaran virus tungro membutuhkan bantuan wereng hijau sebagai vektor pembawa. Virus tungro ditularkan melalui vektor wereng hijau secara semipersisten (Widiarta, 2005). Meskipun terdapat lima spesies wereng hijau yang mampu menularkan virus tungro, yaitu *Nephotettix virescens*, *N. nigropictus*, *N. malayanus*, *N. parvus*, dan *Recilia dorsalis* (Dahal, 1990). Namun *N. virescens* merupakan vektor yang paling efisien dalam menularkan kompleks virus penyebab penyakit tungro (Hibino & Cabunagan, 1986).

Infeksi virus penyakit tungro menimbulkan gejala berupa tanaman kerdil, daun tanaman menguning hingga oranye, ujung daun terpuntir, anakan berkurang dan berakibat turunnya produksi (Ladja et al., 2015; Bhusal, et al., 2019). Gejala penyakit tungro terjadi pada awal hingga pertengahan masa anakan padi (Bhusal, et al., 2019; S. . Mohanty, 1984). Potensi hasil suatu varietas padi tidak akan tercapai apabila tanaman tertular virus tungro, bahkan tidak akan diperoleh hasil apabila infeksi terjadi sejak awal fase vegetatif atau pada tahap persemaian (Senoaji & Heru, 2015).

Pengendalian penyakit tungro telah diupayakan dengan berbagai cara. Pada awal tahun 70-an, di Sulawesi Selatan segala upaya yang dilakukan mengalami kegagalan. Hingga akhirnya di awal tahun 80-an, mulai dipraktekkan pengelolaan tanam terpadu (Manwan et al., 1985). Dimana dilakukan sistem tanam pada waktu yang tepat, yang disesuaikan dengan penghindaran waktu tanam disaat puncak populasi wereng hijau. Selanjutnya dilakukan pergiliran varietas yang disesuaikan dengan ketahanan varietas tersebut terhadap wereng hijau (Sama et al., 1991). Komponen utama dalam pengendalian tungro ialah penggunaan varietas tahan, tanam serempak, eradikasi sumber inokulum, dan pengaturan waktu tanam (R.H Praptana et al., 2013).

Penyakit tungro telah tersebar di beberapa negara yang membudidayakan padi. Penyakit ini tersebar di Asia Selatan hingga Asia Tenggara, mencakup Malaysia, Filipina, dan India dalam skala yang besar. Pada awal tahun 80-an

serangan tungro di Indonesia meliputi wilayah Bali, Jawa, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, dan Irian Jaya. Dalam kurun waktu tersebut, tercatat lebih dari 30.000 ha areal pertanian padi yang terserang penyakit tungro (Azzam & Chancellor, 2002). Selama kurun waktu 1969-1992 Penyakit tungro dilaporkan menyerang pertanian padi di Indonesia dengan total luas tanaman terinfeksi 244.904 ha (Said *et al.*, 2017). Menurut Balai Besar Pengamat Organisme Pengganggu Tanaman, ramalan luas serangan tungro di Indonesia seluas 1.933 Ha, pada musim tanam 2021/2022 (BBPOPT, 2022). Meskipun perkiraan serangan tidak terlalu luas, namun jika tidak diantisipasi dengan baik, dapat menjadi ancaman pada ketahanan pangan nasional.

Studi mengenai penyakit tungro pada tanaman cukup banyak dilakukan. Namun penelitian yang bersifat komprehensif mengenai penyakit tungro masih terbatas. Untuk perlu dilakukan penelitian mengenai karakter agronomi, karakter fisiologi, serta identifikasi senyawa metabolit sekunder yang berperan pada ketahanan tanaman ketika terserang virus tungro.

#### **1.1.1 Penyakit Tungro**

Sejarah penyakit tungro diyakini dapat ditelusuri sejak terjadinya kegagalan panen di Nusantara pada tahun 1859 (Azzam & Chancellor, 2002). Pada tahun 1978, di Kyushu, Jepang, terdapat penyakit padi yang memiliki gejala yang sama, dan disebut penyakit "*Waika*". Dimana penyakit tersebut ditularkan melalui vektor wereng hijau *N. virescens* dan *N. nigropictus* secara non-persisten. Baru pada Tahun 1963, virus penyebab penyakit tungro serta vektor penyebarannya, diketahui untuk pertama kalinya (Azzam & Chancellor, 2002).

Wereng daun (*Homoptera: Cicadellidae*) merupakan vektor penyebaran virus tungro, yang menularkan virus dari sumber inokulum ke bibit yang baru tanam (Bhusal, Sagar, *et al.*, 2019). Di Indonesia terdapat empat spesies wereng hijau, yaitu *Nephotettix virescens*, *N. nigropictus*, *N. malayanus*, dan *N. parvus* (Burhanuddin *et al.*, 2006; Widiarta, 2005). Virulensi virus tungro ditentukan oleh interaksi spesifik dari dua jenis virus tungro yang menginfeksi, vektor yang menularkannya dan ketahanan varietas (R.H Praptana & Widiarta, 2017). Hasil penelitian menunjukkan, varietas Taichung Native 1 (TN1) merupakan varietas yang sangat rentan terhadap virus tungro (Azgar & Yonzon, 2018). Karena hal tersebutlah, hingga penelitian mengenai penyakit tungro selalu menggunakan TN1 sebagai kontrol varietas rentan.

Penurunan hasil akibat penyakit tungro, tertinggi terjadi pada tanaman yang terinfeksi pada umur 3 minggu setelah semai, dibandingkan jika tanaman terinfeksi pada umur 5 minggu setelah semai. Efek infeksi virus cenderung kecil, ketika tanaman terinfeksi virus tungro pada umur 7 minggu setelah tanam (Hasanuddin & Hibino, 1988). Terjadi penurunan tinggi tanaman yang signifikan ketika tanaman diinokulasi pada umur 20 HST, diikuti ketika inokulasi pada 30, 40, 50 dan 60 HST. Varietas tahan kurang terpengaruh dalam hal tinggi tanaman ketika diinokulasi dengan virus tungro pada umur 60 HST dengan peningkatan

tinggi tanaman 0,4%, sedangkan jika diinokulasi pada umur 50 HST, terjadi penurunan tinggi tanaman 0,9%. Varietas dengan ketahanan moderat menunjukkan pengurangan tinggi tanaman yang lebih rendah dibandingkan dengan varietas rentan (Jha *et al.*, 2013).

Varietas rentan yang terinfeksi RTBV dan RTSV memiliki penurunan tinggi dan hasil terbesar, dengan gejala khas penyakit tungro yang nyata. Jika tanaman hanya terinfeksi RTSV saja, tidak menunjukkan perubahan warna pada daun, hanya berupa pemendekan tinggi tanaman, utamanya pada varietas rentan. Sedangkan, jika RTSV menyerang varietas tahan, penyakit tungro sulit terdeteksi (Hananuddin *et al.*, 1989).

Tanaman yang terinfeksi penyakit tungro menghasilkan gabah 88,9%, lebih sedikit dibandingkan gabah dari tanaman sehat. Kehilangan hingga 22,9% disebabkan oleh tinggi tanaman yang lebih pendek, 16,3% dari malai yang lebih kecil, 67% dari jumlah anakan efektif yang lebih sedikit dan 85,9% dari bulir yang terisi lebih sedikit ketika tanaman terinfeksi virus tungro dibandingkan dengan tanaman sehat (Bhusal, Sagar, *et al.*, 2019). Pengurangan jumlah malai per tanaman ditemukan lebih sedikit pada varietas tahan yang diinokulasi dengan virus tungro pada umur 60 HST (1,5%) dan 40 HST (1,9%). Sedangkan, jika varietas tahan diinokulasi pada umur 20 HST, jumlah gabah per malai menurun signifikan antara 15,5-16,3% (Jha *et al.*, 2013). IR64, yang merupakan varietas rentan, mengalami penurunan hasil berkisar antara 1,1-99,1% per rumpun dan 1,0 - 96,1% per malai. Penurunan berat 1000 butir berkisar antara 13,5 hingga 57,8% (Nuque *et al.*, 1988a).

Penurunan hasil akibat infeksi RTBV dan RTSV, berkisar antara 85 %, bahkan lebih pada varietas rentan, dan kurang dari 20% pada varietas tahan. Sedangkan, jika terinfeksi RTSV saja, penurunan hasil mencapai 40% pada varietas rentan, dan kurang dari 5% pada varietas tahan (Hasanuddin & Hibino, 1988). Bahkan menurut hasil Khatun *et al.*, (2017), penurunan hasil pada varietas rentan dapat mencapai 100%, jika kondisi lingkungan menguntungkan perkembangan penyakit.

Kegagalan petani dalam mengendalikan penyakit tungro disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu (1) penanaman padi terus menerus sepanjang tahun, (2) tidak ada pergiliran varietas, seperti penggunaan varietas dengan alasan rasa yang lebih enak, atau harga jual yang lebih mahal, (3) pemilihan pestisida yang tidak tepat. Meskipun penanaman dilakukan serempak (bersamaan), namun penanaman padi yang terus menerus, akan melanggengkan virus tungro dipertanaman (Bhusal, *et al.*, 2019). Penggunaan varietas yang toleran terhadap virus tungro dapat menjadi komponen penting dalam pengelolaan penyakit tungro (Ismayanti & Muliadi, 2020). Kombinasi antara sifat toleran terhadap virus tungro dan resisten terhadap vektor wereng hijau dalam satu varietas dapat mengatasi penyakit tungro (Hasannudin *et al.*, 1987).

### 1.1.2 Karakter Fisiologi

Patogen dan gangguan serangga pada tanaman berkontribusi pada kerugian besar dalam hasil (Hamel, 2015). Virus tanaman menyebabkan merusak tanaman, baik dengan mengurangi hasil atau menurunkan kualitas produk. Beberapa bentuk penghambatan pertumbuhan tanaman dapat disebabkan oleh mekanisme fisiologi, berupa perubahan aktivitas fotosintesis pada inang yang terinfeksi virus, kandungan klorofil, kecepatan fotosintesis, perubahan metabolisme pati, perubahan respirasi, perubahan metabolisme nitrogen dan protein, perubahan kadar air dan transpirasi tanaman, dan perubahan metabolisme hormon tanaman (Ertunc, 2020).

Berdasarkan cara menginfeksi tanaman, virus digolongkan sebagai biotrop yang ideal, yaitu pathogen yang hidup pada inangnya, untuk melanjutkan siklus hidupnya sambil terus memakan bahan nutrisi inang (Ruiz, 2019). Terdapat beberapa bentuk respon tanaman terhadap infeksi virus, yang dihubungkan dengan respon pertahanan tanaman untuk memperlambat atau menahan infeksi virus (Al-huqail & Aref, 2017). Tanaman telah mengembangkan beberapa strategi pertahanan untuk memerangi patogen yang menyerang. Permukaan luar tanaman memiliki kutikula lilin dan antimikroba yang telah dibentuk untuk mencegah serangan patogen. Dinding sel memberikan penghalang kedua yang efektif untuk setiap patogen yang dapat memperoleh akses ke ruang interior. Patogen yang berhasil melewati kedua hambatan masih harus menghadapi tugas berat mengatasi respon imun tanaman (Boyle & Finlay, 2003). Meskipun virus tidak mengandung enzim dan racun, virus menyebabkan berbagai gejala, seperti mosaik, nekrotik lokal atau bintik-bintik klorotik, lecet pada daun, malformasi pada cabang, perubahan warna, klorosis, nekrosis dan garis-garis pada kelopak bunga tanaman inang (Ertunc, 2020).

Salah satu mekanisme infeksi virus adalah melalui plasmodesmata. *Coating virus* dan *moving virus* bergerak melalui retikulum endoplasma dan akhirnya menuju ke jaringan pengangkut, yaitu floem (Ertunc, 2020). Infeksi virus *Grapevine leafroll-associated viruses* (GLRaV), menyebabkan pengurangan besar dalam konsentrasi gula pereduksi tanaman inang. Ditemukan callose yang terakumulasi di floem. Hal ini menyebabkan kandungan gula daun berkorelasi negatif dalam menanggapi infeksi tersebut (Halldorson & Keller, 2018).

Infeksi virus mosaik tembakau menyebabkan sintesis protein mantel virus di dalam kloroplas. Chl-a merupakan parameter prediktor penting untuk ketahanan tanaman (Al-huqail & Aref, 2017). Klorofil dalam daun menyerap energi radiasi matahari pada kisaran panjang gelombang PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) antara 0.38 – 0.68  $\mu\text{m}$ . Oleh sebab itu, untuk menduga potensi hasil suatu tanaman, umumnya adalah dengan mengkonversi total PAR yang diterima tanaman menjadi berat kering (Tseliou et al., 2021a).

Penurunan berat kering tanaman, akibat penurunan laju fotosintesis terutama disebabkan karena terjadinya penurunan konduktansi stomata dan laju transpirasi pada tanaman yang terinfeksi virus. Penelitian pada tanaman setelah diinfeksi *Potato virus Y* menunjukkan penurunan fotosintesis dan rezim air lebih nyata pada tanaman yang terinfeksi PVY menjadi 73% dari nilai tanaman sehat. Infeksi PVY menyebabkan penurunan laju fotosintesis bersih sebesar 60% dibandingkan dengan tanaman sehat. Pengaruh PVY bahkan lebih nyata pada daun bagian atas, yang masih tumbuh selama infeksi, di mana laju fotosintesis bersih menurun menjadi 42%. Penurunan konduktansi stomata paling parah terjadi hingga 14% tanaman sehat (Spoustová *et al.*, 2013).

Respon fisiologi terhadap infeksi CMV, menunjukkan Makin tinggi tingkat infeksi, maka semakin besar penurunan luas daun dan kadar klorofil total tanaman tembakau. Penurunan rasio klorofil a/b daun lebih tinggi pada skor 4 dibandingkan skor 5, yaitu sebesar 74%, tetapi kerusakan morfologi paling parah terjadi pada skor 5, dimana terjadi perubahan bentuk dan secara anatomi terdapat bentukan kranz (spotspot hitam) pada berkas pembuluh (Hamida, 2013).

Penelitian respon fisiologi akibat infeksi tungro pada varietas rentan menyebabkan penurunan yang nyata kandungan klorofil a, dan klorofil total sejak enam hari setelah inokulasi. Penurunan signifikan pada kandungan klorofil b pada varietas dengan ketahanan moderat tercatat setelah sembilan hari setelah inokulasi. Kandungan klorofil menurun seiring dengan semakin masifnya perkembangan penyakit tungro pada tanaman. Kandungan karotenoid pada varietas peka dan moderat yang diinokulasi virus tungro, menunjukkan penurunan yang signifikan dibandingkan tanaman yang sehat. Penurunan kandungan karotenoid tercatat sejak awal infeksi hingga infeksi virus lebih lanjut. Pada varietas toleran, kandungan karotenoid mengalami penurunan setelah 15 hari setelah inokulasi virus tungro (S. . Mohanty, 1984). Terjadi perubahan signifikan pada kandungan pigmen (klorofil A & B, klorofil total dan karotenoid) pada kultivar padi yang rentan bila dibandingkan dengan kultivar yang cukup tahan dan tahan. Konduktansi stomata membatasi laju fotosintesis bersih. Komponen hasil dan karakter fisiologis berkurang lebih besar di varietas rentan dan pengurangan sedang di varietas moderat, sedangkan paling sedikit di varietas tahan (Asma *et al.*, 2016).

### **1.1.3 Karakter Metabolit Sekunder**

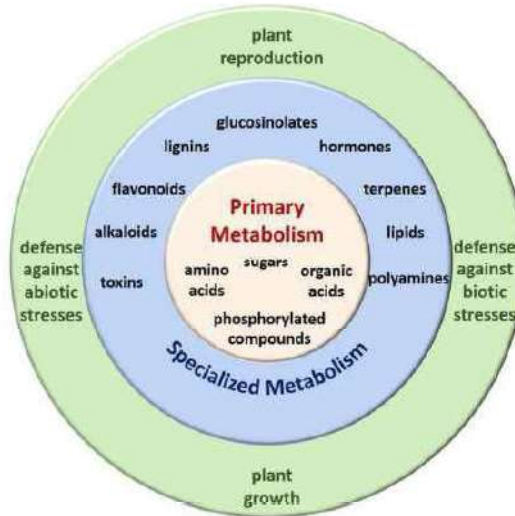
Metabolit sekunder merupakan senyawa organik yang tidak memiliki fungsi langsung terhadap metabolisme tanaman, dan merupakan hasil sampingan dari metabolisme primer tumbuhan (Anggraito *et al.*, 2018). Umumnya fungsi dari metabolit sekunder pada tanaman adalah sebagai bentuk pertahanan diri dari cekaman biotik maupun abiotik (Williams *et al.*, 2021; (Feng *et al.*, 2020). Produksi metabolit sekunder akan meningkat pada saat mendapat cekaman lingkungan (Ogbe *et al.*, 2020).

Penelitian mengenai respon senyawa metabolik sekunder terhadap cekaman abiotik ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan terhadap jagung yang mendapat cekaman garam dan cekaman kekeringan (LI *et al.*, 2021), *Lantana camara* dibawah stres lingkungan dingin dan panas (Nischal & Sharma, 2020), ketahanan gandum terhadap *Wheat Streak Mosaic Virus* (WSMV) pada suhu rendah dan suhu tinggi (Farahbakhsh *et al.*, 2019), cekaman kadmium pada padi hibrida (Zeng *et al.*, 2021). Selain sebagai mekanisme pertahanan, senyawa ini juga berfungsi sebagai antraktan. Senyawa metabolik sekunder tertentu dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai antioksidan atau bahan baku obat (Perangin-angin *et al.*, 2019).

Aplikasi pestisida juga akan menunjukkan respon metabolik sekunder yang berbeda pada tanaman. Terjadi peningkatan asam amino (prolin, treonin, lisin, valin) pada bibit gandum setelah aplikasi imazethapyr R-IM, dibanding aplikasi S-IM dan (Qu *et al.*, 2019). Selanjutnya ditemukan efek dari dua insektisida yang sering digunakan pada *Lonicerae Japonicae* Flos, diperoleh variasi metabolik sekunder berbeda (Bertrand *et al.*, 2021). Selain itu, pada penelitian efektivitas biokontrol yang berasal dari strain biokontrol *Bacillus subtilis* KLBC BS6, ditemukan beberapa aktivitas enzim terkait resistensi penyakit (kitinase, fenilalanin amonia lyase, peroksidase, dan polifenol oksidase) meningkat secara signifikan.

Kaitan antara senyawa metabolik sekunder, pathogen dan fisiologi tanaman terlihat pada respons stomata sebagai pertahanan pertama terhadap pathogen dalam hal ini, pergerakan stomata berkaitan dengan hormon yang terlibat (Xiang *et al.*, 2021). Interaksi antar infeksi virus dan reaksi fotosintesis. Gen IP-L pada *Nicotiana benthamiana* memberikan pengaruh yang nyata pada beberapa jalur yang bergantung pada cahaya seperti stimulus cahaya, fotosintesis, dan kloroplas (C. Liu *et al.*, 2021). Peran komposisi *sink/source* untuk menghasilkan metabolik sekunder (organoleptik) pada *Vitis vinifera* L. anggur merah. Hasilnya menunjukkan penurunan S/S secara drastis membatasi akumulasi metabolik primer (hingga -70%), antosianin (hingga -70%) dan GAP (hingga -81%) per tanaman, dengan kekurangan produksi molekul yang sangat besar per unit area yang dibudidayakan (Alem *et al.*, 2021).

Penelitian mengenai hubungan antara senyawa metabolik sekunder dengan ketahanan terhadap penyakit ditunjukkan pada penelitian tanaman cabai, dimana akumulasi metabolik sekunder berupa asam salisilat dan enzim peroksidase meningkat pada tanaman yang terinfeksi virus (Faizah *et al.*, 2012), terjadi peningkatan jumlah nitrat reduktase pada tanaman tebu yang terinfeksi virus SCMV (Iriyanto, 2016).



Gambar 1. Metabolit Primer dan Sekunder. Metabolisme primer (kuning) berkisar pada senyawa fisiologis penting seperti asam amino dan metabolisme gula. Metabolisme sekunder (biru) memanfaatkan senyawa metabolit sentral sebagai bahan penyusun biosintesis senyawa khusus seperti flavonoid, toksin, dan lipid sebagai bahan yang memiliki berbagai berbagai fungsi (hijau), termasuk pertumbuhan tanaman dan pertahanan terhadap stress (Moretti *et al.*, 2020).

Kandungan metabolit sekunder setiap tanaman berbeda-beda, termasuk setiap varietas juga memiliki kandungan metabolit sekunder yang berbeda pula. Antara varietas tahan dengan varietas rentan juga memiliki kandungan metabolit sekunder yang berbeda. Penelitian pada 3 varietas kedelai yang berbeda, menunjukkan komposisi senyawa metabolit sekunder yang berbeda (Yun *et al.*, 2020). Keragaman genetik antarvarietas mengakibatkan terdapatnya keanekaragaman senyawa kimia yang terkandung dalam varietas tanaman. Setiap varietas tanaman padi mempunyai keanekaragaman, kandungan, dan komposisi senyawa kimia, terutama metabolit sekunder (Iswanto & Praptana, 2017).

Salah satu tantangan bagi pemulia tanaman adalah merakit varietas yang produksinya tinggi dan mempunyai ketahanan yang lebih awet (*durable resistance*) dengan cara menggabungkan lebih dari dua gen ketahanan, baik gen utama maupun gen minor, yang diharapkan mampu menghambat pembentukan biotipe baru wereng cokelat (Iswanto *et al.* 2015). Ada peluang potensial lebih lanjut untuk memajukan teknologi metabolomik untuk mengkarakterisasi keluaran dari teknologi pemuliaan tanaman. Hal ini dianggap lebih aman dibanding pemuliaan dengan teknologi pengeditan gen (Enfissi *et al.*, 2021).

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penyakit tungro merupakan penyakit yang banyak menyerang pertanaman padi yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan hasil, bahkan dapat terjadinya puso. Meskipun penyakit tungro merupakan penyakit yang telah lama diidentifikasi, namun penelitian mengenai penyakit ini dari segi agronomis masih dianggap kurang. Pemahaman mengenai penyakit tungro dari sudut pandang agronomi diharapkan dapat memberikan pemahaman yang utuh mengenai penyakit tungro, sehingga penyakit tungro dapat ditangani dengan tepat. oleh karena itu penelitian ini dirancang untuk menjawab permasalahan berikut ini:

- a. Bagaimana respon agronomi dan produksi tanaman padi yang terserang penyakit tungro, pada varietas rentan dan tahan tungro serta varietas berumur sedang hingga ultra genjah.
- b. Bagaimana korelasi karakter fisiologis dan sifat optik tanaman padi terserang penyakit tungro berdasarkan intensitas serangan (skor) penyakit tungro, pada varietas rentan dan tahan tungro.
- c. Bagaimana korelasi metabolit sekunder tanaman padi terhadap infeksi virus tungro pada varietas rentan dan tahan penyakit tungro.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan umum penelitian adalah untuk dapat memahami penyakit tungro dari sudut pandang agronomis, sehingga potensi kehilangan hasil dapat diketahui, termasuk kondisi fisiologi dan metabolit sekunder tanaman ketika terserang penyakit tungro.

Tujuan khusus penelitian ini yaitu untuk:

- a. Mengobservasi karakter agronomi dan produksi tanaman yang terserang penyakit tungro pada varietas tahan dan rentan penyakit tungro yang berumur sedang hingga ultra genjah.
- b. Mengetahui karakter fisiologis dan sifat optik tanaman padi yang terserang penyakit tungro, pada varietas tahan dan varietas rentan;
- c. Mengetahui komposisi senyawa metabolit sekunder yang berperan pada ketahanan tanaman terhadap virus tungro;

## **1.4 Kegunaan Penelitian**

Kegunaan penelitian adalah :

- a. Teridentifikasi karakter agronomi dan produksi tanaman yang terserang penyakit tungro, sehingga diperoleh besarnya potensi kehilangan hasil pada varietas tahan dan rentan tungro;
- b. Teridentifikasi karakter fisiologis dan sifat optik tanaman yang terserang penyakit tungro pada varietas yang peka dan tahan tungro, sehingga dapat menjadi indikator deteksi penyakit tungro non destruktif.

- c. Diperoleh jenis senyawa metabolit sekunder yang dapat berperan sebagai kandidat biomarker terhadap ketahanan penyakit tungro.

### 1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Studi komprehensif respon agronomi, fisiologi dan profil metabolit padi terhadap cekaman penyakit tungro dilakukan dalam 3 tahap. Secara terperinci tahapan penelitian sebagai berikut:

- a. Tahap 1 (Evaluasi karakter agronomi dan komponen hasil berbagai varietas padi terhadap infeksi penyakit tungro). Pada tahap ini, diuji 6 varietas padi yang memiliki genotipe yang berbeda dari segi ketahanan dan umur panen pada kondisi lapangan, di daerah endemis tungro.
- b. Tahap 2 (identifikasi tingkat ketahanan penyakit tungro melalui indikator fisiologi dan sifat optik tanaman). Pada tahap ini, dilakukan pengujian kandungan klorofil dan antosianin berdasarkan skor keparahan penyakit, serta sifat optik tanaman yang terserang tungro.
- c. Tahap 3 (Perubahan komposisi metabolit sekunder pada tanaman padi akibat cekaman penyakit tungro). Pada tahap ini, dilakukan pengujian kandungan metabolit sekunder tanaman yang terserang tungro dengan menggunakan instrumen GC-MS (*Gas Chromatography-Mass Spectrometry*).

### 1.6 Kebaharuan Penelitian (Novelty)

Kebaharuan dari penelitian ini adalah ditemukan cara deteksi penyakit tungro non destruktif berbasis karakter fisiologi dan sifat optik tanaman, serta komposisi senyawa metabolit sekunder. Senyawa metabolit yang terdeteksi dapat berfungsi sebagai biomarker sumber ketahanan galur terhadap penyakit tungro.

### 1.7 Daftar Pustaka

- Al-huqail, A. A., & Aref, N. M. A. (2017). Physiological parameters correlated with Tomato Mosaic Virus inducing defensive response in *Datura metel*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24(4), 864–874. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.04.003>
- Alem, H., Torregrosa, L., Rigou, P., Schneider, R., & Ojeda, H. (2021). Effect of the plant sink/source balance on the metabolic content of the *Vitis vinifera* L. red grape. *European Journal of Agronomy*, 122(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126168>
- Anggraito, Y. U., Susanti, R., Iswari, R. S., Yuniastuti, A., Lisdiana, WH, N., Habibah, N. A., & Bintari, S. H. (2018). Metabolit Sekunder Dari Tanaman. In *Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang*.
- Asma, J., Vishnu, K. T., & Rao, Y. (2016). *Effect of Tungro Virus on physiological parameters in Rice cultivars*. 3573.

- Azgar, A., & Yonzon, R. (2018). Studies on the Incidence of Rice-Tungro Virus ( RTV ) and Population Dynamic of its Predominant Vector. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(3). <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.703.091>
- Azzam, O., & Chancellor, T. C. B. (2002). The Biology, Epidemiology, and Management of Rice Tungro Disease in Asia. *Plant Disease*, 86(2).
- BBPOPT. (2022). Prakiraan Serangan 6 OPT Utama Padi. -, 8.5.2017, 2003–2005.
- Bertrand, C., Gonzalez-Coloma, A., & Prigent-Combaret, C. (2021). Plant metabolomics to the benefit of crop protection and growth stimulation. *Advances in Botanical Research*, 98, 107–132. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2020.11.002>
- Bhusal, K., Sagar, G. C., & Bhattarai, K. (2019). A Review of Rice Tungro Virus In Nepal. *Journal of Plant Sciences and Crop Protection*, 2(1).
- Boyle, E. ., & Finlay, B. B. (2003). Bacterial pathogenesis : exploiting cellular adherence. *Current Opinion in Cell Biology*, 633–639. [https://doi.org/10.1016/S0955-0674\(03\)00099-1](https://doi.org/10.1016/S0955-0674(03)00099-1)
- Bunawan, H., Dusik, L., Bunawan, S. N., & Amin, N. M. (2014). Rice tungro disease: From identification to disease control. *World Applied Sciences Journal*, 31(6), 1221–1226. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.31.06.610>
- Burhanuddin, I., Widiarta, I., & Hasanuddin, A. (2006). Penyempurnaan Pengendalian Terpadu Penyakit Tungro dengan Strategi Menghindari Infeksi dan Pergiliran Varietas Tahan. *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan Tropika*, 6(2), 92–99.
- Dahal, G. (1990). Association of Leafhopper Feeding Behavior with Transmission of Rice Tungro to Susceptible and Resistant Rice Cultivars. In *Phytopathology* (Vol. 80, Issue 4, p. 371). <https://doi.org/10.1094/phyto-80-371>
- Enfissi, E. M. A., Drapal, M., Perez-fons, L., Nogueira, M., Berry, M., Almeida, J., & Fraser, P. D. (2021). New plant breeding techniques and their regulatory implications : An opportunity to advance metabolomics approaches. *Journal of Plant Physiology*, 258–259(February), 153378. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153378>
- Ertunc, F. (2020). Physiology of virus-infected plants. In *Applied Plant Virology* (pp. 199–205). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818654-1.00015-3>
- Faizah, R., Sujiprihati, S., Syukur, M., & Hidayat, S. H. (2012). Ketahanan Biokimia Tanaman Cabai terhadap Begomovirus Penyebab Penyakit Daun Keriting Kuning. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 8(5), 138–144. <https://doi.org/10.14692/jfi.8.5.138>

- Farahbakhsh, F., Hamzehzarghani, H., Massah, A., Tortosa, M., Yasayee, M., & Rodriguez, V. M. (2019). Comparative metabolomics of temperature sensitive resistance to wheat streak mosaic virus (WSMV) in resistant and susceptible wheat cultivars. *Journal of Plant Physiology*, 237(September 2018), 30–42. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.03.011>
- Feng, Z., Ding, C., Li, W., Wang, D., & Cui, D. (2020). Applications of metabolomics in the research of soybean plant under abiotic stress. *Food Chemistry*, 310(September 2019), 125914. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125914>
- Halldorson, M. M., & Keller, M. (2018). Grapevine leafroll disease alters leaf physiology but has little effect on plant cold hardiness. *Planta*. <https://doi.org/10.1007/s00425-018-2967-x>
- Hamida, R. (2013). *Pengaruh Infeksi Cucumber Mosaic Virus (CMV) Terhadap Morfologi, Anatomi, dan Kadar Klorofil Daun Tembakau Cerutu*. 5(1), 11–19.
- Hamuel, J. D. (2015). An Overview of Plant Immunity. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*, 6(11). <https://doi.org/10.4172/2157-7471.1000322>
- Hananuddin, A., Daquioag, R. ., & Hibino, H. (1989). Method for scoring resistance to rice tungro. *International Rice Research Institute*.
- Hasannudin, A., Gabunagan, P. Q., & Hibino, H. (1987). *Tolerance of rice varieties to tungro disease and its possible use for disease management* . [ 1987 ]. 16122.
- Hasanuddin, A., & Hibino, H. (1988). Grain Yield Reduction, Growth Retardation, and Virus Concentration in Rice Plants Infected with Tungro-Associated Viruses. *Japan International Research Center for Agricultural Sciences*, 22(8), 56–73.
- Hibino, H., & Cabunagan, R. C. (1986). Rice tungro associated viruses and their relation to host plants and vector leafhopper. *Tropical Agriculture Research Series*, 19, 173–182.
- Hull, R. (1996). Molecular biology of rice tungro viruses. *Annual Review of Phytopathology*, 34(1), 275–297.
- Iriyanto, F. E. . (2016). *Aktivitas Nitrate Reduktase dan Peroksidase Pada Tanaman Tebu Varietas BL (Saccharum officinarum) Terinfeksi Sugarcane Mosaic Virus (SCMV)*. Universitas Jember.
- Ismayanti, R., & Muliadi, A. (2020). *The failure farmers in panti district to control tungro disease which endemic in 2014-2019 The failure farmers in panti district to control tungro disease which endemic in 2014-2019*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1563/1/012026>
- Iswanto, E. H., & Praptana, R. H. (2017). Peran Senyawa Metabolit Sekunder Tanaman Padi terhadap Ketahanan Wereng Cokelat (*Nilaparvata lugens*).

*lptek Tanaman Pangan*, 11(2), 127–132.

- Jha, M., Rajeswari, B., Krishnaveni, B., & Mangrauthia, S. K. (2013). Effect of Rice Tungro Disease on Yield and Yield Attributes of Rice. *Indian Journal of Plant Protection*, 3, 67406.
- Khatun, M. T., Latif, M. A., Rahman, M. M., Hossain, M., Ansari, T. H., & Nessa, B. (2017). *Recovering Ability of Upland and Rainfed Lowland Rice Varieties against Rice Tungro Disease*. 21(1), 91–100.
- Ladja, F. ., Santoso, T., & Nurhayati, E. (2015). Potensi Cendawan Entomopatogen *Verticillium lecanii* dan *Beauveria bassiana* dalam Mengendalikan Wereng Hijau dan Menekan Intensitas Penyakit Tungro. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 30(2), 114–120. <https://doi.org/10.21082/jpftp.v30n2.2011.p%p>
- LI, P. cheng, Yang, X. yi, Wang, H. miao, Pan, T., Yang, J. yuan, Wang, Y. yun, XU, Y., Yang, Z. feng, & XU, C. wu. (2021). Metabolic responses to combined water deficit and salt stress in maize primary roots. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(1), 109–119. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63242-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63242-7)
- Liu, C., Pu, Y., Peng, H., Lv, X., Tian, S., Wei, X., Zhang, J., Zou, A., Fan, G., & Sun, X. (2021). Transcriptome sequencing reveals that photoinduced gene IP-L affects the expression of PsbO to response to virus infection in *Nicotiana benthamiana*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 114(February), 101613. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101613>
- Manwan, I., Sama, S., & Rizvi, S. A. (1985). *Use of varietal rotation in the management of tungro disease in Indonesia*. 23(2), 4461–4464. [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography1889/94/1/94\\_1\\_45/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgeography1889/94/1/94_1_45/_pdf)
- Mohanty, S. . (1984b). *Physiology Of Rice Tungro Virus Disease*. Utkal University.
- Moretti, F. ., Gentzel, I. N., Mackey, D., & Alonso, A. P. (2020). Metabolomics as an Emerging Tool for the Study of Plant – Pathogen Interactions. *Metabolites*, Figure 1, 1–23.
- Muliadi, A., & Widiarta, I. . (2017). *Perbaikan Ketahanan Tanaman Padi terhadap Penyakit Tungro*. 91–96.
- Nischal, P., & Sharma, A. D. (2020). Stomatal and pollen dependant metabolic changes as a metric of stress tolerance and invasive potential of invasive plant – *Lantana camara* (L.) growing under abiotic stress like conditions. *South African Journal of Botany*, 131, 406–420. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.03.028>
- Nuque, F. ., Magnaye, A. J. ., Salamatin, C. ., & Teng, P. S. (1988). Rice yield loss caused by tungro using modified single tiller method. (*International Rice Research Inst., Los Banos, Laguna (Philippines)*), 1991.

- Ogbe, A. A., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2020). The role of endophytes in secondary metabolites accumulation in medicinal plants under abiotic stress. *South African Journal of Botany*, 134, 126–134. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.06.023>
- Perangin-angin, Y., Purwaningrum, Y., Asbur, Y., & Rahayu, S. (2019). *Pemanfaatan kandungan metabolit sekunder yanag dihasilkan tanaman pada cekaman biotik Utilization of secondary metabolite content produced by plants in biotic stress Pendahuluan Bahan dan Metode Hasil dan Pembahasan*. 7(1).
- Praptana, R. ., Sumardiyono, Y. ., Hartono, S., & Trisyono, Y. . (2013). Patogenisitas Virus Tungro pada Varietas Tetua Padi Tahan Tungro. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 9(6), 186–192. <https://doi.org/10.14692/jfi.9.6.186>
- Praptana, R. ., & Widiarta, N. I. (2017). Keragaman Genetik dan Virulensi Virus Tungro pada Tanaman Padi di Indonesia. 35–43.
- Qu, Q., Zhang, Z., Li, Y., Zhou, Z., Ye, Y., Lu, T., Sun, L., & Qian, H. (2019). Comparative molecular and metabolic responses of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) to the imazethapyr enantiomers S-IM and R-IM. *Science of the Total Environment*, 692, 723–731. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.333>
- Ruiz, H. G. (2019). When Viruses Infect Plants. *Scientia (Bristol)*, 2019(123), 40–43.
- Said, M. Y., Widiarta, I. N., & Muhsin, M. (2017). *Petunjuk Teknis: Pengendalian Terpadu Penyakit Tungro*. 1–38. <http://malut.litbang.pertanian.go.id/images/stories/Juknislap-PHTtungro.pdf>
- Sama, S., Hasanuddin, A., Manwan, I., Cabunagan, R. C., & Hibino, H. (1991). Integrated management of rice tungro disease in South Sulawesi, Indonesia. *Crop Protection*, 10(1), 34–40. [https://doi.org/10.1016/0261-2194\(91\)90022-J](https://doi.org/10.1016/0261-2194(91)90022-J)
- Senoaji, W., & Heru, R. (2015). Interaksi Nitrogen dengan Insidensi Penyakit Tungro dan Pengedaliannya Secara Terpadu pada Tanaman Padi. *Iptek Tanaman Pangan*, 8(2), 80–89.
- Spoustová, P., Synková, H., Valcke, R., & Ovska, N. Č. E. Ř. (2013). *Chlorophyll a fluorescence as a tool for a study of the Potato virus Y effects on photosynthesis of nontransgenic and transgenic P ssu-ipt tobacco*. 51(2), 191–201. <https://doi.org/10.1007/s11099-013-0023-4>
- Srilatha, P., Yousuf, F., Methre, R., Vishnukiran, T., Agarwal, S., Poli, Y., Raghurami Reddy, M., Vidyasagar, B., Shanker, C., Krishnaveni, D., Triveni, S., Brajendra, Praveen, S., Balachandran, S. M., Subrahmanyam, D., & Mangrauthia, S. K. (2019). Physical interaction of RTBV ORF1 with D1 protein of *Oryza sativa* and Fe/Zn homeostasis play a key role in symptoms development during rice tungro disease to facilitate the insect mediated virus transmission. *Virology*, 526(October 2018), 117–124.

<https://doi.org/10.1016/j.virol.2018.10.012>

- Tseliou, E., Chondrogiannis, C., Kalachanis, D., Goudoudaki, S., Manoussopoulos, Y., & Grammatikopoulos, G. (2021). Integration of biophysical photosynthetic parameters into one photochemical index for early detection of Tobacco Mosaic Virus infection in pepper plants. *Journal of Plant Physiology*, 267(June), 153542. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153542>
- Widiarta, I. N. (2005a). Wereng hijau (*Nephotettix virescens* Distant): Dinamika populasi dan strategi pengendaliannya sebagai vektor penyakit tungro. *Jurnal Litbang Pertanian*, 24(3), 85–92.
- Williams, A., Gamir, J., Gravot, A., & Pétriacq, P. (2021). Untangling plant immune responses through metabolomics. *Advances in Botanical Research*, 98, 73–105. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2020.09.017>
- Xiang, Q., Lott, A. A., Assmann, S. M., & Chen, S. (2021). Advances and perspectives in the metabolomics of stomatal movement and the disease triangle. *Plant Science*, 302(October 2020), 110697. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2020.110697>
- Yun, D. Y., Kang, Y. G., Kim, M., Kim, D., Kim, E. H., & Hong, Y. S. (2020). Metabotyping of different soybean genotypes and distinct metabolism in their seeds and leaves. *Food Chemistry*, 330(November 2018), 127198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127198>
- Zeng, T., Fang, B., Huang, F., Dai, L., Tang, Z., Tian, J., Cao, G., Meng, X., Liu, Y., Lei, B., Lu, M., & Cai, Z. (2021). Mass spectrometry-based metabolomics investigation on two different indica rice grains (*Oryza sativa* L.) under cadmium stress. *Food Chemistry*, 343(October 2020), 128472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128472>

## **BAB 2**

### **EVALUASI KARAKTER AGRONOMI DAN KOMPONEN HASIL BERBAGAI VARIETAS PADI TERHADAP INFEKSI PENYAKIT TUNGRO**

#### **2.1 Abstrak**

Penyakit tungro merupakan salah satu kendala dalam produksi padi yang menyebabkan kehilangan hasil yang cukup tinggi. Penyakit ini disebabkan oleh kombinasi dua jenis virus, yaitu *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV) dan *Rice Tungro Spherical Virus* (RTSV), yang ditularkan oleh wereng hijau (*Nephotettix virescens*). Penelitian ini menggunakan Rancangan Petak Terbagi dengan tiga ulangan, menguji enam varietas padi (Inpari 37, TN1, Inpari 13, Inpari 30, M70D, dan Inpari 36). Penelitian menggunakan berbagai varietas yang merepresentasikan keberagaman sifat ketahanan serta variasi umur panen, mulai dari klasifikasi umur sedang hingga ultra genjah. Metode yang digunakan meliputi deteksi molekuler (PCR) dan analisis agronomis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa infeksi tungro secara signifikan mengurangi tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, persentase gabah berisi, biomassa akar, dan hasil total. Analisis statistik mengkonfirmasi efek signifikan ( $p < 0,05$ ) hingga sangat signifikan ( $p < 0,01$ ) dari interaksi tungro dan varietas. Inpari 37 dan 36 mempertahankan stabilitas hasil, meskipun Inpari 36 terdeteksi virus tungro melalui PCR. Demikian juga dengan varietas lainnya, TN1, Inpari 13, Inpari 30, dan M70D, menunjukkan hasil positif terserang tungro. Terjadi penurunan pada parameter tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, jumlah malai dan hasil produksi gabah pada varietas rentan masing-masing sebesar 7-36%, 0.5-20%, 0.4-8%, 38-200% dan 85-102%, sedangkan pada varietas tahan penurunannya lebih rendah, yaitu masing-masing sebesar 6-9%, 24-39%, 4-5%, 58-77% dan 18.8-19.7%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketahanan varietas ditentukan oleh keberadaan gen ketahanan, bukan dipengaruhi oleh faktor umur tanaman. Cekaman tungro secara signifikan mengurangi pertumbuhan vegetatif dan reproduktif, dengan besaran yang bergantung pada varietas yang digunakan.

Kata Kunci: tungro, karakter agronomi, produktivitas

#### **2.2 Pendahuluan**

Padi merupakan salah satu tanaman pangan pokok penting, berperan menyediakan sumber kalori utama bagi sebagian besar populasi dunia. Namun, produktivitasnya terus-menerus terancam oleh tekanan biotik, di antaranya penyakit tungro sebagai salah satu penyakit penting yang merusak di Asia. Tungro disebabkan oleh interaksi antara dua virus yang berbeda, yaitu *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV) dan *Rice Tungro Spherical Virus* (RTSV). Kedua virus ditularkan secara semi-persisten oleh wereng hijau (*Nephotettix virescens*), yang bertindak sebagai vektor penting dalam penyebaran penyakit tungro (Bunawan *et al.*, 2014; Chong *et al.*, 2015; Khatun *et al.*, 2018).

Tanaman padi yang terinfeksi menunjukkan gejala khas seperti pertumbuhan kerdil, perubahan warna daun menjadi kuning ke oranye, jumlah anakan berkurang, penurunan produksi, bahkan terjadinya puso (O Azzam & Chancellor, 2002; Simamora & Manurung, 2021). Perubahan warna bervariasi dari kuning hingga jingga tergantung pada tingkat keparahan infeksi, sementara malai seringkali hampa (Bhusal, GC, et al., 2019). Sifat agronomi berupa tinggi tanaman, jumlah anakan, waktu berbunga, dan komponen hasil mencakup persentase gabah isi dan berat 1.000 gabah sangat terpengaruh (Firmansyah *et al.*, 2023). Variabilitas kehilangan hasil akibat tungro berkisar antara 17% hingga 100%, tergantung pada varietas padi dan stadium infeksi (Osmat Azzam & Chancellor, 2002b). Gejala-gejala ini berasal dari gangguan efisiensi fotosintesis dan alokasi karbohidrat, karena infeksi tungro mengganggu fungsi kloroplas, yang menyebabkan penurunan luas daun dan kandungan klorofil (Amelia *et al.*, 2024; Sum & Fung, 2018). Akibatnya, terjadi penurunan akumulasi biomassa dan terbatasnya pasokan karbohidrat ke organ reproduksi berkontribusi langsung terhadap penurunan hasil (Kant & Dasgupta, 2017). Gangguan fisiologis selama tahap vegetatif dan reproduksi, memperburuk variabilitas hasil di berbagai lingkungan dan musim pertumbuhan (Komalasari *et al.*, 2019a).

Infeksi tungro telah dilaporkan di 34 provinsi di seluruh Indonesia, dengan fluktuasi yang diamati di pulau-pulau penghasil padi utama seperti Jawa, Sumatra, dan Sulawesi. Selama lima tahun terakhir, total luas area yang terinfeksi telah mencapai sekitar 16.292 hektar, meningkat dari 1.943 ha pada tahun 2020 menjadi 3.399 ha pada tahun 2021 (Subehi *et al.*, 2023; Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2021). Peningkatan kasus ini menyoroti semakin besarnya risiko yang ditimbulkan oleh penyakit tungro terhadap keberlanjutan dan stabilitas produksi padi di tingkat nasional.

Beberapa penelitian telah mengidentifikasi varietas padi yang menunjukkan ketahanan atau toleransi terhadap infeksi tungro. Varietas seperti IR64 dan Utri Merah telah menunjukkan tingkat ketahanan sedang hingga tinggi, yang sering dikaitkan dengan sifat genetik seperti keberadaan alel spesifik pada gen *elf4G* yang menghambat replikasi virus (Macovei *et al.*, 2018; Valarmathi *et al.*, 2016a). Mekanisme ketahanan biasanya melibatkan peningkatan respons fisiologis dan penekanan pergerakan virus di dalam jaringan inang. Upaya perbaikan genetik, termasuk seleksi dengan bantuan molekuler, telah berperan penting dalam mendeteksi sifat ketahanan suatu varietas unggul (Anand *et al.*, 2022). Selain itu, teknik deteksi molekuler, termasuk PCR dan amplifikasi isothermal termediated loop (LAMP), telah meningkatkan akurasi dan kecepatan diagnosis penyakit (Uda *et al.*, 2018). Alat diagnostik penting untuk deteksi dini dan penanggulangan penyakit, terutama di wilayah endemik tungro. Upaya pengendalian tungro juga telah menggabungkan praktik pengelolaan hama terpadu (PHT). Strategi seperti pengendalian vektor melalui aplikasi insektisida, eradikasi tanaman sakit, perhitungan jadwal tanam dan potensi ledakan populasi

vektor merupakan komponen penting dari PHT (Gogoi *et al.*, 2023; Khaerana, *et al.*, 2023).

Meskipun penelitian mengenai penyakit tungro sudah semakin berkembang, masih terdapat kesenjangan informasi mengenai dampak infeksi alami di lapangan terhadap sifat-sifat agronomi dan komponen hasil utama pada genotipe padi yang beragam. Ketahanan yang tidak merata di antara varietas semakin mempersulit langkah-langkah pengendalian, karena virus dapat mengeksploitasi genotipe yang rentan untuk mempertahankan siklus epidemi. Kondisi ini memerlukan evaluasi lapangan untuk mengidentifikasi varietas yang tetap produktif meskipun mengalami cekaman tungro. Evaluasi dilakukan terhadap enam varietas terpilih yang merepresentasikan spektrum respons genetik dan umur panen.

## **2.3 Metode Penelitian**

### **2.3.1 Waktu dan Tempat**

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli-Nopember 2022. Penelitian dilaksanakan di dua lokasi, yaitu di laboratorium virology Loka Penelitian Penyakit Tungro dan di lokasi IP2TP (Instalasi Penelitian dan Pengkajian Teknologi) Loka Penelitian Penyakit Tungro. Penelitian dilaksanakan di laboratorium virologi, untuk memastikan keberadaan virus tungro pada sumber inokulum yang digunakan. Sedangkan penelitian di IP2TP untuk pertanaman varietas uji.

### **2.3.2 Metodologi**

Desain penelitian menggunakan rancangan petak terbagi (*split plot design*) dalam RAK (rancangan acak kelompok) yang diulang 3 tiga kali. Terdapat dua faktor perlakuan, yaitu sebagai petak utama adalah infeksi penyakit tungro, dan anak petak adalah varietas. Infeksi penyakit tungro terdiri atas 2 taraf, yaitu tanpa infeksi penyakit tungro dan terinfeksi penyakit tungro. Sedangkan varietas terdiri atas 6 varietas, yaitu varietas TN1 (*Taichun Native 1*), Inpari 36, Inpari 37, varietas Inpari 13, varietas M70D, dan varietas Inpari 30. Pemilihan varietas berdasarkan tingkat ketahanannya terhadap virus tungro, dan juga berdasarkan umur tanaman (Tabel 1).

Tabel 1. Klasifikasi dan Karakteristik Varietas yang Digunakan Dalam Penelitian

| Varietas  | Umur panen (HST) | Kategori umur panen | Ketahanan terhadap tungro     |
|-----------|------------------|---------------------|-------------------------------|
| TN1       | 105-115          | Sedang              | Rentan (indikator kerentanan) |
| M70d      | 70-89            | Ultra genjah        | Rentan                        |
| Inpari 13 | 99               | Genjah              | Rentan                        |
| Inpari 30 | 111              | Sedang              | Rentan                        |
| Inpari 36 | 114              | Sedang              | Tahan                         |
| Inpari 37 | 114              | Sedang              | Tahan                         |

### 2.3.3 Deteksi DNA dengan PCR

Keberadaan virus tungro pada tanaman padi dikonfirmasi melalui deteksi DNA menggunakan metode *Polymerase Chain Reaction* (PCR). DNA total tanaman diekstraksi dari daun padi terinokulasi menggunakan metode CTAB. Proses ekstraksi meliputi penghancuran jaringan daun, inkubasi dengan buffer CTAB dan 2-mercaptoetanol, pemurnian menggunakan chloroform–isoamil alkohol, serta presipitasi DNA dengan sodium asetat dan isopropanol. Pellet DNA yang diperoleh dicuci dengan etanol 70% dan dilarutkan dalam buffer TE untuk digunakan sebagai stok DNA (Doyle, 1991).

Amplifikasi DNA dilakukan dengan PCR menggunakan sepasang primer spesifik gen selubung protein, yaitu primer DAF (5'-GGAATTCCGGCCCTCAAAAACCTAGAAG-3') dan DAR (5'GGGGGTACCCCCCGATTTCCCATGTATG-3'). Reaksi PCR disiapkan dengan mencampurkan DNA total, primer forward dan reverse, dNTP, MgCl<sub>2</sub>, dan Taq polymerase, kemudian dijalankan pada mesin PCR dengan kondisi siklus denaturasi awal, denaturasi, annealing, ekstensi, dan ekstensi akhir sesuai protokol.

Hasil amplifikasi PCR divisualisasikan melalui elektroforesis gel agarosa 1% menggunakan buffer TBE. Gel diwarnai dengan pewarna fluoresen dan dijalankan pada tegangan 100 V selama 30 menit. Visualisasi pita DNA dilakukan menggunakan Gel Doc™ EZ Imager (Bio-Rad) untuk memastikan keberhasilan amplifikasi DNA virus tungro (Khoshnami *et al.*, 2023).

#### **2.3.4 Uji Penularan Penyakit Tungro**

Bibit yang telah terdeteksi mengandung virus tungro, dipindahkan ke lahan percobaan untuk memungkinkan perkembangan penyakit di bawah kondisi lingkungan alami. Penularan di lapangan difasilitasi dengan mengelilingi petak percobaan dengan tanaman yang terinfeksi tungro yang berfungsi sebagai sumber inokulum. Pendekatan ini meniru perkembangan penyakit tungro secara alami untuk menguji respons varietas dan perubahan sifat tanaman dalam kondisi budidaya di lapangan.

#### **2.3.5 Pengamatan Karakter Agronomi dan Produksi Tanaman**

Benih yang telah disemaikan dipindahkan lokasi pertanaman. Dimana terdapat dua lokasi pertanaman, yaitu (I) pertanaman yang diinisiasi penyakit tungro, dan (II) pertanaman yang terbebas dari penyakit tungro. Antara pertanaman I dan pertanaman II, berjarak kurang lebih 1 km untuk menghindari perpindahan wereng hijau antar kedua areal penelitian.

Pertanaman I: disekitar pertanaman varietas uji ditanami sumber inokulum penyakit tungro, untuk memudahkan infeksi tungro di lapangan. Sehingga akan terjadi infeksi secara alami. Penanaman dilakukan setelah bibit berumur 21 hari dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm. pada areal pertanaman tidak dilakukan tindakan penyemprotan pestisida untuk memungkinkan infeksi yang lebih intensif. Perlakuan yang sama dilaksanakan terhadap areal pertanaman di sekitar penelitian. Pemupukan yang digunakan adalah 300 kg/ha NPK Ponska dan 250 kg/ha urea.

Pertanaman II: Penanaman dilakukan setelah bibit berumur 21 hari dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm. pada areal pertanaman tetap dilakukan tindakan penyemprotan pestisida untuk pencegahan terhadap infeksi penyakit tungro. Pemupukan yang digunakan adalah 300 kg/ha NPK Ponska dan 250 kg/ha urea.

Pengamatan dilakukan terhadap perkembangan tanaman antara tanaman yang dinokulasi (pertanaman I) dengan tanaman yang tidak diinokulasi (pertanaman II). Parameter pengamatan mencakup: tinggi tanaman; jumlah anakan; panjang malai, jumlah malai, gabah hampa permalai, gabah isi permalai, berat kering akar, berat kering serasah, nisbah akar tajuk, dan Berat gabah (Ka 14%). Sebagai data pelengkap dibutuhkan data curah hujan.

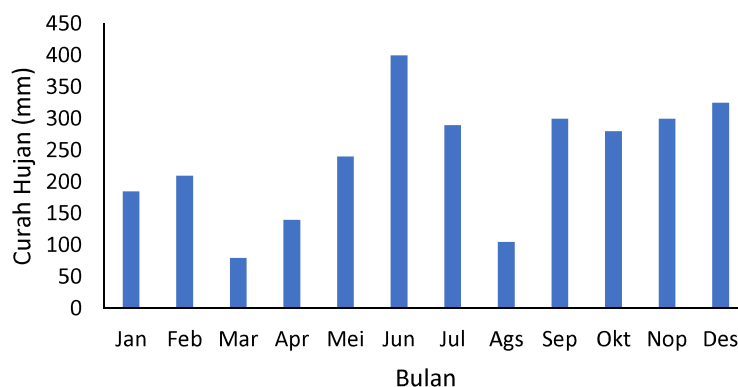
#### **2.3.6 Pengolahan Data**

Data penelitian dianalisis menggunakan uji F (analisis sidik ragam), dengan tingkat signifikansi yang digunakan yaitu sebesar 0,05. Jika terdapat pengaruh perlakuan, maka akan dilanjutkan dengan uji Tukey. Pengolahan data dibantu dengan software SPSS.

### **2.4 Hasil**

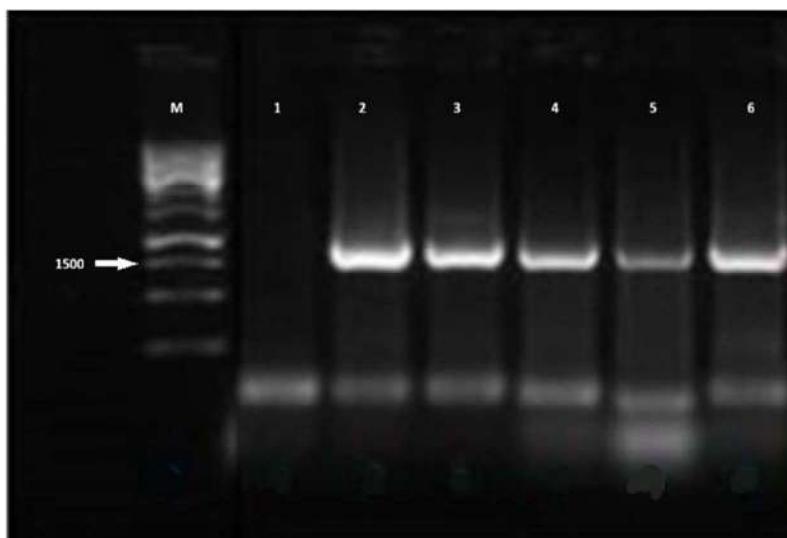
Data lingkungan yang tercatat selama percobaan menunjukkan bahwa curah hujan bervariasi secara signifikan sepanjang tahun 2022 di Desa Timoreng Panua, Kabupaten Sidenreng Rappang (Gambar 2). Curah hujan bulanan

berkisar di bawah 100 mm pada bulan Maret hingga di atas 400 mm pada bulan Juni, menunjukkan pola keseluruhan yang mendukung proliferasi *Nephotettix virescens*, vektor penyakit tungro. Curah hujan yang tinggi selama bulan Juni dan Juli menandai awal pertanaman padi, yang berdampak pada ketersediaan sumber pakan pada wereng hijau. Kondisi ini memungkinkan perkembangan wereng hijau yang kondusif, sehingga meningkatkan kemungkinan penularan tungro. Sebagaimana dicatat dalam penelitian sebelumnya, curah hujan sedang dan kelembapan di atas 60% mendorong reproduksi wereng dan penularan virus, sementara curah hujan yang berlebihan terkadang dapat menekan aktivitas wereng hijau (Amelia *et al.*, 2022; Pratisno *et al.*, 2025; Senoaji *et al.*, 2021). Dengan demikian, kondisi lingkungan selama percobaan lapangan optimal untuk mengamati dinamika infeksi tungro alami.



Gambar 2. Rata-rata curah hujan di Desa Timoreng Panua, Kecamatan Panca Rijang, Kabupaten Sidenreng Rappang pada tahun 2022. Keterangan: data diperoleh dari BMKG

Analisis *Polymerase Chain Reaction* (PCR) mengkonfirmasi keberadaan *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV) dalam sampel percobaan. Seperti ditunjukkan pada Gambar 3, amplifikasi PCR menghasilkan pita positif untuk varietas TN1, Inpari 13, Inpari 30, Inpari 36, dan M70D, sementara Inpari 37 tidak menunjukkan amplifikasi yang nyata, yang menunjukkan tidak adanya infeksi. Hasil ini mendukung laporan sebelumnya bahwa deteksi berbasis PCR dapat secara efektif membedakan antara genotipe yang resisten dan rentan dengan spesifisitas lebih dari 95% (Singh *et al.*, 2015). Tidak adanya amplifikasi PCR pada Inpari 37 menunjukkan bahwa varietas ini memiliki mekanisme toleran terhadap penyakit tungro, yang kemungkinan terkait dengan hambatan genetik atau fisiologis yang menghambat replikasi atau pergerakan virus.



Gambar 3. Hasil PCR pada Varietas yang Dicobakan: 1) Varietas Inpari 37, 2) Varietas Tn1, 3) Varietas Inpari 13, 4) Varietas Inpari 30, 5) Varietas M70d, 6) Varietas Inpari 36

Ringkasan ANOVA yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa infeksi tungro secara signifikan memengaruhi semua sifat agronomi utama. Faktor penyakit (P) dan varietas (V) menunjukkan pengaruh yang signifikan maupun sangat signifikan terhadap parameter berat kering serasa, panjang malai, jumlah malai, jumlah gabah hampa, panjang akar, berat kering akar, rasio akar-tunas, dan hasil. Pengaruh interaksi ( $P \times V$ ) juga signifikan untuk beberapa parameter, termasuk pada tinggi tanaman, berat kering serasa, berat kering akar, nisbah akar tajuk, jumlah malai, jumlah gabah hampa, dan berat gabah kering giling. Hasil ini menunjukkan adanya variasi genetik dalam respons terhadap stres tungro. Hasil ini sesuai dengan temuan (Abbas *et al.*, 2023; Valarmathi *et al.*, 2016b), yang melaporkan bahwa pola penurunan hasil akibat tungro bervariasi menurut interaksi genotipe-lingkungan.

Tabel 2. Rekapitulasi Analisis Varians (Anova) Pengaruh Perlakuan Cekaman Penyakit Tungro Terhadap Karakter Morfologis dan Hasil 6 Varietas Padi yang Dicobakan.

| Parameter         | Penyakit (P) | Varietas (V) | P x V |
|-------------------|--------------|--------------|-------|
| Tinggi Tanaman    | tn           | **           | **    |
| Jumlah anakan     | *            | *            | tn    |
| BK Serasah        | **           | **           | **    |
| BK akar           | **           | **           | **    |
| Nisbah akar tajuk | tn           | **           | **    |

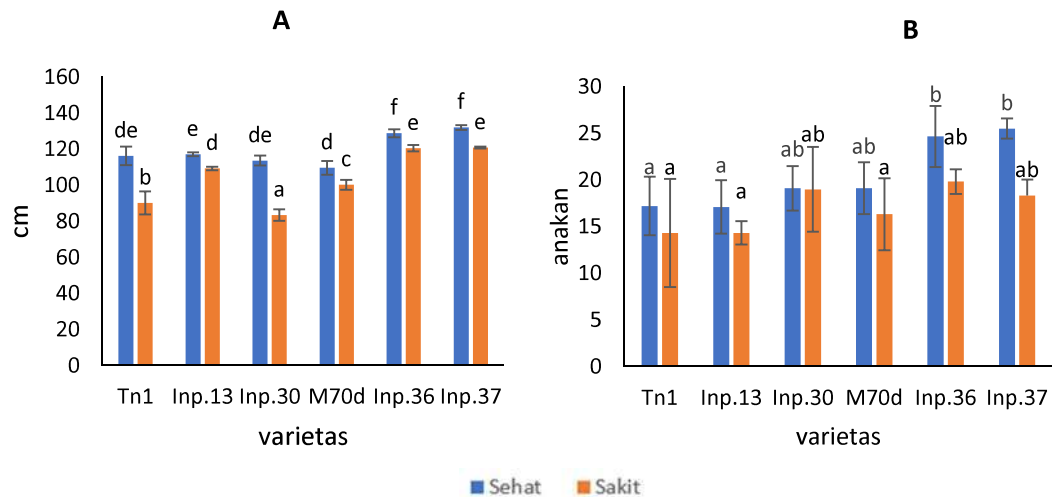
|               |    |    |    |
|---------------|----|----|----|
| Panjang malai | ** | ** | tn |
| Jumlah malai  | ** | ** | ** |
| Gabah isi     | ** | tn | tn |
| Gabah hampa   | ** | ** | ** |
| Gabah ton/ha  | ** | ** | *  |

Ket: \*\* (berpengaruh sangat nyata selang kepercayaan 0.01),

\* (berpengaruh nyata selang kepercayaan 0.05), tn (tidak nyata)

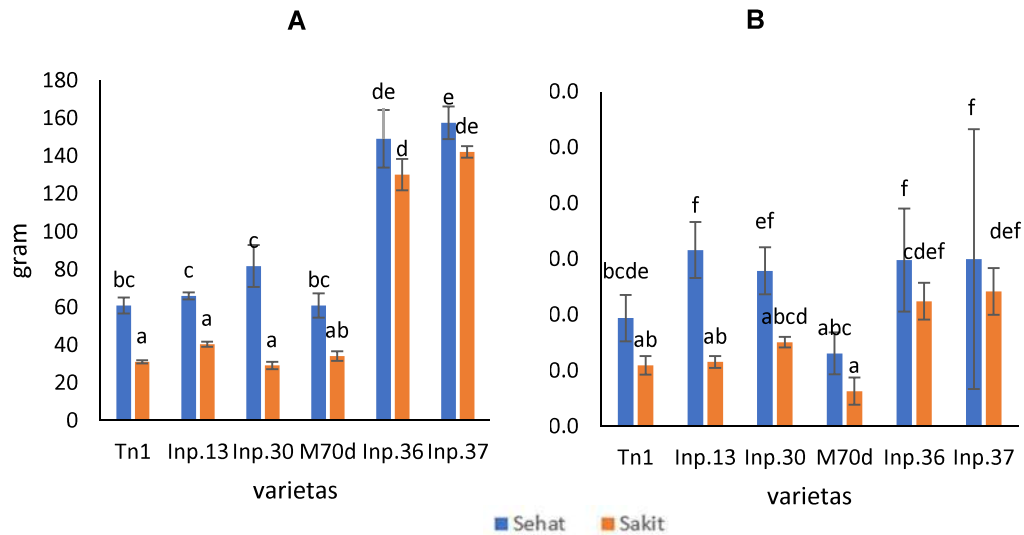
#### 2.4.1 Karakter Agronomi

Stres tungro menyebabkan penurunan tinggi tanaman secara signifikan di semua varietas yang diuji (Gambar 4). Pengamatan ini menegaskan bahwa tinggi tanaman merupakan salah satu indikator dampak tungro.



Gambar 4. Pengaruh Cekaman Penyakit Tungro Terhadap Tinggi Tanaman (A) dan Jumlah Anakan (B) pada 6 Varietas Padi yang Dicobakan.

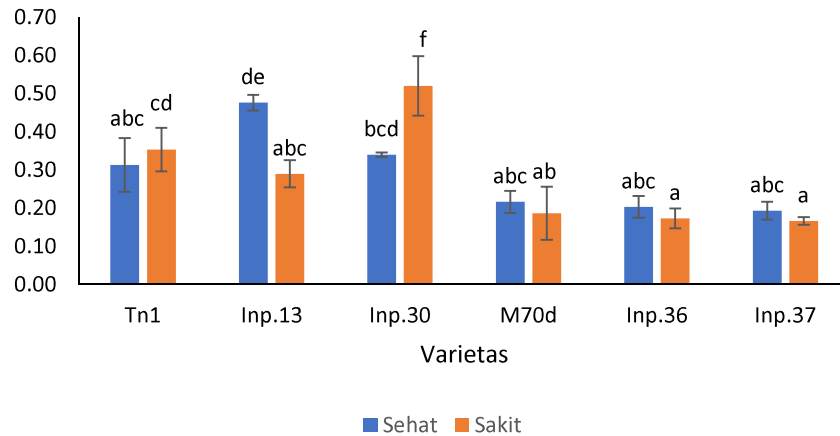
Jumlah anakan mengalami penurunan akibat infeksi tungro, namun tidak berpengaruh nyata (Gambar 5). Penurunan jumlah anakan akibat stres tungro disebabkan oleh terbatasnya translokasi karbohidrat dan berkurangnya efisiensi fotosintesis, sebagaimana dilaporkan oleh (Sum & Fung, 2018).



Gambar 5. Pengaruh cekaman penyakit tungro terhadap berat kering jerami (A) dan berat kering akar (B) pada 6 varietas padi yang dicobakan.

Gambar 5 menunjukkan bahwa berat kering jerami menurun secara substansial akibat infeksi tungro di semua varietas. Penurunan signifikan terlihat pada TN1, Inpari 13, Inpari 30. Margin penurunan dengan tanaman sehat menunjukkan biomassa jerami hampir dua kali lipat dibandingkan dengan tanaman yang terinfeksi. Penurunan ini konsisten dengan temuan sebelumnya yang menunjukkan penurunan 50% berat kering jerami pada padi yang terinfeksi (Abbas *et al.*, 2023; Valarmathi *et al.*, 2016b). Sedangkan Varietas M70d, Inpari 36 dan Inpari 37, menunjukkan penurunan, namun tidak signifikan. Parameter Berat kering akar juga mengalami penurunan selama infeksi tungro. Varietas TN1, M70d, Inpari 36 dan Inpari 37 mempertahankan biomassa akar yang lebih tinggi selama infeksi, penurunan yang terjadi tidak signifikan, sementara varietas Inpari 13 dan Inpari 30 menunjukkan penurunan terbesar. Penurunan biomassa akar menunjukkan penyerapan hara yang terhambat dan vigor tanaman yang melemah.

Gambar 6 menunjukkan bahwa stres tungro secara signifikan mengubah rasio akar-pucuk. Pada sebagian besar varietas, infeksi mengurangi rasio tersebut karena penurunan biomassa akar yang tidak proporsional dibandingkan dengan pertumbuhan di atas tanah. Namun, pada varietas M70d, Inpari 36 dan Inpari 37, rasio tersebut tetap relatif stabil, menunjukkan alokasi sumber daya yang seimbang bahkan dalam kondisi infeksi.



Gambar 6. Pengaruh Cekaman Penyakit Tungro Terhadap Nisbah Akar Tajuk (G) 6 Varietas Padi yang Dicobakan.



Gambar 7. Profil Tanaman Varietas TN1 dalam Kondisi Sehat dan Terserang Penyakit Tungro.

Skala: Tinggi tanaman sehat diperkirakan 112-125 cm, tinggi tanaman sakit sekitar 80-90 cm

Varietas TN1 dan Inpari 30 menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan varietas lainnya; nilai nisbah akar tajuk pada tanaman sakit lebih tinggi daripada pada tanaman sehat. Sebaliknya, pada varietas Inpari 13, M70D, Inpari 36, dan Inpari 37, nilai nisbah akar-tajuk pada tanaman sehat lebih tinggi daripada pada tanaman sakit. Alazem & Lin, (2014) menyatakan pada kondisi stres, tanaman umumnya memprioritaskan pemeliharaan akar untuk menopang

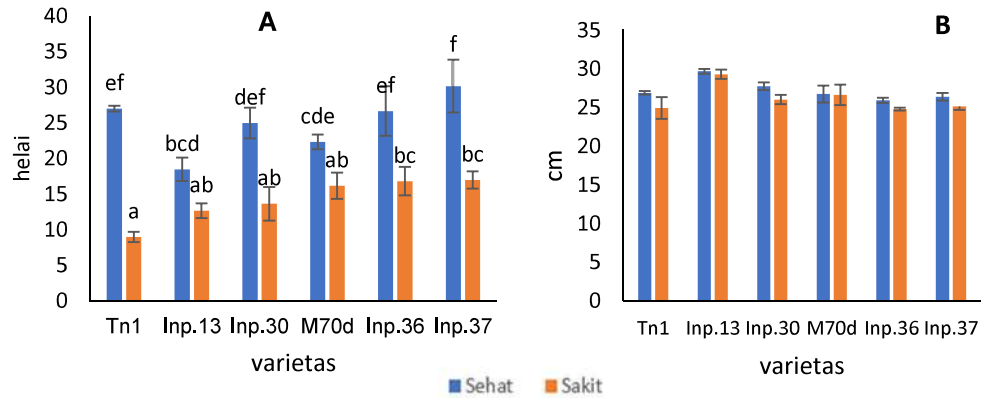
penyerapan air dan hara, sementara pertumbuhan tajuk ditekan sebagai bagian dari respons adaptif yang lazim terjadi pada stres biotik maupun abiotik. Dalam konteks infeksi virus, gangguan pada keseimbangan hormon pertumbuhan seperti auksin, giberelin, dan sitokinin dapat mempercepat munculnya gejala penekanan pertumbuhan pada organ tajuk dibandingkan akar (Dierck *et al.*, 2016). Dengan demikian, pada varietas TN1 dan Inpari 30 yang sama-sama tergolong rentan, infeksi tungro terutama menekan pertumbuhan tajuk, sehingga nisbah akar tajuk pada tanaman sakit cenderung meningkat dibandingkan tanaman sehat.



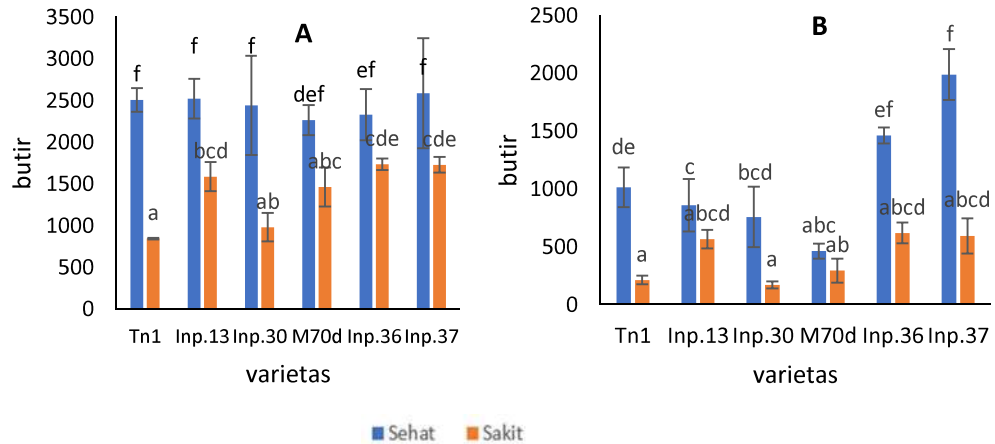
Gambar 8. Akar Varietas TN1 dalam Kondisi Sehat dan Terserang Penyakit Tungro.  
Skala: panjang akar sehat diperkirakan 22-25 cm, panjang akar sakit diperkirakan 13-27 cm

#### 2.4.2 Karakter Produksi/Hasil

Parameter jumlah malai menunjukkan pengaruh signifikan pada sebagian besar varietas yang dicobakan (Gambar 9). Varietas TN1 menunjukkan penurunan jumlah malai yang paling tinggi, sedangkan varietas Inpari 13 dan M70d tidak berbeda nyata. Panjang malai menurun akibat stres tungro, dengan penurunan terbesar diamati pada TN1.



Gambar 9. Pengaruh cekaman penyakit tungro terhadap jumlah malai (A) dan panjang malai (B) pada 6 varietas padi yang dicobakan



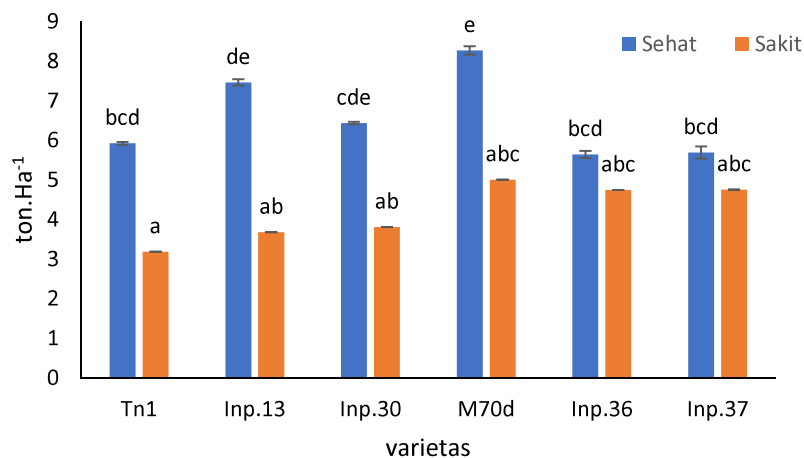
Gambar 10. Pengaruh Cekaman Penyakit Tungro Terhadap Jumlah Gabah Isi Permalai (A) dan Jumlah Gabah Hampa (B) Permalai (Butir) Pada 6 Varietas Padi yang Dicobakan.

Infeksi tungro meningkatkan jumlah gabah hampa di semua varietas uji. TN1, Inpari 30, dan Inpari 37 tercatat jumlah gabah hampa tertinggi. Sedangkan, Jumlah gabah terisi (Gambar 10) menurun secara signifikan pada beberapa varietas. Tanaman sehat secara konsisten menghasilkan lebih banyak gabah terisi, sementara tanaman yang terinfeksi menunjukkan penurunan yang signifikan. Penurunan terendah ditunjukkan pada varietas Tn1 dan Inpari 30. Konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menghubungkan stres tungro dengan gangguan transportasi fotosintat (Amelia *et al.*, 2024).

Hasil gabah (

Gambar 11) menunjukkan penurunan yang signifikan akibat infeksi tungro pada varietas Tn1, Inpari 13, Inpari 30, dan M70d. TN1 dan Inpari 13 mencatat penurunan hasil tertinggi, sementara Inpari 37 dan Inpari 36 mempertahankan hasil yang relatif lebih tinggi, menunjukkan adanya tingkat ketahanan tertentu dari kondisi yang diuji. Pola penurunan hasil ini mencerminkan temuan (Valarmathi *et al.*, 2016a; Estiati *et al.*, 2020), yang mendokumentasikan penurunan hasil sebesar 20–90% pada genotipe rentan, tergantung pada tingkat keparahan infeksi.

Hasil ANOVA yang dirangkum dalam tabel 2, memberikan bukti kuat mengenai pengaruh signifikan stres tungro terhadap sifat-sifat agronomi utama. Pengaruh infeksi tungro, varietas padi, dan interaksinya signifikan hingga sangat signifikan ( $p < 0,05$  hingga  $p < 0,01$ ) di sebagian besar parameter yang diukur. Variasi respons penyakit antar varietas menunjukkan komponen genetik yang kuat yang mengatur ketahanan dan kerentanan. Sifat-sifat yang paling terdampak, yaitu jumlah anakan, berat kering jerami, berat kering akar, jumlah malai, dan jumlah gabah hampa permalai, konsisten dengan studi sebelumnya yang menggunakan parameter serupa sebagai indikator dampak tungro (Sadimantara *et al.*, 2021; Khaerana *et al.*, 2023). Hasil ini memperkuat kesimpulan bahwa stres tungro secara signifikan mengurangi pertumbuhan vegetatif dan reproduktif, dengan besaran yang bergantung pada genotipe.



Gambar 11. Pengaruh Cekaman Penyakit Tungro Terhadap Gabah Kering Giling pada Enam Varietas Padi yang Dicobakan.



Gambar 12. Malai Varietas TN1 dalam Kondisi Sehat dan Terserang Penyakit Tungro.

Tanaman yang terinfeksi secara konsisten menunjukkan penurunan berat kering jerami, malai yang lebih pendek, jumlah gabah yang terisi lebih sedikit, dan peningkatan persentase gabah yang tidak terisi dibandingkan dengan kontrol sehat. Penurunan berat kering akar dan perubahan rasio akar pucuk menunjukkan bahwa infeksi tungro mengganggu alokasi nutrisi di bawah tanah.

Virus RTBV dan RTSV diketahui terakumulasi terutama di jaringan floem, di mana kehadiran mereka secara signifikan menghambat proses translokasi fotosintat dan nutrisi. RTBV, yang merupakan pararetrovirus dengan genom DNA ganda, memiliki sifat spesifik untuk menginfeksi jaringan floem dan dikenal sebagai penyebab utama dari penyakit tungro (Petrucelli *et al.*, 2001). Ketidakseimbangan fisiologis tersebut merupakan karakteristik gangguan virus terhadap fungsi floem.

Defisiensi nutrisi yang dihasilkan berkontribusi terhadap klorosis, pertumbuhan terhambat, dan penurunan keberhasilan reproduksi (Ibrahim *et al.*, 2023). Sinergi antara RTBV dan RTSV meningkatkan virulensi melalui penekanan sistem pembungkaman RNA inang, yang memungkinkan replikasi virus yang ekstensif (Anand *et al.*, 2022). Gangguan pada tingkat molekuler ini menurunkan daya tahan tubuh tanaman, sehingga tanaman menjadi lebih mudah terserang cekaman penyakit.

Infeksi tungro mempengaruhi integritas struktur vaskular, sehingga mengurangi efisiensi aliran asimilasi dari jaringan source ke sink. Akibatnya, transpor karbohidrat ke biji-bijian yang sedang berkembang menjadi sangat

terbatas, yang menjelaskan peningkatan jumlah biji-bijian yang tidak terisi yang diamati pada Gambar 10.

Akumulasi ROS (*Reactive Oxygen Species*) selama infeksi semakin memperparah kerusakan dengan menginduksi stres oksidatif, yang mengganggu membran sel dan mempercepat penuaan daun (Mohamed *et al.*, 2023). Efek gabungan dari mekanisme ini menyebabkan kehilangan hasil dan pengurangan biomassa yang signifikan yang tercatat pada varietas yang rentan.

Penelitian oleh Anand *et al.*, (2022) menunjukkan bahwa interaksi antara protein dari RTBV dan RTSV berkontribusi pada penghambatan sistem pembungkaman RNA inang. Hal ini memungkinkan replikasi virus yang lebih luas, yang semakin melemahkan pertahanan imun tanaman dan membuatnya rentan terhadap kondisi stres fisiologis yang lebih lanjut. Sinergi yang terjadi antara kedua virus ini menekankan pentingnya strategi pengendalian yang agresif dan terintegrasi.

Infeksi virus tungro pada tanaman padi dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam rasio akar-pucuk. Penelitian menunjukkan bahwa infeksi ini umumnya mengakibatkan penurunan rasio akar-pucuk pada sebagian besar varietas padi akibat penurunan biomassa akar yang tidak proporsional dibandingkan dengan pertumbuhan di atas tanah (Sridhar *et al.*, 1979). Namun, varietas tertentu seperti Inpari 36 dan Inpari 37 cenderung menunjukkan stabilitas rasio tersebut, sedangkan TN1 dan Inpari 30 menunjukkan fenomena yang sebaliknya, dengan rasio akar-pucuk pada tanaman sakit yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman sehat. Fenomena ini mencerminkan mekanisme adaptif yang berbeda antara varietas.

Rasio akar-pucuk yang menurun pada sebagian besar varietas dapat dihubungkan dengan efek negatif dari infeksi virus pada pertumbuhan akar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kecenderungan tanaman untuk mengalokasikan sumber daya ke bagian atas tanah (pucuk) dapat menurunkan biomassa akar akibat infeksi virus, menyebabkan ketidakstabilan dalam rasio akar-pucuk (Sridhar *et al.*, 1979). Proses ini adalah respons terhadap stres biotik yang diakibatkan oleh infeksi virus, di mana tanaman berusaha untuk memperkuat pertumbuhan bagian atasnya sebagai strategi bertahan hidup.

Varietas yang lebih tahan seperti Inpari 36 dan Inpari 37 menunjukkan kemampuan untuk mempertahankan rasio akar-pucuk yang seimbang. Hal ini mungkin disebabkan oleh mekanisme fisiologis yang memungkinkan alokasi sumber daya yang lebih efisien, menyebabkan pertumbuhan akar dan pucuk tetap proporsional meskipun mengalami infeksi (Sridhar *et al.*, 1979).

Fenomena unik ditemukan pada varietas TN1 dan Inpari 30, di mana rasio akar-pucuk pada tanaman sakit justru lebih tinggi daripada tanaman sehat. Ini dapat dijelaskan oleh hipotesis bahwa infeksi virus dapat merangsang pertumbuhan akar sebagai respons adaptif terhadap kekurangan nutrisi yang diakibatkan oleh penghambatan translokasi akibat infeksi (Senoaji *et al.*, 2021).

Akar mungkin bereaksi dengan meningkatkan pertumbuhannya untuk berusaha mengakses lebih banyak sumber daya dari tanah untuk mendukung kebutuhan metabolik tanaman yang terpengaruh oleh infeksi.

Rasio yang lebih tinggi ini dapat mencerminkan alokasi karbohidrat dan nutrisi yang berusaha menyeimbangkan kehilangan biomassa akibat infeksi. Tanaman berusaha menyeimbangkan penyediaan sumber daya antara akar dan pucuk. Ini terlihat dalam penelitian yang menunjukkan bahwa tanaman dapat mengalihkan sumber daya untuk meningkatkan biomassa akar saat mengalami stres.

Respons varietas terhadap infeksi tungro sangat bervariasi di antara keenam genotipe yang diuji, mencerminkan perbedaan genetik dalam mekanisme resistensi. Namun secara umum, varietas yang diuji mengalami penurunan performa agronomi dan produksi setelah terserang penyakit tungro. Hasil ini sejalan dengan pernyataan (Jones, 2014), yang mengatakan tanaman yang terinfeksi patogen umumnya akan mengarahkan sumber daya dan energinya untuk mempertahankan kelangsungan hidup serta menyelesaikan siklus reproduksi. Akibatnya, terjadi kompromi biologis antara respons pertahanan dengan proses pertumbuhan dan produksi, sehingga karakter agronomi maupun produktivitas tanaman cenderung menurun.

Analisis PCR (Gambar 3) mengonfirmasi bahwa Inpari 37 tidak menunjukkan amplifikasi virus yang terdeteksi, menunjukkan adanya mekanisme ketahanan yang kuat. Sebaliknya, TN1, Inpari 13, Inpari 30, M70D, dan Inpari 36 dinyatakan positif terinfeksi virus, dengan intensitas gejala yang bervariasi. Temuan ini konsisten dengan temuan (Macovei *et al.*, 2018), yang menunjukkan bahwa varietas padi tahan seringkali memiliki pertahanan struktural dan molekuler yang membatasi replikasi virus di dalam jaringan floem. Pada tingkat molekuler, kultivar resisten tertentu memiliki alel termodifikasi dari faktor inisiasi translasi eukariotik 4G (eIF4G), yang mengurangi kemampuan protein virus tungro untuk membajak mesin translasi inang (Nithya *et al.*, 2020). Selain itu, *small interfering RNA* (siRNA) yang dihasilkan dari sekuens virus pada tanaman resisten berperan penting dalam meredam replikasi virus (Zarreen *et al.*, 2018). Mekanisme ini dapat menjelaskan resistensi yang teramati pada Inpari 37, yang mempertahankan kinerja agronomi superior di bawah tekanan tungro, termasuk produksi anakan yang stabil, perkembangan akar, dan hasil panen.

Meskipun Inpari 36 terkonfirmasi terinfeksi tungro berdasarkan hasil PCR, varietas ini tidak menunjukkan penurunan yang nyata pada karakter agronomi maupun hasil produksinya. Kondisi tersebut karena Inpari 36 memiliki gen ketahanan terhadap virus tungro sehingga termasuk ke dalam varietas toleran. Menurut Hasanuddin, (2008), suatu varietas padi dikategorikan toleran terhadap virus tungro apabila tetap mampu tumbuh dan menghasilkan produksi dengan gejala penyakit yang relatif ringan meskipun terinfeksi. Penilaian tingkat toleransi umumnya didasarkan pada beberapa parameter, salah satunya adalah

rendahnya insidensi penyakit; indeks penyakit rendah; gejala tetap ringan; dan penurunan tinggi tanaman dan hasil relatif rendah; serta masih mampu mempertahankan produksi.

Inpari 36 merupakan varietas yang secara genetik dirakit dengan sifat tahan terhadap virus tungro. Varietas tahan memiliki kemampuan untuk menekan laju replikasi virus atau membatasi pergerakan virus di dalam jaringan pembuluh (floem). Walaupun tanaman menunjukkan reaksi positif terinfeksi, sistem pertahanan internal Inpari 36 mampu meminimalisir kerusakan metabolisme, sehingga gangguan pada hormon pertumbuhan tidak terjadi secara masif. Hal ini menjaga agar perubahan morfologis (kekerdilan) tidak muncul secara ekstrem, sehingga tanaman tetap mampu menjalankan proses fotosintesis dan pengisian gabah dengan relatif normal.

Stabilitas kinerja Inpari 36 juga didukung oleh rendahnya tekanan infeksi di lapangan. Dampak kerusakan ekonomi akibat tungro sangat bergantung pada populasi vektor (wereng hijau) dan *severity* (keparahan) penyakit. Jika intensitas serangan tidak terlalu tinggi di setiap blok percobaan, persentase tanaman yang terdampak secara parah berada di bawah ambang batas gangguan populasi. Populasi tanaman dalam blok, tanaman yang sehat atau hanya terinfeksi ringan mampu melakukan kompensasi ruang dan nutrisi, sehingga rata-rata produktivitas per unit area tidak mengalami penurunan yang signifikan.

Kombinasi antara ketahanan bawaan yang dimiliki Inpari 36 dan rendahnya tekanan penyakit di lokasi percobaan menciptakan kondisi di mana tanaman mampu menoleransi infeksi tanpa mengorbankan komponen hasil. Dengan demikian, meskipun varietas Inpari 36 terdeteksi positif, secara agronomis Inpari 36 tetap menunjukkan performa yang tangguh (resilien) terhadap tekanan biotik tungro.

Penggunaan varietas genjah dan ultra genjah dalam penelitian ini menunjukkan potensi serangan tungro tidak terpengaruh oleh sifat dari umur tanaman tersebut. Umur genjah tanpa dibarengi oleh gen ketahanan tidak akan dapat menyebabkan tanaman dapat lolos dari serangan tungro. Namun umur yang lebih pendek bisa mengurangi peluang tertular virus tungro, karena lama tanaman berada di fase rentan dan menjadi sumber inokulum menjadi lebih singkat, karena pendeknya masa vegetatif tanaman. Terdapat hubungan yang kompleks antara sifat varietas genjah/ultra genjah dengan kerentanan terhadap penyakit tungro serta penerapan manajemen pertanaman yang tepat dalam mengurangi risiko infeksi. Penelitian menunjukkan bahwa ketahanan varietas terhadap penyakit, termasuk tungro, sangat tergantung pada faktor genetik dan interaksi dengan vektor (Khaerana, *et al.*, 2023). Varietas genjah, seperti yang dihasilkan dari modifikasi genetik, dapat menginduksi ketahanan yang lebih baik terhadap infeksi virus melalui peningkatan mekanisme intraseluler (Macovei *et al.*, 2018).

Varietas Inpari 36 dan 37 secara konsisten menunjukkan kinerja yang lebih baik di berbagai indikator, menunjukkan biomassa yang lebih tinggi, dan hasil panen yang lebih unggul dibandingkan varietas lain. Temuan ini mengonfirmasi bukti sebelumnya tentang mekanisme ketahanan varietas yang membatasi replikasi virus dan mendukung stabilitas fisiologis di bawah tekanan biotik (Shim *et al.*, 2015; Hinge *et al.*, 2021).

Infeksi tungro memberikan dampak pada pertumbuhan dan produksi padi dengan mengganggu sistem agronomi utama. Besarnya dampak ini bervariasi tergantung pada genotipe dan faktor lingkungan seperti curah hujan dan aktivitas vektor. Oleh karena itu, identifikasi dan pengembangan varietas tahan yang berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi kehilangan hasil dan meningkatkan keberlanjutan produksi padi di wilayah endemis tungro.

Identifikasi varietas tahan, sangat penting untuk manajemen penyakit tungro yang berkelanjutan. Strategi berbasis ketahanan tidak hanya mengurangi kebutuhan akan pengendalian kimia tetapi juga mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan (Praptana *et al.*, 2023). Penerapan kultivar tahan dapat secara signifikan mengurangi kehilangan hasil di wilayah endemik, yang berkontribusi pada ketahanan pangan regional (Ruimassa *et al.*, 2023). Lebih lanjut, varietas tahan menyediakan materi genetik yang berharga untuk program pemuliaan, memfasilitasi penggabungan sifat-sifat ketahanan melalui teknologi pemuliaan modern seperti seleksi penanda dan penyuntingan gen CRISPR/Cas9 (Macovei *et al.*, 2018).

Studi ini menekankan perlunya memadukan diagnosis molekuler dan evaluasi agronomi untuk mengelola penyakit tungro dengan lebih baik. Deteksi berbasis PCR menawarkan cara yang cepat dan akurat untuk mengidentifikasi infeksi sebelum gejala muncul, sehingga memungkinkan tindakan pengendalian yang tepat waktu (Abbas *et al.*, 2020). Ketika dikombinasikan dengan penilaian agronomi berbasis lapangan, hasil molekuler dapat memungkinkan karakterisasi ketahanan varietas yang lebih presisi dan menginformasikan strategi pengelolaan spesifik suatu wilayah (Saito *et al.*, 2019).

Pengelolaan jadwal tanam yang tepat dan teknik budidaya yang baik sangat penting untuk mengurangi insiden penyakit tungro. Pemilihan waktu tanam yang tepat dapat meminimalkan risiko infeksi ketika populasi wereng hijau rendah. Dinyatakan bahwa tanaman padi memiliki tingkat kerentanan yang bervariasi tergantung usia tanaman, di mana ketahanan terhadap serangan hama dan penyakit cenderung meningkat seiring bertambahnya usia (Rapusas & Heinrichs, 1987).

Integrasi praktik pengendalian hama terpadu yang melibatkan penggunaan varietas tahan, pengelolaan musuh alami, dan penanaman varietas secara bersamaan di lahan yang berbeda telah terbukti efektif dalam menekan populasi wereng hijau dan, sebagai akibatnya, mengurangi tingkat infeksi tungro (Praptana & Senoaji, 2017). Penggunaan varietas yang memiliki gen ketahanan

yang berumur genjah dan ultra genjah dapat direkomendasikan untuk memperpendek masa kritis infeksi serta mencegah penurunan hasil akibat penyakit tungro.

## 2.5 Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penyakit tungro, yang disebabkan oleh infeksi gabungan *Rice Tungro Bacilliform Virus* (RTBV) dan *Rice Tungro Spherical Virus* (RTSV), memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap sifat agronomi dan produksi padi. Analisis statistik mengkonfirmasi bahwa infeksi tungro secara substansial mengurangi tinggi tanaman, jumlah anakan, panjang malai, persentase gabah berisi, biomassa akar, dan total hasil gabah. Di antara enam varietas yang diuji, Inpari 37 menunjukkan ketahanan yang kuat, tidak menunjukkan infeksi yang terdeteksi PCR, dan mempertahankan kinerja hasil yang stabil di bawah tekanan tungro. Sebaliknya, TN1, Inpari 13, Inpari 30, M70D, dan Inpari 36 menunjukkan hasil positif terdeteksi RTBV. Penelitian ini menyoroti peran sinergis infeksi virus yang mengakibatkan pertumbuhan terhambat dan kehilangan hasil pada varietas rentan.

Varietas genjah dan ultra genjah dapat menjadi solusi untuk memperpendek masa kritis infeksi virus, asalkan memiliki gen ketahanan. Temuan ini memberikan informasi bagi program pemuliaan padi yang berfokus pada pengembangan varietas tahan tungro dan berkontribusi pada strategi pengelolaan penyakit yang lebih baik.

## 2.6 Daftar Pustaka

- Abbas, S., Sri Sulandari, Hartono, S., & Trisyono, Y. A. (2020). Molecular Detections and Resistance Response of Six Rice Varieties to Tungroviruses from South Sulawesi. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 24(1), 89–97. <https://doi.org/10.22146/jpti.47355>
- Abbas, S., Sulandari, S., Hartono, S., Daud, I. D., Djaya, E., & Jumardin, J. (2023). Molecular Detection of Five Mixed Rice Viruses by Reverse Transcription-Polymerase Chain Reaction (Rt-Pcr). *Pakistan Journal of Phytopathology*, 35(1), 25–34. <https://doi.org/10.33866/phytopathol.035.01.0793>
- Alazem, M., & Lin, N. (2014). Roles of Plant Hormones in the Regulation of Host–virus Interactions. *Molecular Plant Pathology*, 16(5), 529–540. <https://doi.org/10.1111/mpp.12204>
- Amelia, R., Anggriani, N., Supriatna, A. K., & Istifadah, N. (2022). Mathematical Model for Analyzing the Dynamics of Tungro Virus Disease in Rice: A Systematic Literature Review. *Mathematics*, 10(16), 2944. <https://doi.org/10.3390/math10162944>
- Amelia, R., Anggriani, N., Supriatna, A. K., & Istifadah, N. (2024). Dynamic

- Analysis and Optimal Control of the Spread of Tungro Virus Disease in Rice Plants Considering Refugia Planting and Pesticide Application. *Mathematics*, 12(24), 3979. <https://doi.org/10.3390/math12243979>
- Anand, A., Pinninti, M., Tripathi, A., Mangrauthia, S. K., & Sanan-Mishra, N. (2022). Coordinated Action of RTBV and RTSV Proteins Suppress Host RNA Silencing Machinery. *Microorganisms*, 10(2), 197. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020197>
- Azzam, Osmat, & Chancellor, T. C. B. (2002). The biology, epidemiology, and management of rice tungro disease in Asia. *Plant Disease*, 86(2), 88–100.
- Bhusal, K., GC, S., & Bhattarai, K. (2019). A Review of Rice Tungro Virus in Nepal. *Journal of Plant Sciences and Crop Protection*, 2(1), 1–5.
- Bunawan, H., Dusik, L., Bunawan, S. N., & Amin, N. M. (2014). Rice tungro disease: From identification to disease control. *World Applied Sciences Journal*, 31(6), 1221–1226. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2014.31.06.610>
- Chong, J., Yee, S. F., & Eng, L. (2015). Rice Tungro Disease in Sarawak: Past and Present Status. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 18(6), 285–289. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2015.285.289>
- Dierck, R., Keyser, E. D., Riek, J. D., Dhooghe, E., Huylenbroeck, J. V., Prinsen, E., & Straeten, D. V. D. (2016). Change in Auxin and Cytokinin Levels Coincides With Altered Expression of Branching Genes During Axillary Bud Outgrowth in Chrysanthemum. *Plos One*, 11(8), e0161732. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0161732>
- Doyle, J. (1991). DNA protocols for plants. In *Molecular techniques in taxonomy* (pp. 283–293). Springer.
- Estiati, A., Astuti, D., Widyajayantie, D., & Nugroho, S. (2020). Stable inheritance of RF2a transgene integration in transgenic IR64 rice plants and evaluation of their tolerance against Rice tungro virus. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 468(1), 12050.
- Firmansyah, Khaerana, & Sidik, E. A. (2023). Hubungan Skor Penyakit Tungro terhadap Kehilangan Komponen Hasil Padi. *Agrosainstek*, 7(1), 17–24.
- Gogoi, M., Kumar, V., Begum, S. A., Sharma, N., & Kant, S. (2023). Classification and Detection of Rice Diseases Using a 3-Stage CNN Architecture With Transfer Learning Approach. *Agriculture*, 13(8), 1505. <https://doi.org/10.3390/agriculture13081505>
- Hasanuddin, A. (2008). Perbaikan ketahanan varietas padi terhadap penyakit tungro. *Ippek Tanaman Pangan*, 3(2), 215–228.
- Hinge, V. R., Chavhan, R. L., Kale, S. P., Suprasanna, P., & Kadam, U. S. (2021). Engineering resistance against viruses in field crops using CRISPRCas9. *Current Genomics*, 22(3), 214–231.

- Ibrahim, E., Rosida, N., Khaerana, & Haiqal, M. (2023). Growth and Result Performance of 10 Promising Resistant Lines of Tungro Disease in Lanrang South Sulawesi. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1230(1), 12132. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1230/1/012132>
- Jones, R. A. C. (2014). Plant virus ecology and epidemiology: historical perspectives, recent progress and future prospects. *Annals of Applied Biology*, 164(3), 320–347.
- Kant, R., & Dasgupta, I. (2017). Phenotyping of VIGS-mediated gene silencing in rice using a vector derived from a DNA virus. *Plant Cell Reports*, 36(7), 1159–1170.
- Khaerana, K., Widiarta, I. N., Gunawan, A., & Muazzam, A. (2023). *Salibu rice cultivation in tungro endemis region*.
- Khaerana, Rosida, N., & Komalasari, E. (2023). Ketahanan 50 Galur Harapan Padi terhadap Penyakit Tungro. *Jurnal AGRO*, 10(1), 30–44.
- Khatun, M. T., Latif, A., Rahman, M. M., Hossain, M. A., Ansari, T. H., Nessa, B., Khan, M. A. I., Ali, M. A., & Hanafi, M. (2018). Recovering Ability of Upland and Rainfed Lowland Rice Varieties Against Rice Tungro Disease. *Bangladesh Rice Journal*, 21(1), 91–100. <https://doi.org/10.3329/brj.v21i1.37390>
- Khoshnami, M., Zare, B., Mardani-Mehrabad, H., Rakhshandehroo, F., Bagheri, M. A., & Malboobi, M. A. (2023). Assessment of Co-Infection With BNYSV and BSCTV on Resistance Against Rhizomania Disease in Transgenic Sugar Beet Plants. *Transgenic Research*, 32(5), 475–485. <https://doi.org/10.1007/s11248-023-00364-8>
- Komalasari, E., Widiyanti, F., Sari, S., & Carsono, N. (2019). AGROSAINSTEK Karakterisasi Karakter Fisiologi Genotipe - Genotipe F 2 Padi Ketan dengan Kemampuan Recovery Setelah Infeksi Tungro Characterization of Physiological Traits of F2 Glutinous Rice Genotypes with Recovery Ability After Tungro Infection. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 3(2), 59–64.
- Macovei, A., Sevilla, N. R., Cantos, C., Jonson, G., Slamet-Loedin, I. H., Čermák, T., Voytas, D. F., Choi, I., & Chadha-Mohanty, P. (2018). Novel Alleles of Rice *OsEIF4G* Generated by CRISPR/Cas9-targeted Mutagenesis Confer Resistance to Rice Tungro Spherical Virus. *Plant Biotechnology Journal*, 16(11), 1918–1927. <https://doi.org/10.1111/pbi.12927>
- Mohamed, N. A., Ngah, N. M. F. N. C., Abas, A., Talip, N., Sarian, M. N., Hamezah, H. S., Harun, S., & Bunawan, H. (2023). Candidate miRNAs From *Oryza Sativa* for Silencing the Rice Tungro Viruses. *Agriculture*, 13(3), 651. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030651>
- Nithya, S., Kumam, Y., Varanavasiappan, S., Kumar, K. K., Muthamilan, M., & Sudhakar, D. (2020). Targeted mutation in *OsEIF4G* gene in rice. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 11(04), 1194–1199.