

VALIDASI DAN ANALISIS PRODUKSI JAGUNG (*Zea mays*) DI BAWAH  
NAUNGAN KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI DSSAT

MAHMUD SAPUTRA ISHAK

G011191363



DEPARTEMEN BUDIDAYA PERTANIAN  
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN

2023

**SKRIPSI**

VALIDASI DAN ANALISIS PRODUKSI JAGUNG (*Zea mays*) DI BAWAH  
NAUNGAN KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI DSSAT

MAHMUD SAPUTRA ISHAK

G011191363



DEPARTEMEN BUDIDAYA PERTANIAN  
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN

2023

**VALIDASI DAN ANALISIS PRODUKSI JAGUNG (*Zea mays*) DI BAWAH  
NAUNGAN KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI DSSAT**

**MAHMUD SAPUTRA ISHAK**  
**G011191363**

**Skripsi sarjana lengkap**  
**Disusun sebagai salah satu syarat untuk**  
**Memperoleh gelar sarjana**

**Pada**

**Departemen Budidaya Pertanian**  
**Fakultas Pertanian**  
**Universitas Hasanuddin**  
**Makassar**

**Makassar, 16 Oktober 2023**

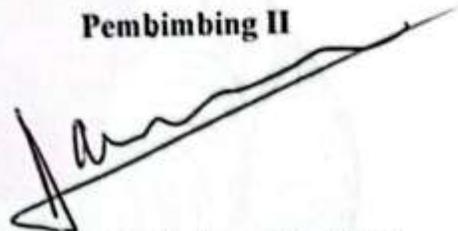
**Menyetujui**

**Pembimbing I**



**Dr. Ir. Abd. Haris B., M.Si.**  
**NIP. 19670811 199403 1 003**

**Pembimbing II**



**Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si.**  
**NIP. 19600512 198903 1 003**

**Mengetahui**

**Ketua Departemen Budidaya Pertanian**



  
**Dr. Ir. Hari Iswoyo, S.P. M.A.**  
**NIP. 19760508 200501 1 003**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**VALIDASI DAN ANALISIS PRODUKSI JAGUNG (*Zea mays*) DI BAWAH  
NAUNGAN KELAPA DENGAN MENGGUNAKAN APLIKASI DSSAT**

**Disusun dan Diajukan oleh**

**MAHMUD SAPUTRA ISHAK**

**G011191363**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Masas Studi Program Sarjana, Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Univeritas Hasanuddin pada Tanggal 9 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

**Menyetujui**

**Pembimbing I**



**Dr. Ir. Abd. Haris B., M.Si.**  
NIP. 19670811 199403 1 003

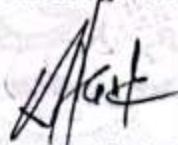
**Pembimbing II**



**Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si.**  
NIP. 19600512 198903 1 003

**Mengetahui**

**Ketua Program Studi**



**Dr. Ir. Abd. Haris B., M.Si.**  
NIP. 19670811 199403 1 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mahmud Saputra Ishak  
NIM : G011191363  
Program Studi : Agroteknologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa tulisan saya yang berjudul “Validasi dan Analisis Produksi Jagung (*Zea mays*) di Bawah Naungan Kelapa dengan Menggunakan Aplikasi DSSAT” Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan karya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya dari orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Oktober 2023

Yang menyatakan



Mahmud Saputra Ishak

## RINGKASAN

**MAHMUD SAPUTRA ISHAK (G011191363).** Validasi dan Analisis Produksi Jagung (*Zea mays*) di Bawah Naungan Kelapa dengan Menggunakan Aplikasi DSSSAT. Dibimbing oleh **ABD. HARIS B.** dan **KAIMUDDIN.**

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah untuk melakukan validasi terhadap model tanaman jagung dan melakukan analisis produksi jagung di bawah naungan tanaman kelapa menggunakan aplikasi DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) versi 4.7.5. Penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari hasil penelitian di Balitsereal dan data dari Staklim Sulsel Kab. Maros. Data yang digunakan berupa data manajemen tanam, data tanah, data iklim harian dan data pengukuran tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil validasi model tanam yang diuji menggunakan rumus RMSEn (*Root Mean Square Error normalized*), PBIAS (*Percent bias*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) memberikan nilai masing-masing 2,6%, -2,58% dan 2,59% untuk parameter ADAP (*Anthesis day*) serta pada parameter HWAM (*Yield at harvest maturity*) dengan nilai berturut-turut 11%, 0,87% dan 9,98%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa model DSSAT 4.7.5 dapat digunakan untuk simulasi tanaman jagung. Hasil simulasi produksi jagung dibawah naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan kelapa didapatkan berturut-turut 2609, 678, 3795 dan 5430 (kg[dm] ha<sup>-1</sup>).

**Kata kunci :** *DSSAT, kelapa, jagung*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah Azza wa jalla, yang telah memberikan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Salam dan shalawat semoga tercurahkan kepada nabi Muhammad ﷺ sebagai suri tauladan yang terbaik. Skripsi ini disusun sebagai pemenuhan tugas akhir penulis dan untuk memberikan wawasan bagi pembaca terkait tema yang diangkat dalam skripsi ini. Skripsi ini diharapkan dapat menjadi informasi yang berguna bagi para pembaca mengenai potensi penanaman jagung dan kelapa secara polikultur. Dalam penulisan skripsi ini diperoleh data hasil simulasi produksi jagung yang diharapkan dapat menjadi informasi yang bermanfaat bagi para pembaca.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini terdapat banyak kekurangan, baik yang disadari maupun tidak disadari. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun dari pembaca pada penulisan skripsi ini. Dalam penulisan skripsi ini tentu tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah menjadi perantara berkontribusi dalam penyelesaian skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan *Syukran Jazakumullahu khairan* kepada:

1. Kedua Orang tua penulis, ayah Ishak, S.Pd. dan Ibu Nursam, S.Pd.I. yang senantiasa memberikan segala bentuk dukungan selama penulis menempuh pendidikan. Dan kepada saudara penulis, Nurin, Nurul dan Faiz yang menjadi alasan utama penulis untuk berusaha menjadi contoh dan pribadi yang baik.
2. Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, M.Si. dan Pak Dr. Ir. Abd. Haris B., M.Si. yang telah banyak membantu dan membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Dosen Penguji Prof Dr. Ir. Yunus Musa, M.Sc., Dr. Ir. Amir Yassi, M.Si. dan Dr. Muhammad Fuad Anshori, SP. M.Si. yang telah memberikan saran dan kritik dalam penulisan Skripsi ini.
4. Para dosen, staf dan pegawai akademik Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, serta khususnya yang telah memberikan bantuan selama menempuh pendidikan.

5. Ibu Dr. Muhannah, S.T.P M.P. kak Sudirman, S.P. dan Pak Safaruddin, S.P. yang telah membantu penulis dalam pemenuhan data-data dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman Agroteknologi 2019 sekalian yang telah kebersamai dalam perjuangan menempuh pendidikan ini.
7. Kepada Ikhwah LDF Surau Firdaus Faperta Unhas, Ramlan, S.P., Uki, Eko, Alim, Asrul, Akram, Pahri, Ravi dan yang tidak sempat disebutkan yang telah kebersamai penulis dalam belajar ilmu agama selama berkuliah.
8. Teman sepemikiran sejak bangku Tsanawiyah, Muadz, Ibnu Fajar, S.Psi., Fatur, dan Ahyar yang juga banyak membantu dan kebersamai penulis hingga dapat menempuh Pendidikan tinggi.
9. Saudara sepupu Muh. Hassan, SE., Syafi'i Hazmi, S.Pd. dan Sawabi Ihsan, S.Pd. yang telah banyak membantu dan kebersamai penulis selama menempuh Pendidikan.
10. Teman kelas MKU F, Rifdal, Bashariah, S.P., Rifqah dan Syalzadilah yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian keperluan kuliah dan tugas selama menempuh Pendidikan.
11. Seluruh pihak yang tidak sempat disebutkan dan telah membantu dan memberikan dukungan dari awal hingga penulis menyelesaikan masa perkuliahan.

Makassar, 9 oktober 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Jagung.....	5
2.1.1 Syarat Tumbuh Jagung.....	6
2.1.2 Pola Tanam Jagung .....	7
2.2 DSSAT .....	9
2.3 Optimalisasi Jagung .....	11
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>15</b>
3.1 Tempat dan Waktu .....	15
3.2 Alat dan Bahan .....	15
3.3 Prosedur Penelitian.....	15
3.3.1 Tahap Kalibrasi Model.....	15
3.3.2 Tahap Validasi Model .....	16
3.3.3 Tahap Penerapan Model.....	17
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Hasil .....	18
4.1.1 Kalibrasi Model.....	18
4.1.1.1 Data Manajemen tanam.....	18
4.1.1.2 Data Tanah .....	19
4.1.1.3 Data Iklim.....	20
4.1.1.4 Data Pengukuran Tanaman .....	20
4.1.2 Validasi Model .....	21
4.1.3 Simulasi Model .....	24
4.1.3.1 Komponen Hasil Tanaman.....	26

a. Indeks Luas Daun .....	26
b. Biomassa Daun.....	27
c. Biomassa Batang .....	28
d. Biomassa Akar .....	29
4.2 Pembasahan.....	29
4.2.1 Kalibrasi Model.....	29
4.2.2 Validasi Model .....	33
4.2.3 Simulasi Model .....	35
4.2.3.1 Komponen Hasil Panen.....	39
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>43</b>
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>44</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>48</b>

## DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Parameter yang diterapkan pada data manajemen tanam .....	18
2.	Informasi permukaan tanah .....	19
3.	Data profil tanah menurut horizon.....	19
4.	Data astronomis dan elevasi lokasi penelitian .....	20
5.	Data ringkasan pengukuran tanaman dari hasil penelitian .....	20
6.	Koefisien genetik jagung varietas G180/Mr14 yang telah dikalibrasi .....	21
7.	Statistik validasi perbandingan hasil observasi dan simulasi model jagung .....	22
<b>Lampiran</b>		
1.	Data curah hujan harian tahun 2018 .....	52
2.	Data suhu minimum harian tahun 2018.....	53
3.	Data radiasi matahari harian tahun 2018 .....	54
4.	Hasil konversi data radiasi matahari bulanan Staklim dari Maros.....	54
5.	Data suhu maksimum harian tahun 2018 .....	55
6.	Koefisien spesies jagung .....	56

## DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Perbandingan antara ADAP observasi dan simulasi .....	22
2.	Perbandingan antara HWAM obeservasi dan simulasi .....	23
3.	Grafik produksi jagung (Grain weight (kg[dm]/ha) pada tiap naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan .....	25
4.	luas daun jagung pada tiap naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan .....	26
5.	Biomassa daun jagung pada tiap naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan .....	27
6.	Biomassa batang jagung pada tiap naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan .....	28
7.	Biomassa akar jagung pada tiap naungan kelapa berumur 5, 20, 50 tahun dan tanpa naungan .....	29
<b>Lampiran</b>		
1.	Data radiasi matahari bulanan tahun 2018-2019 .....	48
2.	Data suhu maksimum bulanan tahun 2018-2019.....	49
3.	Data curah hujan bulanan tahun 2018-2019 .....	50

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Peningkatan sub sektor perkebunan dan tanaman pangan sebagai salah satu potensi penting dari pembangunan nasional dalam upaya peningkatan kesejahteraan rakyat. Subsektor perkebunan dan tanaman pangan berperan penting dalam meningkatkan perekonomian nasional ini tercermin melalui kontribusinya dalam berbagai hal salah satunya sebagai kontributor Produk Domestik Bruto (PDB). Kontribusi sektor pertanian terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) atas dasar harga berlaku tahun 2020 sebesar 13,70 % atau naik 0,99 % dibandingkan tahun sebelumnya. Kontribusi terbesar terhadap PDB tahun 2020 pada sub kategori pertanian yaitu pada tanaman perkebunan dengan persentase (3,63 %), tanaman pangan sebesar (3,07 %) (Badan Pusat Statistik, 2020).

Salah satu tanaman pangan yang memiliki kontribusi yang besar terhadap pertanian secara nasional adalah tanaman jagung. Komoditas jagung mempunyai peran yang sangat strategis, baik dalam sistem ketahanan pangan maupun perannya sebagai penggerak perekonomian nasional. Selain perannya sebagai salah satu sumber pangan bagi sebagian masyarakat Indonesia, jagung juga berkontribusi terhadap ketersediaan protein karena jagung menjadi bahan baku pakan baik ternak maupun perikanan. Jagung menjadi penarik bagi pertumbuhan industri hulu dan pendorong pertumbuhan industri hilir yang berkontribusi cukup besar pada pertumbuhan ekonomi nasional (Direktorat Jenderal Tanaman Pangan, 2016).

Produksi jagung di Indonesia pada periode 2000-2014 rata-rata meningkat sebesar 5,26 % per tahun. Pada tahun 2000 sebesar 9,68 juta ton menjadi 19,01 juta pada tahun 2014. Pada tahun 2015 produksi jagung juga tumbuh 3,16 % (menjadi 19,61 juta ton) dari tahun sebelumnya. Pada tahun 2016 produksi jagung terus meningkat menjadi 23,58 juta ton dengan persentase pertumbuhan paling tinggi, yaitu mencapai 20,24 %. Walaupun luas panen berfluktuasi, luas panen jagung selama periode 2000-2014 menunjukkan tren peningkatan sebesar 1,6 % per tahun. Fluktuasi luas panen dilihat pada tahun 2015 dibanding tahun 2014, luas panen jagung mengalami penurunan sebesar 1,3 %. Tapi pada tahun 2016 luas panen

jagung kembali meningkat cukup besar, yaitu sebesar 17,15 %. Jika tahun 2015 hanya 3,79 juta ha menjadi 4,44 juta ha pada tahun 2016. (Sulaiman, *et al.* 2018)

Produksi jagung pada tahun 2017 hingga 2018 terus mengalami peningkatan yang signifikan mencapai 30,25 juta ton pada tahun 2018 atau mengalami peningkatan 22,07 % dibandingkan tahun 2016. Namun, pada tahun 2019, produksi jagung nasional justru mengalami kembali penurunan yang drastis hingga produksi pada tahun 2019 dan 2020 hanya tercatat masing-masing 22,58 dan 22,5 juta ton. Produksi tersebut menurun sekitar 25,63 % dibandingkan produksi jagung nasional 2 tahun sebelumnya (FAO, 2020).

Dari perkembangan produksi jagung Indonesia dalam periode 2000-2016 terlihat bahwa produksi jagung di Indonesia belum mampu memenuhi kebutuhannya secara menyeluruh. Meskipun demikian, pada tahun 2016 jumlah impor jagung Indonesia mengalami penurunan yang sangat tajam, mencapai 61,96 % dan hanya tersisa 1,3 Juta ton. Sementara tahun sebelumnya (tahun 2015) masih sebesar 3,5 juta ton. Pada tahun 2016 hampir 94,3 % produksi dalam negeri dapat memenuhi kebutuhan jagung dan sisanya dari impor sebesar 5,7 % (Sulaiman, *et al.* 2018). Produksi jagung yang tinggi pada tahun 2017 hingga 2020 masih belum mampu menghentikan impor jagung di Indonesia. Hingga pada tahun 2019 Indonesia masih bergantung pada impor jagung dengan nilai yang berfluktuatif. Pada tahun 2018, walupun produksi nasional telah mencapai 30,25 juta ton, di tahun yang sama juga masih mengimpor 1,49 juta ton jagung (FAO, 2019). Data terakhir pada tahun 2020 masih menunjukkan impor nasional yang tinggi yaitu sebanyak 865.652 ribu ton dengan nilai impor US\$ 172,65 juta (BPS, 2020).

Banyak faktor yang menjadi penghambat dalam pemenuhan kebutuhan jagung nasional. Salah satu hambatan dalam pengembangan produksi jagung di Indonesia adalah kepemilikan lahan usaha tani jagung per keluarga petani cenderung sempit. Diketahui rumah tangga petani (RTP) jagung yang memiliki lahan pertanian kurang dari 0,5 ha sebanyak 3,48 juta atau 51,88 % dari total 6,71 juta RTP jagung. Hambatan lainnya, secara nasional pengembangan jagung masih lebih banyak yang menerapkan sistem tanam monokultur, baik lahan tadah hujan, lahan kering, maupun sawah irigasi. Budidaya jagung juga belum banyak

mengintegrasikan dengan tanaman lainnya atau sistem tanam tumpang sari dengan tanaman perkebunan (Sulaiman *et al.*, 2018).

Sistem penanaman tanaman sela pada lahan kering di bawah naungan kelapa sangat menguntungkan karena 80 % lahan tersebut dapat digunakan untuk tanaman lain ataupun ternak (Barus, 2013). Pada sistem monokultur, penggunaan lahan yang efektif oleh pohon kelapa hanya sekitar 25 %. (Alou dan Wulandari, 2020). Jagung dapat mengoptimalkan sekitar 80% lahan yang tidak digunakan oleh tanaman kelapa sehingga berpotensi besar untuk ditanam bersama kelapa. Produktivitas lahan dapat meningkat dengan pemanfaatan lahan di antara kelapa atau sistem tanam polikultur. Artinya, petani akan mendapatkan nilai tambah dengan sistem tanam polikultur. Pendapatan petani akan meningkat sekaligus efisiensi penggunaan lahan juga makin bertambah. Teknologi tumpang sari kelapa-jagung dapat meningkatkan 92 % efisiensi produktivitas lahan (Hidayat, 2020).

Pertumbuhan jagung pada setiap lahan tumpang sari berbeda-beda karena perbedaan dari ekologi lahan budidaya yang begitu kompleks. Analisis pertumbuhan jagung pada lahan budidaya pertanian sangat diperlukan sehingga produksi dapat ditingkatkan secara efisien. Dalam efisiensi produksi tanaman, sulit memprediksi pemenuhan nutrisi tanaman dan faktor iklim. Penanaman secara intensif dengan masukan yang besar telah dilakukan untuk hasil yang maksimal. Namun, aplikasi pupuk yang berlebihan dan tidak seimbang telah menghasilkan efisiensi penggunaan nutrisi yang rendah dan resiko lingkungan yang tinggi (misalnya, emisi gas rumah kaca, kontaminasi air) (Jiang *et al.*, 2019).

Oleh karena itu, sangat penting mengoptimisasi pengelolaan agronomi berdasarkan konsep efisiensi ekologi untuk mendapatkan praktik manajemen tanam terbaik, untuk memperoleh produksi jagung yang tinggi dan pengelolaan agronomi yang efisien. Model berbasis aplikasi seperti Sistem Pendukung Keputusan untuk Transfer Agroteknologi (DSSAT), digunakan dalam agroekosistem untuk menilai efek praktik pengelolaan pertanian terhadap pertumbuhan tanaman dan dinamika nutrisi, mengembangkan alat yang berguna untuk petani atau aplikasi kebijakan dan menilai dampak perubahan iklim pada

produksi tanaman dan resiko lingkungan serta mengeksplorasi langkah-langkah adaptasi potensial (Jiang *et al.*, 2019).

Sebelum melakukan analisis pertumbuhan tanaman, DSSAT perlu untuk dikalibrasi dan divalidasi. Kalibrasi diperlukan untuk memperbaiki parameter model dan mendapatkan sejumlah parameter pengamatan. Dibutuhkan beberapa disiplin ilmu seperti agrometeorologi, sifat fisik dan kimia tanah, pemuliaan tanaman dan agronomi yang digunakan sebagai data masukan dalam kalibrasi model. Validasi diperlukan karena perbedaan beberapa faktor pada setiap lahan yang berbeda seperti iklim dan sifat tanah. Validasi adalah prosedur dimana kinerja model dievaluasi, membandingkan nilai simulasi dari variabel tertentu dengan data observasi yang diperoleh dalam percobaan lapangan. Tujuan utama ketika mengevaluasi kinerja model simulasi tanaman adalah untuk menilai penggunaan praktisnya sebagai alat penelitian atau dukungan dalam membuat keputusan tentang manajemen dan perencanaan di tingkat pertanian (Gonzalez *et al.*, 2021)

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk validasi model DSSAT untuk tanaman jagung di bawah naungan tanaman kelapa dan menganalisis pertumbuhan dan produksi jagung di bawah naungan tanaman kelapa. Analisis pertumbuhan dan produksi yang didapatkan dapat menjadi informasi untuk pengambilan keputusan dalam penentuan hal yang berkaitan dalam pengelolaan tanaman jagung sehingga diperoleh pengelolaan usaha tani jagung yang efisien.

## **1.2 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan penelitian ini yaitu untuk melakukan validasi atau pengujian yang membandingkan antara hasil observasi di lapangan dengan hasil simulasi dengan menggunakan aplikasi DSSAT, serta menganalisis produksi jagung di bawah naungan kelapa dengan menggunakan aplikasi DSSAT.

Kegunaan penelitian ini yaitu, didapatkan hasil validasi yang dapat diterima untuk melakukan simulasi analisis produksi pada kondisi tanaman jagung dengan naungan kelapa yang berbeda sehingga dapat menjadi informasi yang terpercaya dan cepat dalam pengambilan keputusan bagi petani jagung untuk mendapatkan hasil produksi yang maksimal.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Jagung**

Selain gandum dan padi, tanaman Jagung (*Zea mays* L.) merupakan salah satu tanaman pangan terpenting di dunia. Beberapa penduduk daerah di Indonesia (misalnya di Madura dan Nusa Tenggara) memanfaatkan jagung sebagai pangan pokok (Syukur dan Rifianto, 2013). Jagung merupakan kebutuhan yang cukup penting bagi kehidupan manusia dan hewan. Jagung mengandung gizi dan serat kasar yang cukup untuk menjadi bahan makanan pokok pengganti beras. Konsumsi jagung di Indonesia terus mengalami peningkatan, hal ini didasarkan pada makin meningkatnya jumlah penduduk Indonesia.

Menurut Tjitrosoepomo (2013), tanaman jagung diklasifikasikan sebagai berikut:

Regnum	: Plantae
Divisio	: Spermatophyta
Subdivisio	: Angiospermae
Classis	: Monocotyledoneae
Ordo	: Poales
Familia	: Poaceae
Genus	: <i>Zea</i>
Species	: <i>Zea mays</i> L.

Komoditas jagung memiliki peran yang sangat strategis, baik dalam sistem ketahanan pangan maupun sebagai penunjang perekonomian nasional. Setelah padi, jagung menjadi komoditas pangan yang paling penting. Industri pangan yang berkembang pesat di Indonesia mengakibatkan permintaan komoditas jagung terus meningkat meskipun saat ini produksi jagung masih terus ditingkatkan (Zahara *et al.*, 2021).

Produksi jagung pada tahun 2017 hingga 2018 terus mengalami peningkatan yang signifikan mencapai 30,25 juta ton pada tahun 2018 atau mengalami peningkatan 22,07 % dibandingkan tahun 2016. Namun, pada tahun 2019, produksi jagung nasional justru mengalami kembali penurunan yang drastis hingga

produksi pada tahun 2019 dan 2020 hanya tercatat masing-masing 22,58 dan 22,5 juta ton. Produksi tersebut menurun sebanyak 25,63% dibandingkan produksi 2 tahun sebelumnya. Produksi jagung yang tinggi pada tahun 2017 hingga 2020 masih belum mampu menghentikan kegiatan impor jagung di Indonesia. Hingga pada tahun 2019 Indonesia masih bergantung pada impor jagung dengan nilai impor yang berfluktuatif. Pada tahun 2018, walaupun produksi nasional telah mencapai 30,25 juta ton. Namun, di tahun yang sama juga masih mengimpor 1,49 juta ton jagung (FAO, 2019). Data terakhir pada tahun 2020 masih menunjukkan impor nasional yang tinggi yaitu sebanyak 865.652 ribu ton dengan nilai impor US\$ 172,65 juta (BPS, 2020).

### **2.1.1 Syarat Tumbuh Tanaman Jagung**

Tanaman jagung menyukai tempat terbuka dan cahaya yang banyak. Jagung dapat tumbuh dengan baik pada ketinggian tempat dari 0 sampai dengan 1300 m di atas permukaan laut. Temperatur udara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman jagung adalah 23 – 27 °C. Pada umumnya curah hujan yang sesuai untuk tanaman jagung berkisar antara 200 sampai dengan 300 mm per bulan atau curah hujan tahunan yang berkisar antara 800 sampai dengan 1200 mm. Pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung dapat optimal pada tingkat kemasaman tanah (pH) tanah yang berkisar antara 5,6 sampai dengan 6,2. Saat tanam, jagung tidak tergantung pada musim, tetapi tergantung pada ketersediaan air yang cukup. Jika pemberian air mencukupi, penanaman jagung pada musim kemarau akan memberikan pertumbuhan jagung yang lebih baik. (Lestari, 2018).

Faktor suhu dapat memengaruhi proses pertumbuhan tanaman apabila suhu yang dihasilkan tinggi dan dapat mengakibatkan ketersediaan air mengalami penurunan. Penurunan air terjadi pada tanaman dan di dalam tanah karena digunakan untuk kebutuhan air pada proses pertumbuhan jagung. Efek pemanasan global disebabkan oleh konsentrasi gas-gas rumah kaca yang berlebih di atmosfer dan sejalan dengan suhu di udara yang meningkat dapat berdampak pada produktivitas komoditas pertanian. Suhu udara yang tinggi akan memberi dampak yang buruk pada pertumbuhan tanaman jagung. Selain itu, suhu udara pada tanaman dapat dipengaruhi oleh kerapatan tajuk tanaman. Semakin tinggi

kerapatan tajuk tanaman, akan semakin sedikit cahaya matahari yang dapat menembus bagian bawah tanaman jagung. Pada kerapatan tajuk tanaman yang tinggi, intensitas radiasi yang dapat diteruskan akan mengalami penurunan akibat terhalang oleh tajuk tanaman, sehingga akan mempengaruhi suhu udara yang terjadi pada sekitar tanaman (Herlina & Prasetyorini, 2020).

Kebutuhan air pada tanaman jagung sekitar 100-140 mm per bulan. Penanaman sebaiknya dilakukan bila curah hujan telah mencapai 100 mm per bulan. Curah hujan yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan tanaman jagung yang akhirnya sangat beresiko dapat menyebabkan terjadinya kegagalan panen. Curah hujan yang mengalami peningkatan pada suatu daerah berpotensi menimbulkan banjir, sebaliknya jika terjadi penurunan dari kondisi normalnya akan berpotensi terjadi kekeringan. Kedua hal tersebut tentu akan berdampak buruk pada metabolisme tubuh tanaman dan berpotensi menurunkan produksi hingga kegagalan panen (Herlina & Prasetyorini, 2020).

Tanaman jagung digolongkan sebagai tanaman C4 yang membutuhkan cahaya yang efisien dalam memanfaatkan air dan tahan terhadap suhu tinggi dengan tingkat ketersediaan radiasi matahari yang mencukupi. Oleh karena itu, jagung sangat sesuai untuk dibudidayakan di lahan kering. Radiasi matahari sangat berperan dalam proses pertumbuhan (morfogenesis). Radiasi matahari yang terbatas akan mengakibatkan perubahan morfo-fisiologi tanaman, seperti luas daun spesifik, panjang dan lebar daun yang meningkat. Namun, intensitas cahaya yang rendah justru menurunkan rasio akar-tajuk dan total bahan kering tanaman. Sebaliknya, intensitas radiasi yang tinggi akan meningkatkan laju fotosintesis karena semakin banyak energi yang diterima daun, sehingga energi yang tersedia untuk mensintesis karbohidrat semakin banyak (Humoen dan Yahya 2020).

### **2.1.2 Pola Penanaman Jagung**

Mayoritas petani jagung di Indonesia menanam jagung secara monokultur. Dari sekitar 6,71 juta rumah tangga petani (RTP) jagung pada tahun 2020, diketahui sekitar 84,17 % rumah tangga jagung menanam satu jenis tanaman (monokultur) dan hanya 15,83 % yang menanam secara tumpang sari. Budidaya jagung yang masih secara monokultur baik pada lahan kering, sawah irigasi maupun lahan

tadah hujan menjadi salah satu tantangan dalam pengembangan jagung secara nasional. Ditambah lagi mayoritas rumah tangga petani menanam jagung di lahan kering sebesar 71 % dengan ketersediaan air yang terbatas dan hanya sekitar 13 % dan 14 % di lahan sawah tadah hujan dan sawah irigasi (Badan Pusat Statistik 2021). Serta belum banyak yang mengintegrasikan budidaya jagung dengan tanaman lainnya ataupun tanaman perkebunan. Hal tersebut yang membuat pengembangan tanaman jagung menjadi terbatas (Sulaiman *et al.*, 2018).

Selama tahun 1980-2014 luas areal tanaman jagung hanya tumbuh 1,18 % per tahun dari sebanyak 2,74 juta ha pada tahun 1980 dan hanya 3,84 juta ha pada tahun 2014. Kemudian pada tahun setelahnya luas areal jagung kembali menurun menjadi 3,78 juta ha dan pada tahun setelahnya luas areal jagung terus berfluktuasi. Luas areal tertinggi pada tahun 2017 dan 2018 yaitu sekitar 5,5-5,6 juta ha. Namun, pada tahun setelahnya luas areal jagung kembali menurun drastis hingga pada tahun 2020 hanya sekitar 3,9 ha (FAO, 2020). Lahan areal jagung seluas 3,9 ha tersebut dikelola oleh 6,71 juta rumah tangga petani. Berdasarkan data, dari 6,71 juta RTP sebanyak 84,1 % pola penanamannya hanya secara monokultur.

Pola penanaman secara tumpang sari bisa menjadi solusi dalam program ekstensifikasi produksi jagung secara nasional. Ekstensifikasi secara maksimal pernah tercapai pada tahun 2017-2018, di mana pada tahun sebelumnya 2016 produksi nasional hanya 23,58 juta ton meningkat menjadi sekitar 30 juta ton pada tahun setelahnya. Dalam program ekstensifikasi pemerintah melakukan perluasan areal dengan menambah lahan produksi sekitar 3 juta ha. Sebanyak sekitar 1 juta ha lahan produksi baru merupakan hasil integrasi tanaman jagung dengan tanaman perkebunan dengan luas panen mencapai 950 ribu ha berdasarkan target pemerintah melalui kementerian pertanian (Dirjen Tanaman Pangan, 2016).

Di Provinsi Sulawesi Selatan, persentase pola penanaman jagung tidak berbeda jauh dari pola penanaman nasional. Persentase rumah tangga yang menanam jagung secara monokultur sekitar 83,93 %. Hal tersebut menandakan bahwa petani jagung di Sulawesi Selatan masih belum bisa memanfaatkan secara maksimal lahan perkebunan dengan pola tanam tumpang sari dan belum sesuai dengan target pemerintah yang mencoba untuk melakukan ekstensifikasi jagung

dengan memanfaatkan lahan perkebunan dengan pola tanam tumpang sari (Dirjen Tanaman Pangan, 2016). Target pemerintah pada tahun 2017 untuk meningkatkan produksi jagung nasional di Provinsi Sulawesi Selatan, dilakukan ekstensifikasi dengan memanfaatkan lahan yang mengintegrasikan jagung dengan tanaman perkebunan, dengan target sekitar 156.193 ha (Sulaiman *et al.*, 2018).

## **2.2 DSSAT**

Model simulasi tanaman adalah bagian dari analisis sistem sebagai suatu metode pendekatan masalah secara terintegrasi yang merupakan metode ilmiah untuk pemecahan masalah. Metode merupakan konsepsi mental, hubungan empirik atau kumpulan pernyataan-pernyataan matematik statistik atau dapat juga diartikan sebagai representasi sederhana dari suatu sistem nyata sehingga interaksi unsur-unsur yang kompleks dalam suatu sistem dapat diabstraksi dalam bentuk hubungan sebab akibat dari peubah-peubah atau aspek-aspek yang ditetapkan sesuai tujuan model. Saat ini, ada peningkatan jumlah model dan pendekatan pemodelan yang disesuaikan dengan tujuan tertentu, dengan menggunakan variabel masukan yang berbeda (Aminah, 2016).

Confalonieri *et al.* (2006) menggaris bawahi penggunaan model tanaman untuk mempelajari sifat dinamis dalam sistem pertanian, yang mengklaim bahwa model tanaman yang berkaitan dengan interaksi antara tanah dan tanaman di bawah kondisi meteorologi yang berbeda telah semakin digunakan untuk mempelajari karakteristik sistem pertanian yang kompleks. Masalah lingkungan yang begitu kompleks terus meningkatkan permintaan penggunaan model integrasi untuk diharapkan mengarah pada kumpulan dasar perangkat lunak yang mencakup solusi pemodelan dari berbagai disiplin ilmu bukan kopel model yang berdiri sendiri (Donatelli *et al.*, 2014). Kapasitas model dalam mensimulasikan pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan manajemen tanam yang berbeda adalah salah satu tantangan dalam mengembangkan teknologi produksi pertanian. Bahkan, banyak upaya pemodelan secara nyata meningkatkan pemahaman ilmiah dari respon tanaman di bawah kondisi lingkungan dan penerapan manajemen yang berbeda.

Kombinasi berbagai model, alat, utilitas, dan aplikasi memerlukan pengembangan antarmuka unik yang menyediakan akses mudah bagi pengguna

yang mungkin tidak familiar dengan model crop pada umumnya, terutama dengan tantangan memformat file masukan dan hasil. Desain DSSAT dikonseptualisasikan menjadi platform pemodelan tanaman terintegrasi. DSSAT telah membantu pengguna menyediakan alat untuk menyiapkan file masukan berbeda yang diperlukan untuk menjalankan model, untuk menentukan eksperimen dan perlakuan atau skenario yang ingin disimulasikan oleh pengguna, dan untuk melakukan analisis hasil simulasi model tanaman, termasuk perbandingan dengan data yang diobservasi untuk mengevaluasi model dan menganalisis strategis untuk keperluan alur pemodelan (Boote, 2019).

DSSAT digunakan untuk memberikan kemudahan akses yang maksimal, sesuatu mekanisme pertanaman yang dipelajari setelah menggunakan perangkat lunak basis data yang telah paten pada perlakuan yang terbatas. Akibatnya, pengguna dapat dengan mudah mensimulasikan pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman pada tanaman yang berbeda untuk bidang yang sama dengan hanya membuat sedikit perubahan pada file masukan yang spesifik untuk tanaman, seperti pemilihan varietas, tanggal tanam, atau kepadatan tanaman. Protokol yang ketat juga memungkinkan pengguna untuk mengembangkan alat dan utilitas baru yang dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam aplikasi DSSAT berdasarkan format masukan dan hasil standar (Boote, 2019).

Pada bidang pertanian informasi pendukung manajemen tanam mengenai pengambilan keputusan mengalami peningkatan. Jika hanya menggunakan metode penelitian agronomi tradisional tidak akan bisa memenuhi permintaan manajemen efisiensi terbaik karena metode tradisional menghabiskan waktu yang lama dan biaya yang mahal. Oleh karena itu terdapat DSSAT yang digunakan untuk memfasilitasi penerapan model tanaman dalam pendekatan sistem agronomi. Hal ini berkembang karena awalnya didorong oleh kebutuhan untuk memadukan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan yaitu, tanah, iklim, tanaman dan manajemen untuk membuat keputusan yang lebih baik tentang transfer teknologi produksi dari lokasi yang memiliki tanah dan iklim yang berbeda-beda. Pemahaman terhadap sistem kemudian diintegrasikan ke dalam model yang memungkinkan seseorang untuk memprediksi perilaku sistem untuk kondisi tertentu (Muawanah, 2022).

DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) merupakan suatu perangkat lunak untuk melakukan simulasi tanaman yang dikembangkan oleh IBSNAT (*International Benchmark Site Network for Agrotechnology Transfer*) di Hawaii University. Model simulasi tanaman memadukan beberapa bidang ilmu seperti Agrometeorologi, sifat fisik dan kimia tanah, pemuliaan tanaman, dan Agronomi dalam bentuk persamaan matematika untuk memprediksi pertumbuhan, perkembangan, dan hasil tanaman. Model pada aplikasi DSSAT mensimulasikan pertumbuhan, perkembangan dan hasil melalui model perhitungan dari interaksi antara tanah, tanaman, dan atmosfer. Simulasi model pada aplikasi DSSAT membutuhkan data posisi lintang dan bujur dengan radiasi matahari, suhu udara maksimum dan minimum, data tanah seperti kedalaman lapisan tanah atas dan bawah, tekstur, bobot isi tanah, Karbon organik, tingkat kejenuhan tanah, dan data manajemen seperti tanggal tanam, jarak tanam, varietas, data pengairan air, dan data pemupukan (Muawanah, 2022).

### **2.3 Optimalisasi Lahan**

Pengembangan penanaman jagung sendiri masih sangat berpeluang dikembangkan pada lahan yang mencapai 38,58 juta ha. Kementerian Pertanian melaporkan bahwa, untuk lahan eksisting 13,12 juta ha, serta lahan potensi integrasi perkebunan seluas 11, 3 juta ha. Lahan perkebunan kelapa sangat berpotensi untuk diintegrasikan dengan tanaman jagung. Di Indonesia, sebagian besar lahan kelapa (97 %) dibudidayakan secara monokultur. Sistem tanam monokultur secara ekonomi tidak memberikan hasil yang banyak pada lahan kelapa karena produktivitas kopra lahan kelapa di Indonesia hanya 1,1 ton ha<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>. Produktivitas tersebut masih sangat rendah sebagai sumber pendapatan petani karena hanya setara 6-10 juta rupiah pada luas lahan 1 ha dalam satu tahun. Untuk memecahkan masalah tersebut, ada banyak metode efisiensi budidaya kelapa yang dapat dilakukan, diantaranya seperti mengoptimalkan lahan melalui budidaya tumpang sari (Malia, 2021).

Sistem usaha tani tumpang sari pada lahan kering di bawah naungan kelapa sangat menguntungkan karena 80 % lahan tersebut dapat dimaksimalkan oleh tanaman lain ataupun ternak (Barus, 2013). Pada sistem monokultur, hanya sekitar

25 % lahan yang efektif yang digunakan oleh pohon kelapa. (Alou dan Wulandari, 2020). Untuk mengoptimalkan sekitar 80 % lahan yang tidak digunakan oleh tanaman kelapa, jagung berpotensi besar untuk ditanam bersama kelapa. Pemanfaatan lahan dengan sistem tanam polikultur jagung di bawah naungan kelapa dapat meningkatkan produktivitas lahan. Hal ini berarti bahwa petani akan mendapatkan nilai tambah dengan sistem tanam polikultur. Efisiensi pemanfaatan lahan akan meningkat sekaligus pendapatan petani juga makin bertambah. Efisiensi produktivitas lahan dapat meningkat hingga 92 % dengan teknologi tumpang sari kelapa-jagung (Hidayat, 2020).

Transmisi cahaya melewati tajuk bervariasi bergantung pada umur tanaman dan berbanding terbalik dengan tutupan tajuk. Telah diperoleh bahwa pada umur 8-30 tahun didapatkan tutupan tajuk kelapa tertinggi, tutupan tajuk mencapai 60 % pada jarak tanam pola segitiga  $9\text{ m} \times 9\text{ m}$ , kemudian setelah 30 tahun tutupan tajuk hanya berkisar 20 %. Studi lain yang dilakukan di Indonesia didapatkan bahwa berdasarkan 100-200 tanaman kelapa  $\text{ha}^{-1}$ , luas perhitungan efektif kerapatan yang digunakan tanaman hanya 12,57-25,14 %, sisanya efektif digunakan sebesar 87,43 – 74,86 %. Didapatkan juga bahwa 86 % akar kelapa hanya ditemukan pada kedalaman 30-130 cm sehingga lahan efektif yang digunakan hanya pada radius 2 m (Malia, 2021). Berdasarkan hasil penelitian Hidayat (2020), setiap pohon kelapa dapat menggunakan lahan yang efektif pada lingkaran sekeliling tegakan pohon sekitar  $(2\text{ m} \times 2\text{ m}) \times 3,14 = 12,56\text{ m}^2$ , sehingga luas yang digunakan tegakan pohon kelapa adalah  $12,56\text{ m}^2 \times 123\text{ pohon}$  yaitu sekitar  $1.551\text{ m}^2$ . Artinya, masih ada sekitar  $8.449\text{ m}^2$  lahan efektif dalam 1 ha yang dapat ditanami tanaman sela.

Perluasan lahan tanam jagung secara tidak langsung juga telah dilakukan di antara tanaman tahunan yang baru saja dilakukan penanaman ulang atau masa TBM (Tanaman Belum Menghasilkan). Pada lahan ini telah dilakukan penanaman jagung dengan pola tumpang sari. Tanaman perkebunan kelapa di Indonesia sangat berpeluang besar untuk ditanam secara tumpang sari dengan jagung. Sebanyak 97 % lahan perkebunan kelapa masih ditanam secara monokultur. Di Sulawesi selatan memiliki areal perkebunan kelapa sekitar 102 ribu ha pada tahun 2018 hingga tahun 2020. Luas lahan kelapa tersebut bisa dioptimalkan dengan

mengintegrasikan dengan tanaman jagung, di mana luas areal tanam jagung di Sulawesi selatan dalam 3 tahun terakhir mengalami penurunan yang berdampak pada produksi jagung yang menurun drastis (Ditjenbun, 2019).

Pengembangan areal tanam jagung melalui integrasi dengan tanaman kelapa dapat memberikan kontribusi yang besar bagi pemenuhan kebutuhan jagung nasional. Produktivitas jagung yang ditanam diantara tanaman kelapa juga tidak berbeda jauh dengan pola penanaman jagung secara monokultur. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2021), diketahui bahwa rata-rata produktivitas jagung nasional yang ditanam secara monokultur sebesar 5,8 ton ha<sup>-1</sup> dan jagung yang ditanam secara tumpang sari memiliki produktivitas rata-rata sebesar 4,7 ton ha<sup>-1</sup> dalam pipilan kering. Serta dalam penelitian Hatta *et al.*, (2021) menyatakan bahwa produktivitas jagung yang ditanam secara tumpang sari di bawah naungan kelapa menunjukkan hasil tertinggi yaitu 4,8 ton ha<sup>-1</sup>.

Pengembangan jagung secara nasional dengan melakukan perluasan areal tanam yaitu integrasi dengan kelapa sangat realistis untuk dilakukan. Dari sekitar 3,3 juta ha lahan kelapa di Indonesia, terdapat sekitar 458 ribu ha lahan kelapa yang masuk kategori belum menghasilkan dan juga terdapat 398 ribu ha lahan kelapa yang tidak menghasilkan karena sudah tua atau rusak. Jumlah luasan kelapa yang belum menghasilkan dan tidak menghasilkan yang sangat menguntungkan untuk diintegrasikan dengan tanaman jagung. Di Sulawesi selatan, lahan dengan kondisi tanaman kelapa belum menghasilkan pada tahun 2018 sekitar 6.555 ha dan lahan dengan kondisi tanaman rusak cukup besar yaitu sekitar 21.570. Tanaman jagung yang ditanam diantara tanaman kelapa memiliki pertumbuhan maksimal di bawah tegakan kelapa yang belum menghasilkan. (Ditjenbun, 2019).

Ketersediaan lahan tanaman kelapa belum menghasilkan sangat baik untuk ditanami jagung sebagai tanaman sela. Kondisi tanaman kelapa yang akan ditanami tanaman sela sangat mempengaruhi produktivitas jagung karena umur dan kondisi tanaman kelapa akan mempengaruhi level naungan dan kompetisi antar tanaman (Hidayat, 2020). Hasil penelitian menunjukkan bahwa diperoleh rata-rata persentase transmisi radiasi matahari terbesar terdapat di pertanaman kelapa umur 50 tahun yang ditanam dengan sistem segiempat 10 m × 10 m (49 %) dan terendah

pada kelapa umur 20 tahun yang ditanam dengan sistem tanam segitiga jarak  $9 \text{ m} \times 9 \text{ m}$  (22 %). Adapun untuk tanaman yang berumur 5 tahun, persentase transmisi sinar matahari yang diperoleh rata-rata 38 % (Barri, 2012).

Keseluruhan proses metabolisme akan dipengaruhi oleh perbedaan radiasi matahari yang diterima, sehingga terjadi perbedaan pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan. Pertumbuhan yang terganggu menyebabkan produksi tanaman tidak maksimal. Produksi bahan kering tanaman berbanding lurus dengan besarnya intersepsi radiasi matahari oleh tanaman. Tanaman jagung yang termasuk kelompok C4 sehingga jagung memerlukan energi radiasi yang besar. Hal itu terbukti pada jagung yang di pertanaman kelapa umur 20 tahun, karena transmisi radiasi hanya 22 %. Akibatnya pertumbuhan tanaman tidak sebaik jagung di pertanaman kelapa umur 5 dan 50 tahun atau di lahan terbuka (Barri, 2012).

Pada tanaman semusim, produksi adalah indikator penting yang menilai baik tidaknya masa pertumbuhan dan perkembangan tanaman selama fase vegetatif. Produksi tanaman jagung yang diperoleh pada penelitian Barri (2012) membuktikan hal tersebut. Tanaman jagung pada pertanaman kelapa umur 20 tahun diperoleh parameter vegetatif yang tidak baik sehingga menghasilkan jagung lebih rendah dibandingkan dengan yang ditanam pada pertanaman kelapa 5, 50 tahun, dan lahan terbuka. Secara umum, jagung yang ditanam di bawah kelapa memiliki produksi lebih rendah dibanding dengan produksi jagung pada lahan terbuka (perlakuan kontrol). Produksi jagung di lahan terbuka  $5,4 \text{ ton ha}^{-1}$  di pertanaman kelapa umur 5, 20, dan 50 tahun berturut-turut 3,2; 1,9; dan  $3,9 \text{ ton ha}^{-1}$ .