BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Padi (*Oryza sativa* L.) merupakan pangan utama di sebagian besar penduduk di dunia, terutama di Indonesia. Beras berperan penting dalam menyediakan karbohidrat berupa pati dengan komposisi 80-85%, protein, mineral serta nutrisi esensial bagi manusia (Zaghum et al., 2022). Sakir et al. (2024), menyatakan bahwa 95% dari penduduk Indonesia rutin mengonsumsi beras. Tingkat konsumsi beras penduduk Indonesia 1,6 kg per minggu (BPS, 2022). Jumlah konsumsi beras merupakan yang tertinggi dibandingkan dengan makanan pokok lainnya seperti jagung, sagu dan singkong. Produksi padi di Indonesia pada tahun 2023 mencapai 53,62 juta ton.ha^{-1} dengan total produktivitas sebesar 52,59 ton.ha^{-1}. Angka tersebut menunjukkan adanya penurunan produksi sebesar 1,12%, dibandingkan dengan tahun sebelumnya di tahun 2022 yang mampu menghasilkan 54,74 ton.ha^{-1} dengan produktivitas 52,38 ton.ha^{-1}. Di sisi lain peningkatan jumlah penduduk tiap tahunnya, menjadi ancaman bagi produksi padi dalam negeri. Penduduk Indonesia diproyeksikan akan mencapai 305.6 juta jiwa di tahun 2035 dari semula 238.5 juta jiwa di tahun 2010 (BPS, 2013). Pemerintah Indonesia telah melakukan impor beras untuk mengantisipasi ketidakcukupan pangan. Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (2022), Indonesia telah melakukan impor sebanyak 429,207 ton.ha^{-1} beras di tahun 2022, angka impor ini meningkat sebesar 5,26% dibandingkan pada tahun 2021 sebesar 407,741 ton.ha^{-1}. Peningkatan jumlah penduduk berdampak pada permintaan beras yang meningkat, sehingga usaha peningkatan produksi padi merupakan hal krusial (Rahim et al., 2024). Namun usaha pemenuhan konsumsi beras masyarakat menghadapi berbagai macam tantangan, terutama terkait perubahan Iklim.

Perubahan iklim mempengaruhi peningkatan suhu global, musim hujan; kemarau tidak menentu serta kejadian cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir (Rajakaruna et al., 2024). Fenomena tersebut mengganggu keseimbangan produksi pertanian akibat dari pola hujan tidak menentu yang berdampak pada penurunan produktivitas pada lahan-lahan pertanian (Sulaminingsih et al., 2024). Beberapa kejadian yang umumnya ditemui saat ini seperti seperti kecenderungan musim hujan yang semakin pendek dan fluktuasi curah hujan, menyebabkan perubahan musim tanam, luas areal tanam dan pola tanam pada beberapa daerah di Indonesia (Balitbang Pertanian, 2011). Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan perubahan iklim berdampak pada waktu tanam padi yang tertunda disebabkan oleh kemarau berkepanjangan (Caruso et al., 2016). Varietas padi yang umumnya ditanam berumur >125-150 hari, sehingga kurang efektif untuk ditanam pada masa perubahan iklim yang tidak menentu (Achyadi et al., 2019). Hal tersebut akan berdampak pada ketidakseimbangan produksi. Oleh sebab itu permasalahan perubahan iklim pada tanaman padi, krusial untuk diselesaikan, salah satunya melalui penggunaan varietas padi yang berumur genjah (Dey et al., 2023).

Padi berumur genjah memiliki karakteristik unggul yaitu siklus pertumbuhan padi yang lebih pendek, sehingga masa tanamnya lebih singkat. Varietas padi yang berumur pendek akan mengurangi risiko kegagalan tanam/panen akibat perubahan iklim. Musa et al. (2024), melaporkan bahwa varietas padi genjah mampu meningkatkan produktivitas hingga mencapai 56%. Namun demikian, penggunaan varietas genjah memerlukan pergiliran varietas agar tidak terjadi penurunan produksi akibat penggunaan varietas yang sama secara terus menerus. Varietas padi genjah yang umumnya ditanam yaitu Inpari 13 dan Cakrabuana. Varietas Inpari 13 dan Cakrabuana mampu memberikan potensi hasil yang cukup tinggi serta dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim (Musa et al., 2024).

Pengembangan varietas padi berumur genjah yang adaptif perubahan iklim masih menuai tantangan terkait stabilitas varietas genjah di berbagai lingkungan, sehingga memerlukan pendekatan multidisiplin (Xiong et al., 2022). Upaya pengembangan varietas adaptif perubahan iklim dilakukan melalui evaluasi varietas di berbagai lokasi percobaan. Namun upaya tersebut masih sangat terbatas untuk melakukan eksplorasi lebih lanjut untuk beberapa kombinasi lingkungan dan varietas. Selain itu eksperimen konvensional di lapangan pada berbagai musim tanam dan lokasi, umumnya memerlukan biaya tinggi dan sangat memerlukan waktu yang cukup lama (Radanielson et al., 2018). Solusi terhadap permasalahan biaya dan waktu yang dihadapkan pada percobaan konvensional dapat diselesaikan dengan memanfaatkan pemodelan tanaman (Arouna et al., 2023; Gaydon et al., 2017).

Pemodelan (*modelling*) merupakan suatu metode yang saat ini telah banyak digunakan dalam pertanian modern untuk menyederhanakan sistem dengan pendekatan mekanistik yang dapat menggambarkan suatu proses empiris secara sistematis. Pemodelan tanaman mampu memproyeksikan pertumbuhan tanaman melalui eksperimen virtual dengan memasukkan input parameter yang diperlukan (Yu *et al.,* 2023). Selain menyederhanakan proses penelitian, pemodelan dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan produktivitas tanaman dengan menghemat waktu dan biaya secara efektif dan efisien. Beberapa model yang telah dikembangkan dan sampai saat ini sering digunakan untuk pemodelan tanaman padi seperti CERES-rice, DNDC-rice, RiceGrow, APSIM-Oryza, Oryza-2000 serta modifikasi terbarunya Oryza (v3). Model yang umumnya digunakan untuk padi adalah Oryza (v3) (Nurulhuda et al., 2022).

Oryza (v3) merupakan model terbaru yang dikembangkan dari model-model sebelumnya, penggunaan model ini dapat memprediksi potensi produksi padi yang akan dihasilkan dengan memasukkan beberapa parameter yang diperlukan. Penambahan fitur manajemen irigasi, dan manajemen pemupukan menjadikan model Oryza (v3) lebih akurat dibandingkan dengan model Oryza sebelumnya. Model simulasi pertumbuhan tanaman memerlukan banyak parameter, umumnya parameter yang diperlukan berupa parameter tanah, iklim, irigasi serta varietas yang digunakan dalam eksperimen (Li et al., 2017). Sumber data yang dimiliki oleh model Oryza (v3) belum mencakup varietas yang adaptif perubahan iklim seperti varietas

Cakrabuana dan Inpari 13. Sehingga memerlukan pengembangan lebih lanjut untuk menyediakan data yang mencakup kedua varietas tersebut.

Pembentukan model varietas padi genjah untuk Oryza (v3), dilakukan melalui tahap kalibrasi dan validasi. Hal ini bertujuan agar mendapatkan nilai yang sesuai dengan tujuan model. Beberapa penelitian di Dunia menggunakan Model Oryza pada beberapa managemen nitrogen, varietas, umur semai, temperatur dan irigasi telah banyak dilakukan (Yuan et al., 2017). Namun, penggunaan model Oryza (v3) dengan parameter *Leaf Area Index* (LAI) dan biomassa organ tanaman pada berbagai fase fenologi padi, penelitian pemodelan pada tanaman padi yang dilakukan di Indonesia menggunakan model ORYZA (v3) dengan parameter *Leaf Area Index* (LAI) dan biomassa organ tanaman dalam fase pertumbuhan padi yang berbeda masih sedikit dilakukan. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Agustiani et al. (2018), menggunakan model ORYZA untuk memprediksi pertumbuhan dan produksi tanaman padi namun masih terbatas pada varietas lama dan data yang belum diperbarui. Maka dari itu diperlukan pengembangan model ORYZA (v3) berbasis varietas padi berumur genjah dalam pemodelan tanaman.

Sebelum dilakukan analisis pertumbuhan tanaman menggunakan software ORYZA (v3), perlu dilakukan kalibrasi dan validasi. Kalibrasi diperlukan untuk menyempurnakan parameter input model dan memperoleh sejumlah parameter pengamatan. Input agrometeorologi, sifat fisik dan kimia tanah, agronomi serta pemuliaan tanaman yang berfungsi sebagai input data dalam kalibrasi model. Evaluasi performa model simulasi tanaman dilakukan untuk menilai ketepatannya sebagai alat penelitian serta dukungan dalam pengambilan keputusan (Gonzalez et al., 2021). Kalibrasi model ORYZA (v3) varietas padi genjah sebelumnya telah dilakukan pada penelitian terdahulu, pada bulan Desember 2023 - Maret 2024 di Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, Desa Maradekayya. Selanjutnya validasi menjadi hal penting disebabkan perbedaan parameter lingkungan seperti iklim, irigasi dan sifat tanah yang berbeda pada setiap lahan. Validasi merupakan suatu tahapan, di mana kinerja model yang telah dikalibrasi kemudian dievaluasi dengan melakukan perbandingan antara hasil simulasi dengan data hasil observasi di lapangan.

Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan validasi terhadap model ORYZA (v3) untuk tanaman padi varietas genjah berupa Cakrabuana dan Inpari 13. Hasil validasi yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk mengoptimalisasi budidaya padi varietas genjah di masa perubahan Iklim.

1.2. Landasan Teori

Pemodelan tanaman didefinisikan sebagai serangkaian model formulasi matematika yang mampu mendeskripsikan secara kuantitatif perkembangan fisiologis tanaman serta produksi tanaman. Hasil yang diperoleh merupakan prediksi dari input diberikan dengan mempertimbangkan pengaruh interaksi antara genotipe, lingkungan dan manajemen pertanian (Jin et al., 2018). Saat ini terdapat sejumlah model yang menggunakan variabel input berbeda untuk tujuan tertentu, seperti APSIM, DSSAT, WOFOST, STICS, EPIC dan AquaCrop model. Setiap model tersebut memiliki landasan prinsip dan formulasi matematik yang berbeda (Zhou et al., 2019). Salah satu model yang digunakan untuk tanaman padi yaitu ORYZA (v3).

Model tersebut merupakan kombinasi dari model terdahulu ORYZA_W, ORYZA1 dan ORYZA_N (Bouman and Larr, 2006).

ORYZA (v3) merupakan software pemodelan tanaman yang disebarluaskan sejak tahun 2017. Software ini dikembangkan oleh IRRI (International Rice Research Institute) bekerjasama dengan Wageningen University and Research Centre. ORYZA mampu menyimulasikan hasil dan pertumbuhan padi sehingga dapat menghemat biaya dan waktu dalam melakukan penelitian lapangan (Hameed et al., 2019). ORYZA (v3) merupakan adaptasi terbaru yang dapat memprediksi potensi produksi padi dengan memasukkan input biomassa. Salah satu pengembangan yang dilakukan pada versi terbaru adalah adanya manajemen irigasi dan nitrogen sebagai input masukan terbaru, sehingga mampu meningkatkan akurasi prediksi potensi produksi padi pada berbagai kondisi irigasi dan nitrogen (Espe et al., 2016; Sudhir et al., 2011; Boling et al., 2010). Penggunaan model ORYZA (v3) sangat krusial pada era pertanian modern. Kemampuan untuk mendeskripsikan hubungan antara pertumbuhan tanaman, faktor klimatologi, tanah serta faktor lingkungan lainnya akan sangat membantu dalam pengambilan keputusan (Julia dan Dingkuhn, 2013; Soundharajan dan Sudheer, 2013).

Varietas yang krusial untuk dikembangkan dan didukung dengan konsep pemodelan adalah varietas padi genjah yang memiliki ketahanan terhadap perubahan iklim. Beberapa varietas padi genjah seperti Cakrabuana dan Inpari 13. Cakrabuana adalah jenis padi unggul yang dikembangkan dari varietas Inpari 13. Proses pengembangannya melalui teknik khusus, yaitu diradiasi dengan sinar gamma. Perlakuan ini dilakukan untuk memunculkan sifat-sifat baru yang lebih baik pada padi. Padi Cakrabuana memiliki umur yang relatif pendek, berumur 104 hari dari masa tanam hingga panen. Varietas Cakrabuana tumbuh tegak dengan tinggi 105 cm. Rata-rata hasil panennya mencapai 7,5 ton per hektar (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2021).

Inpari 13 adalah jenis padi unggul yang dikembangkan dari perpaduan dua varietas, yaitu OM606 dan IR18348-36-3-3. Padi ini berumur pendek, hanya sekitar 103 hari dari masa tanam hingga panen. Tanamannya kuat dan tegak, dengan daun yang agak kasar dan juga tumbuh tegak. Kualitas beras Inpari 13 cukup baik, memiliki kandungan amilosa sekitar 22,4%. Ini artinya, berasnya tidak terlalu lembek ketika dimasak. Produksi Inpari 13 juga tergolong tinggi, rata-rata bisa mencapai 6,59 ton per hektar, bahkan bisa lebih jika kondisi lingkungan sangat mendukung. Potensi maksimalnya bisa mencapai 8 ton per hektar (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2021).

1.3. Hipotesis

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan hipotesis yakni sebagai berikut:

1. Terdapat tingkat validitas yang tinggi pada model ORYZA (v3) dalam memprediksi pertumbuhan dan produksi padi varietas Cakrabuana dan Inpari 13, yang ditunjukkan oleh nilai uji kesesuaian relatif model yang sesuai kriteria.
2. Terdapat perbedaan nilai uji kesesuaian relatif model (RMSEn, NSE, PBIAS dan MAPE) pada varietas Cakrabuana dan Inpari 13.

1.4. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk:

1. Mengetahui tingkat validitas data produksi pertanaman padi dengan membandingkan hasil observasi di lapangan dengan hasil simulasi menggunakan Software ORYZA (v3).
2. Membandingkan hasil validasi uji kesesuaian relatif model (RMSEn, NSE, Pbias dan MAPE) pada varietas Cakrabuana dan Inpari 13.

Manfaat dilakukannya penelitian ini menjadi bahan bacaan dan pembelajaran bagi mahasiswa yang hendak melakukan penelitian pemodelan tanaman menggunakan Software ORYZA (v3).

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Desa Maradekayya, Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, pada titik koordinat 5°16'31.8" LS 119°26'25.5" BT. Pelaksanaan penelitian ini dimulai dari 2 Mei – 21 Juli 2024. Kalibrasi model telah dilakukan pada bulan Desember 2023 - Maret 2024.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah data iklim yang diperoleh dari Stasiun *Automatic Weather Station* (AWS) di lokasi penelitian, data analisis hidraulik tanah, data *leaf area index* (LAI), amplop, karung, data biomassa serta fenologi padi varietas Cakrabuana dan Inpari 13 yang diperoleh dari penelitian di lahan pertanian yang akan diobservasi.

Alat-alat yang digunakan adalah sabit, karung, *soil ring sampler,* sekop, oven, timbangan analitik, laptop yang sudah terpasang Software ORYZA (v3), Oryza Analysis Tool (v4.2), Soilhydrau.exe dan *smartphone* Android yang terpasang aplikasi PocketLAI.

2.3. Metode Penelitian

Penelitian pada lahan yang akan diobservasi menggunakan rancangan petak-petak terpisah (RPPT) tersarang. Petak utama (PU) pada penelitian ini adalah faktor irigasi (I) yang tersarang pada ulangan, terdiri atas dua sistem yaitu sistem irigasi CF (*Continuous Flooding*) (i0) dan sistem irigasi AWD (*Alternate Wetting and Drying*) (i1). Anak petak (AP) adalah dosis nitrogen (N) yang terdiri atas 3 taraf yaitu tanpa nitrogen (n0), 90 $kg.ha^{-1}$ (n1) dan 180 $kg.ha^{-1}$ (n2). Anak-anak petak (AAP) adalah varietas padi genjah (V), yang terdiri atas 2 taraf yaitu Cakrabuana (v1) dan Inpari 13 (v2). sehingga terdapat 36 plot yang akan diobservasi. Penelitian berfokus untuk memperoleh data biomassa untuk validasi model dengan membandingkan hasil observasi dan simulasi biomassa pada kedua varietas genjah. Efek perlakuan terhadap varietas dalam hal ini tidak menjadi tujuan penelitian.

Sistem irigasi AWD yang diterapkan mengikuti pedoman dari *International Rice Research Institute* (IRRI). Pada metode ini, lahan sawah digenangi air dengan ketinggian 3-5 cm selama fase vegetatif hingga generatif tanaman. Penggenangan kembali dilakukan ketika muka air tanah mencapai kedalaman 15 cm di bawah permukaan tanah. Selanjutnya, air pada lahan secara perlahan dikuras mulai dua pekan sebelum waktu panen. (IRRI, 2016).

2.4. Pelaksanaan Penelitian

2.4.1 Penyusunan Plot untuk Pengambilan Sampel Biomassa

Penyusunan setiap plot satuan percobaan didesain sesuai dengan rekomendasi protokol IRRI. Protokol tersebut memiliki plot yang disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman dalam pengambilan sampel biomassa. Secara umum, terdapat beberapa fase kritikal dalam pengambilan sampel padi, yakni 17 DAT, *Pinnacle initiation*, *Flowering*, *Grain filling* dan *Physiological maturity*.

2.4.2 Menyiapkan Input Data untuk Software ORYZA (v3)

Validasi model ORYZA (v3) membutuhkan empat data masukan (input) meliputi:

a. *Climate Data*

Pengumpulan data iklim harian meliputi curah hujan (mm), raidasi matahari, suhu maksimum (ºC), suhu minimum (ºC) dan kecepatan angin (m/s). Data diperoleh dari Stasiun *Automatic Weather Station* (AWS) di lokasi penelitian.

b. *Soil Data*

Pengambilan sampel tanah dilakukan di lokasi penelitian dengan mengambil 4 sampel tanah pada empat titik pada kedalaman yang berbeda. Sampel tanah kemudian dianalisis untuk memperoleh hasil analisis hidraulik tanah.

c. *Crop Data*

Data tanaman meliputi varietas tanaman ORYZA (v3) dan diperoleh dengan observasi dan pengambilan sampel di lokasi penelitian. Pengumpulan data tanaman padi Cakrabuana dan Inpari 13 meliputi fenologi, biomassa dan LAI.

Tabel 1. Parameter Input Data Fenologi untuk Software ORYZA (v3).

Variety	*(Variety name)*
PRODENV	*(Production environment)*
IYEAR	*(Sowing year)*
STTIME	*(Sowing day)*
ESTAB	*(Method of establishment)*
EMD	*(Emergence data)*
EMYR	*(Year of emergence*
SBDUR	*(Seed-bed duration)*
IDOYTR	*(Transplanting day)*
IYRTR	*(Transplanting year)*
IDOYPI	*(Panicle Initiation)*
IYRPI	*(Year of panicle initiation)*
IDOYFL	*(Year of flowering)*
IDOYM	*(Day of maturity)*
IYRM	*(Year of maturity)*

Tabel 2. Parameter Input Data Biomassa untuk Software ORYZA (v3).

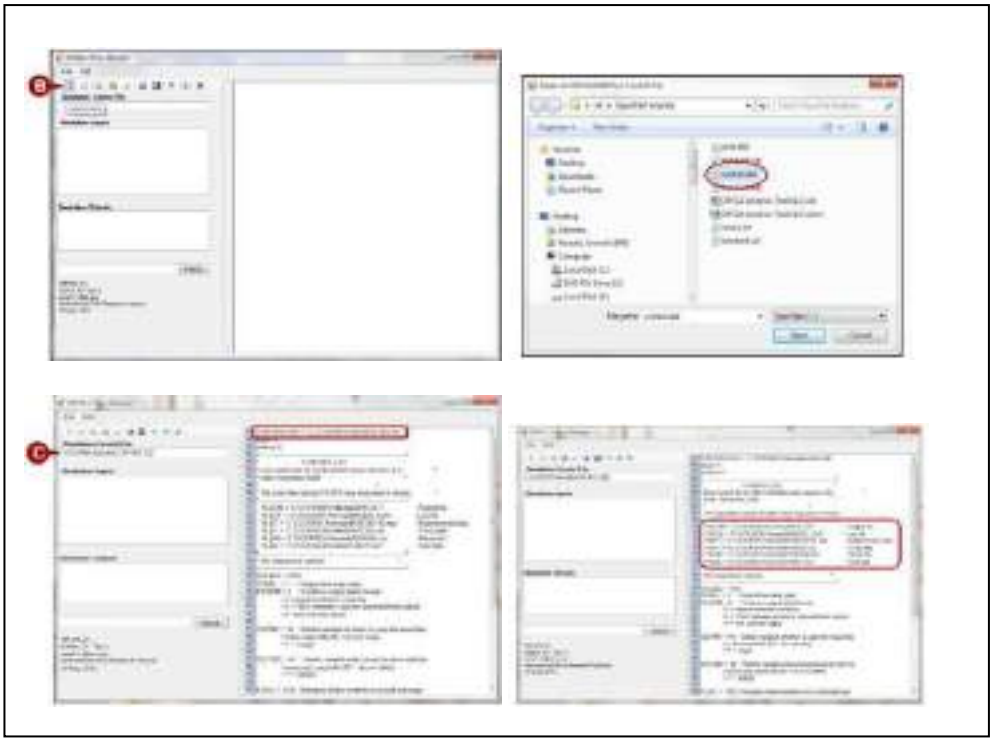
WST (*Weight stem total*) kg.ha^{-1}
WLVG (*Weight leaves green*) kg.ha^{-1}
WLVD (*Weight leaves dead*) kg.ha^{-1}
WSO (*Weight storage organ*) kg.ha^{-1}

d. *Experiment Data*

Data manajemen tanaman dikumpulkan untuk dua varietas padi genjah yaitu Cakrabuana dan Inpari 13. Data yang dikumpulkan, khususnya manajemen pemupukan dan irigasi yang diperoleh dengan observasi. Pemupukan yang dilakukan adalah dengan pemberian dosis nitrogen (N) yang terdiri atas 3 taraf, yaitu 0 kg.ha^{-1} (n0), 90 kg.ha^{-1} (n1) dan 180 kg.ha^{-1} (n2) Terdapat dua jenis irigasi yang dilakukan yaitu sistem CF dan sistem AWD.

2.4.3 Validasi Model Varietas Padi Genjah Melalui Software ORYZA (v3)

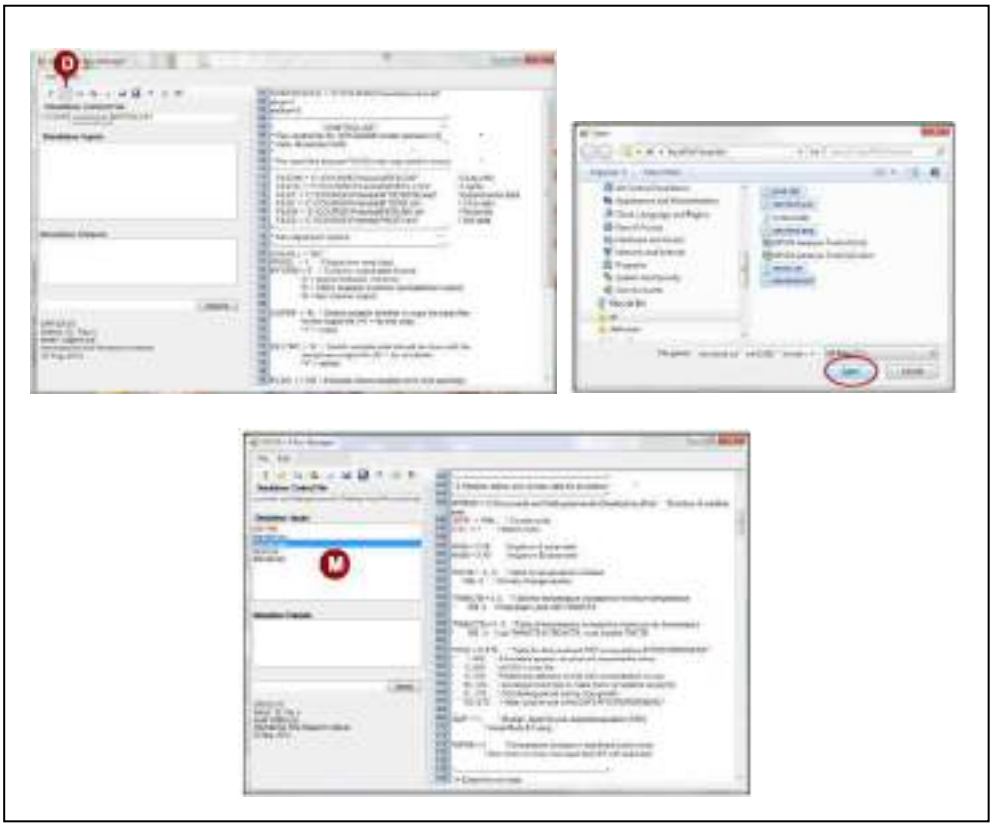
Validasi dilakukan untuk menyesuaikan hasil kalibrasi yang telah dilakukan dengan hasil di lapangan, di Desa Maradekayya, Kecamatan Bajeng, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil observasi dengan simulasi menggunakan Software ORYZA (v3) kemudian lebih lanjut dilakukan analisis indeks kesesuaian dengan uji model digunakan berupa RMSEn, NSE, PBIAS dan MAPE. Berikut prosedur validasi model menggunakan software ORYZA (v3):



Gambar 1. Alur *Load Control File* Menggunakan Software ORYZA (v3).

1. Load Control File

1. Menekan tombol *Load Run Control* (B).
2. Mencari dan memilih file kontrol yang bernama *CONTROL.DAT.*
3. Menekan dua kali pada nama file kontrol untuk memuatnya ke dalam sistem software ORYZA (v3).
4. Menekan kotak teks CONTROL FILE PATH (C), untuk membuka dan isi file control.
5. Melakukan penyesuaian pada file kontrol sesuai dengan lokasi dan nama file input yang sebenarnya.
6. Menyimpan perubahan dengan memilih tombol Save untuk menyimpan pada file yang sama, atau SaveAs untuk menyimpan sebagai file baru.

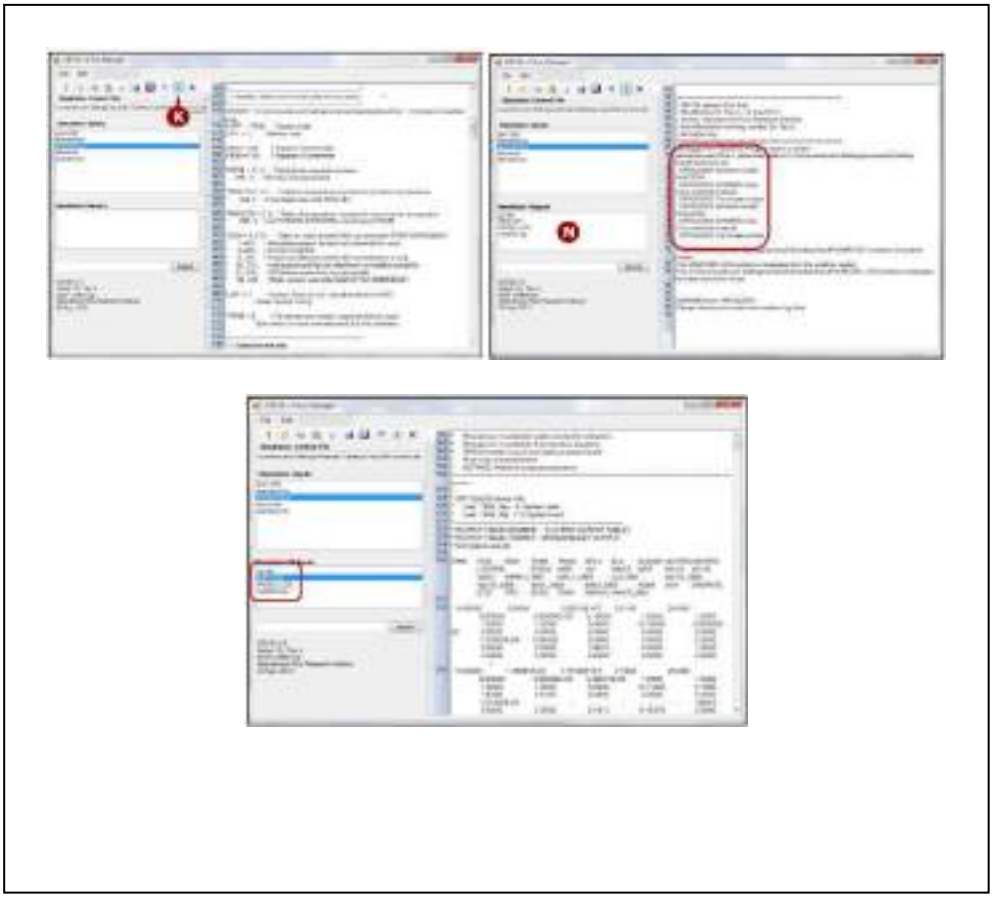


Gambar 2. Alur Load Input File Menggunakan Software ORYZA (v3).

2. Load Input File

1. Menekan tombol Load Inputs (D) pada antarmuka pengguna.
2. Mencari dan memilih file input yang diperlukan, yaitu file Weather, Crop, Weather, dan Soil. Menekan tombol Open untuk memuat file input ke sistem.
3. Menekan nama file pada kotak seleksi INPUT FILE (M), membuka dan meninjau isi file input.

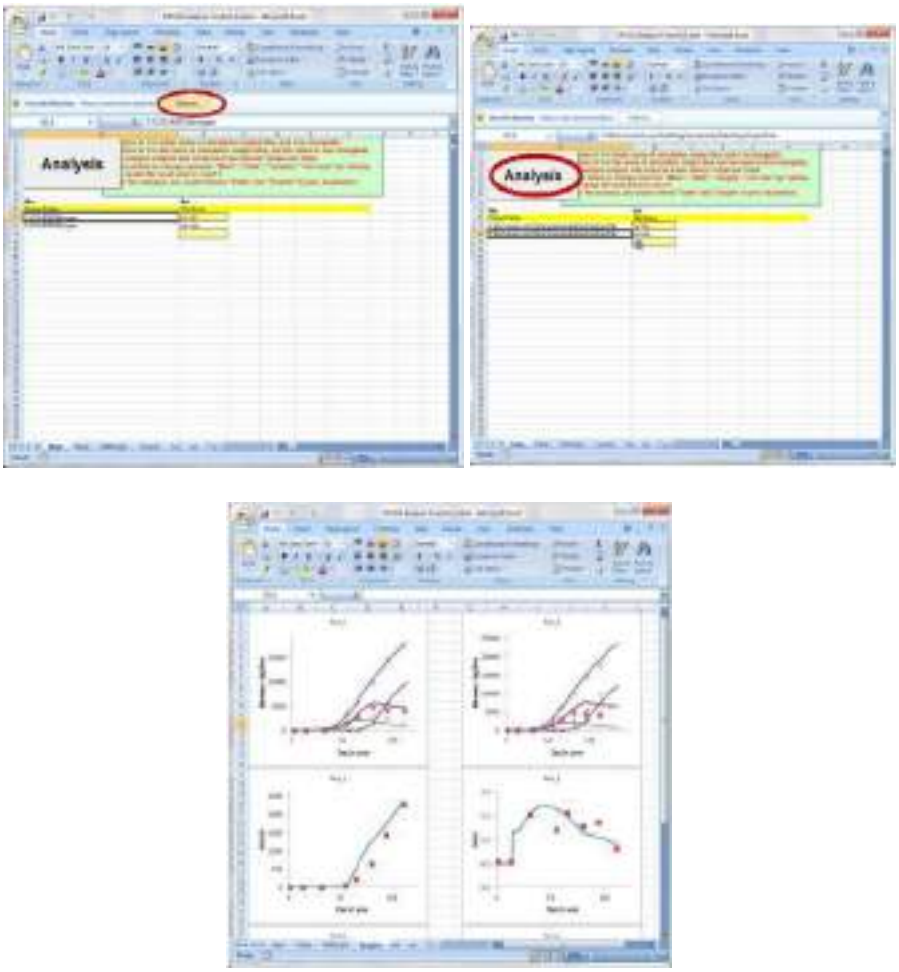
4. Melakukan perubahan pada file input dengan mengedit nilai variabel di dalamnya.
5. Menyimpan perubahan pada file input dengan memilih tombol Save.



Gambar 3. Alur Simulasi Menggunakan Software ORYZA (v3).

3. Proses Simulasi menggunakan Software ORYZA (v3)

1. Memastikan semua file kontrol dan input telah dimuat dengan benar, kemudian lakukan pengecekan ulang terhadap file-file tersebut.
2. Menekan tombol Execute (K) untuk memulai proses simulasi, jika simulasi berhasil dilakukan, sistem akan menampilkan, pesan "ORYZA2000: Initialize model SUCCESS.".
3. File hasil simulasi akan muncul pada kotak seleksi OUTPUT FILE (N). Hasil simulasi mencakup: RES.DAT, yaitu file yang berisi data output harian dari model selama simulasi. OP.DAT, yaitu file yang berisi hasil ringkasan musiman seperti hasil panen akhir, durasi total tanaman, transpirasi musiman, dan evaporasi musiman.
4. Meninjau hasil simulasi, pilih file RES.DAT atau OP.DAT pada kotak seleksi.



Gambar 4. Alur Analisis Kurva Sigmoid Menggunakan Oryza Analysis Tool (v4.2).

4. Menampilkan hasil Simulasi menggunakan Oryza Analysis Tool (v4.2)

1. Membuka Aplikasi Oryza Analysis Tool (v4.2) dan Aktifkan Macro
2. Menekan tombol OPTIONS, lalu pada jendela Security Alert-Macro, centang opsi Enable the content untuk mengaktifkan fitur macro.
3. Mengatur Folder Output Simulasi, buat tautan ke folder output simulasi dengan mengubah direktori folder target yang berisi hasil simulasi.
4. Mulai Proses Analisis, menekan tombol ANALYSIS untuk memulai proses analisis data.
5. Tunggu hingga muncul pesan “Successfully Done!” yang menandakan proses telah selesai dilakukan.

5. Melakukan Validasi Model

1. Hasil simulasi yang didapatkan untuk biomassa batang, daun mati, daun hijau, malai, biomassa total dan indeks luas daun dibandingkan dengan hasil observasi menggunakan uji kesesuaian relatif model yang telah ditetapkan
2. Hasil dari uji kesesuaian relatif model kemudian dinilai sesuai dengan kriteria, lalu dimasukkan kedalam tabel hasil.

2.5. Pengamatan dan Pengukuran

Pengamatan dan pengukuran yang dilakukan meliputi:

1. Pengamatan fase fenologi padi (HST)

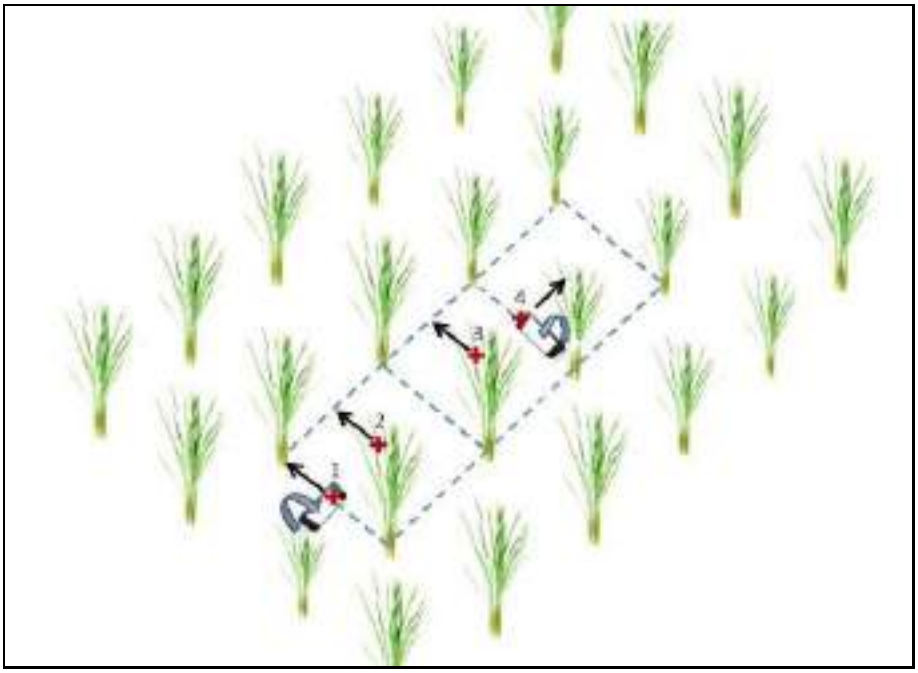
Pengamatan fase fenologi padi dilakukan dengan cara mengamati tiap plot pada fase fenologi padi (17 DAT, *Pinnacle initiation*, *Flowering*, *Grain filling* dan *Physiological maturity*), tanggal pada fase tersebut dicatat sebagai input untuk Software ORYZA (v3).

2. Biomassa (kg.ha^{-1})

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara mengambil sampel biomassa sesuai desain yang telah dibuat. Pengambilan sampel biomassa dilakukan 4 kali pada penelitian ini yaitu 17 DAT, *Pinnacle initiation*, *Flowering*, *Grain filling* dan *Physiological maturity.* Proses pengambilan biomassa dengan memotong pangkal batang padi menggunakan sabit, lalu dimasukkan dalam karung sesuai perlakuan. Selanjutnya dilakukan partisi komponen kedalam empat bagian utama, yakni *Dead leaves, Green leaves*, *Stem* dan *Panicle*. Setelah partisi dilakukan, setiap komponen dimasukkan dalam amplop tahan panas, sampel tersebut dioven selama 3 hari dengan suhu 70 C^{o}, kemudian ditimbang menggunakan timbangan analitik.

3. Pengukuran *Leaf Area Index* (LAI) (m^2/m^2)

Pengukuran LAI dilakukan dengan menggunakan smartphone yang telah terpasang aplikasi PocketLAI. Pengukuran LAI dilakukan 4 kali pada penelitian ini yaitu 17 DAT, *Pinnacle initiation*, *Flowering*, *Grain filling* dan *Physiological maturity.* Metode pengukuran LAI dilakukan sesuai dengan protokol dari Mathieu et al., (2024). Pengukuran LAI melalui beberapa tahapan berikut:



Gambar 5. Posisi Perangkat Smartphone dan Orientasi Kamera Saat Melakukan Pengukuran LAI Menggunakan Pocketlai Untuk Lahan Sawah (Sumber: Mathieu et al., 2024).

1. (*1st Reading*) Posisikan ponsel di antara dua bukit (Gambar 1) dengan kamera menghadap langsung ke salah satu bukit padi. Balikkan ponsel searah jarum jam.
2. (*2nd Reading*) Gerakkan ponsel sedikit di sepanjang ruang di antara rumpun padi sehingga sekarang kamera akan menghadap ke celah/ruang di antara 2 rumpun di sisi yang sama dengan *1st reading* (Gambar 1).
3. (*3rd Reading*) Sama seperti *2nd reading*, tetapi gerakkan ponsel hingga kamera menghadap ke ruang di antara rumpun pada rumpun yang berdekatan (Gambar. 1).
4. (*4th Reading*) Sementara masih di ruang yang sama di antara bukit, putar ponsel 90° sehingga kamera sekarang menghadap ruang di antara bukit yang tegak lurus dengan titik pandang kamera sebelumnya (Gambar. 1).

2.6 Analisis Data

2.6.1 Evaluasi Performa Model

Menurut Husaini et al. (2024); Nurulhuda et al. (2022), terdapat 4 metode yang dapat digunakan untuk mengevaluasi performa suatu model:

1. MSE (*Mean Square Error*)

MSE adalah metode evaluasi lain yang digunakan dalam *data science*. MSE menghitung rata-rata dari selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual. MSE menghitung berapa rata-rata kesalahan kuadrat dalam prediksi. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik kualitas model tersebut.

$$\mathrm{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_t)^2}{n}$$

Keterangan:
n: jumlah sampel dalam data
yi: nilai observasi
ŷt: nilai simulasi

2. RMSEn (*Root Mean Square Error Normalized*)

RMSEn adalah turunan dari RMSE. RMSEn adalah nilai RMSE yang dinormalisasi terhadap rata-rata nilai observasi. Nilai RMSE diperoleh dari selisih kuadrat antara nilai prediksi dan nilai aktual kemudian diambil akar kuadratnya. Semakin kecil nilai RMSEn, semakin baik kualitas model tersebut.

$$\mathrm{RMSEn} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_t)^2}{n}}}{\overline{\mathrm{X}}}$$

Keterangan:
n: jumlah sampel dalam data
yi: nilai observasi
ŷt: nilai simulasi
$\overline{\mathrm{X}}$: rata-rata (mean) nilai observasi

3. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*)

MAPE adalah pengujian akurasi peramalan yang di representasikan dalam bentuk persentase untuk pengukuran. Satu model prediksi memiliki performa yang sangat akurat jika nilai MAPE di bawah 10% dan mempunyai performa yang baik jika nilai MAPE antara 10% dan 20%, nilai MAPE antara 20% dan 50% menunjukkan performa layak dan diatas 50% model memiliki performa yang tidak akurat (Sibagariang et al., 2024).

$$\text{MAPE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n} \left| \frac{(y_i - \hat{y}_t}{x_t} \right|}{n}}$$

Keterangan:
n: jumlah sampel dalam data
yi: nilai observasi
ŷt: nilai simulasi

4. PBias (*Percent Bias*) dan NSE (*Nash-Sutcliffe Efficiency*)

NSE mengukur seberapa baik model mampu memprediksi variabilitas data observasi. PBIAS digunakan untuk mengukur bias sistematis model terhadap data observasi. nilai NSE dan PBIAS digunakan untuk menilai dan memvalidasi keakuratan serta keandalan model dalam mereplikasi hasil observasi. PBIAS = 0 menunjukkan tidak ada bias; ±10% sangat baik; ±10% - ±25% cukup baik; > ±25% signifikan bias. NSE = 1 menunjukkan prediksi sempurna; > 0.75 sangat baik; 0.5 - 0.75 cukup baik; < 0.5 buruk.

$$\text{NSE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_t)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \overline{\text{X}})^2}$$

$$\text{PBIAS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_t)}{\sum_{i=1}^{n} y_i} \text{x } 100\%$$

Keterangan:
n: jumlah sampel dalam data
yi: nilai observasi
ŷt: nilai simulasi
$\overline{\text{X}}$: rata-rata (mean) nilai observasi