

**EFEKTIVITAS TEKNIK APLIKASI BIOCHAR JANGGEL JAGUNG DAN
DOSIS PUPUK NPK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN KAKAO
(*Theobroma cacao* L.)**



HEFSI AFRIANA

G011 20 1183

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
DEPARTEMEN BUDIDAYA PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**



2024

**EFEKTIVITAS TEKNIK APLIKASI BIOCHAR JANGGEL JAGUNG DAN
DOSIS PUPUK NPK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN KAKAO
(*Theobroma cacao* L.)**

HEFSI AFRIANA

G011 20 1183



**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
DEPARTEMEN BUDIDAYA PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**EFEKTIVITAS TEKNIK APLIKASI BIOCHAR JANGGEL JAGUNG DAN
DOSIS PUPUK NPK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN KAKAO
(*Theobroma cacao* L.)**

HEFSI AFRIANA

G011 20 1183

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Agroteknologi

Pada

**PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI
DEPARTEMEN BUDIDAYA PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

**EFEKTIVITAS TEKNIK APLIKASI BIOCHAR JANGGEL JAGUNG DAN
DOSIS PUPUK NPK TERHADAP PRODUKSI TANAMAN KAKAO
(*Theobroma cacao* L.)****HEFSI AFRIANA
G011 20 1183**

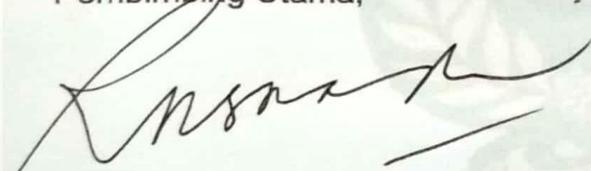
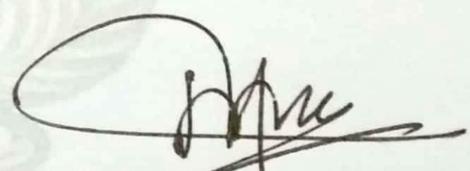
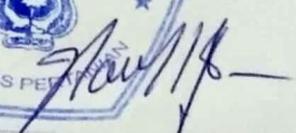
Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 9 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian
Univeristas Hasanuddin
MakassarMengesahkan:
Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. Rusnadi Padjung, M.Sc.
NIP. 19600222 198503 1 002
Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, MS.
NIP. 19550106 198312 1 001Mengetahui:
Ketua Program Studi AgroteknologiKetua Departemen Budidaya
Pertanian
Dr. Ir. Abd. Haris Bahrhun, M. Si
NIP. 19670811 199403 1 003
Dr. Hari Iswoyo, S. P., M. A.
NIP. 19760508 200501 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini kami menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Efektivitas Teknik Aplikasi Biochar Janggel Jagung dan Dosis Pupuk NPK terhadap Produksi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)" adalah benar karya kami dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Ir. Rusnadi Padjung, M.Sc. sebagai Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, MS. sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka kami bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku. Dengan ini kami melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis kami berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 Juli 2024



AFRIANA
G011 20 1183

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian yang kami lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan skripsi ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof. Dr. Ir. Rusnadi Padjung, M.Sc. selaku pembimbing utama dan Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, MS. Selaku pembimbing pendamping. Prof. Kami mengucapkan berlimpah terima kasih kepada para dosen pembimbing yang meluangkan waktu dan pikiran untuk memberikan arahan kepada penulis.

Penelitian ini tidak dapat selesai tanpa bantuan dari beberapa pihak yang telah bersedia menyumbangkan tenaganya dalam membantu terlaksananya penelitian ini, maka kami ucapkan terima kasih pada berbagai pihak terkait yaitu:

1. Bapak Abdullah dan Ibu Muliana, saudara Helmi Alfiana, Hasmi Astiana, Muhammad Asnun, Muhammad Asdar dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan bantuan, doa, perhatian dan kasih sayangnya kepada penulis selama menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
2. Dr. Ir. Rafiuddin, MP., Dr. Ir. Nurlina Kasim, M.Si., dan Prof. Dr. Ir. Amir Yassi M.Si. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktu untuk memberi kritik dan saran kepada penulis demi menyempurnakan skripsi ini.
3. Dr. Hari Iswoyo, S.P. M.A., selaku ketua Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, serta seluruh dosen dan staf pegawai atas segala perhatian dan bantuan yang telah diberikan.
4. Keluarga besar Bapak Kadir yang telah memberikan pengalaman serta menyediakan kebun kakao untuk melaksanakan penelitian ini.
5. Keluarga besar Plant Physiology (E11) yang telah bersedia membantu dan menjadi tempat belajar dan berbagi ilmu khususnya kepada para senior Kak Reynaldi Laurenze, S.P. M.Si. dan Kak Andi Reiskha Ramadhani, S.P. M.Si. serta seluruh anggota yang tidak dapat kami sebut satu persatu.
6. Teman-teman dan senior sesama penelitian di wajo, Fatimah Nuruh Hikmah, Fatma Pramudita, dan Kak Besse Nur Aulia S.P. Terima kasih untuk kebersamaan, semangat, suka duka, dan motivasinya selama ini.
7. Teman-teman kami Nurwanda Sugarda, Nurhafiq, Reski Nurhidayanti, Riska Para'pak S.P, Nur Ainun Mutmainnah, Nurhalisah, Andi Nursafitri S.P, Fitriyanti S.P, Indah, Nurhalizah Iskandar S.P, Andi Dwi Hijriani, dan Jusra Risnawati.

Penulis,

Hefsi Afriana

ABSTRAK

HEFSI AFRIANA. **Efektivitas Teknik Aplikasi Biochar Janggel Jagung dan Dosis Pupuk NPK terhadap Produksi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)** (dibimbing oleh Rusnadi Padjung dan Nasaruddin).

Latar belakang. Indonesia mengalami penurunan produktivitas kakao dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Penggunaan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK sebagai upaya dalam peningkatan produktivitas tanaman. Teknik aplikasi biochar mempengaruhi persentase unsur hara yang dapat diserap oleh akar tanaman. Pupuk NPK berperan menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi tanaman kakao. **Metode.** Penelitian disusun dengan menggunakan Rancangan Petak Terpisah (RPT) dengan petak utama adalah teknik aplikasi biochar yang terdiri atas: teknik sebar (*broadcasting*), teknik piringan (*ring placement*), dan teknik biopori (*spot placement*). Anak petak adalah dosis pupuk NPK yang terdiri atas: NPK 0 g/pohon (kontrol), NPK 175 g/pohon, NPK 350 g/pohon, dan NPK 525 g/pohon. **Hasil.** Analisis korelasi bivariat menunjukkan perlakuan teknik aplikasi biopori, sebar, dan *ring placement* biochar janggel jagung memberikan respon secara linier dan berkorelasi secara signifikan dan perlakuan pupuk NPK 525 g/pohon menunjukkan hasil terbaik terhadap parameter klorofil a ($295,84 \mu\text{mol.m}^{-2}$), klorofil b ($124,94 \mu\text{mol.m}^{-2}$), klorofil total ($746,30 \mu\text{mol.m}^{-2}$), dompol terbentuk (62,89 dompol), pentil terbentuk (33,67 pentil), persentase pentil buah gugur (75,83%), persentase buah bertahan (24,17%), jumlah buah panen (3,83 buah), jumlah biji per buah (32,76 biji), bobot kering 100 biji (129,72 g), produksi per pohon (163,32 g), dan produksi per hektar (181,45 kg). **Kesimpulan.** Perlakuan teknik aplikasi biopori, sebar, dan *ring placement* biochar janggel jagung dan pupuk NPK 525 g/pohon menunjukkan hasil terbaik pada parameter klorofil a, klorofil b, klorofil total, dompol terbentuk, pentil terbentuk, persentase pentil buah gugur, persentase buah bertahan, jumlah buah panen, jumlah biji per buah, bobot kering 100 biji, produksi per pohon, dan produksi per hektar.

Kata kunci: teknik aplikasi; biochar; NPK; kakao; produksi

ABSTRACT

HEFSI AFRIANA. **Effectiveness of Corn Cob Biochar Application Technique and NPK Fertilizer Dosage on Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Plant Production** (supervised by Rusnadi Padjung and Nasaruddin).

Background. Indonesia has experienced a decline in cocoa productivity in the last five years. The use of corn cob biochar application techniques and NPK fertilizer doses as an effort to increase plant productivity. Biochar application techniques affect the percentage of nutrients that can be absorbed by plant roots. NPK fertilizer plays a role in providing nutrients needed by plants. **Aim.** This study aims to determine the effectiveness of corn cob biochar application techniques and NPK fertilizer doses on cocoa plant production. **Methods.** The study was designed using a Split Plot Design (RPT) with the main plot being the biochar application technique consisting of: broadcasting technique, ring placement technique, and spot placement technique. Subplots are NPK fertilizer doses consisting of: NPK 0 g/tree (control), NPK 175 g/tree, NPK 350 g/tree, and NPK 525 g/tree. **Results.** Bivariate correlation analysis showed that the treatment of biopore application technique, spreading, and ring placement biochar corn cob gave a linear response and was significantly correlated and the treatment of NPK fertilizer 525 g/tree showed the best results on the parameters of chlorophyll a ($295.84 \mu\text{mol.m}^{-2}$), chlorophyll b ($124.94 \mu\text{mol.m}^{-2}$), total chlorophyll ($746.30 \mu\text{mol.m}^{-2}$), clusters formed (62.89 clusters), nipples formed (33.67 nipples), percentage of fallen fruit nipples (75.83%), percentage of retained fruit (24.17%), number of harvested fruits (3.83 fruits), number of seeds per fruit (32.76 seeds), dry weight of 100 seeds (129.72 g), production per tree (163.32 g), and production per hectare (181.45 kg). **Conclusion.** The treatment of biopore application technique, spreading, and ring placement of corn cob biochar and NPK fertilizer 525 g/tree showed the best results in the parameters of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, clusters formed, nipples formed. percentage of fallen fruit nipples, percentage of retained fruit, number of harvested fruits, number of seeds per fruit, dry weight of 100 seeds, production per tree, and production per hectare.

Keywords: application technique; biochar; NPK; cocoa; production

DAFTAR ISI**Halaman**

DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Landasan Teori.....	3
1.3. Tujuan dan Manfaat.....	7
1.4. Hipotesis.....	7
BAB II METODE PENELITIAN.....	8
2.1. Tempat dan Waktu.....	8
2.2. Bahan dan Alat.....	8
2.3. Metode Penelitian.....	8
2.4. Pelaksanaan Penelitian.....	8
2.5. Pengamatan dan Pengukuran.....	10
2.6. Analisis Data.....	12
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	13
3.1. Hasil.....	13
3.2. Pembahasan.....	28
BAB IV KESIMPULAN.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN.....	37
RIWAYAT HIDUP.....	57

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Nilai konstanta a, b, dan c.....	11
2. Rata-rata klorofil a ($\mu\text{mol.m}^{-2}$) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	14
3. Rata-rata klorofil b ($\mu\text{mol.m}^{-2}$) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	15
4. Rata-rata klorofil total ($\mu\text{mol.m}^{-2}$) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	16
5. Rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk (dompol) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	17
6. Rata-rata jumlah pentil terbentuk (pentil) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	19
7. Rata-rata persentase pentil buah gugur (%) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	21
8. Rata-rata persentase buah bertahan (%) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	22
9. Rata-rata jumlah buah panen per pohon (buah) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	23
10. Rata-rata jumlah biji per buah (biji) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	24
11. Rata-rata bobot kering biji (g) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	25
12. Produksi per pohon (g) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	26
13. Produksi per hektar (Kg) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK selama 6 bulan	27

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Rata-rata kerapatan stomata (stomata/mm ²) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK.....	13
2. Rata-rata luas bukaan stomata (µm ²) pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK	14
3. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap klorofil a	15
4. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap klorofil b	16
5. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap klorofil total	17
6. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk	18
7. Rata-rata persentase dompol bunga gugur pada perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK.....	19
8. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata jumlah pentil buah terbentuk	20
9. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata persentase pentil buah gugur	21
10. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata persentase buah bertahan	22
11. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata jumlah buah panen	23
12. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata jumlah biji	24
13. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap rata-rata bobot kering 100 biji	25
14. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi per pohon	26
15. Analisis korelasi bivariat dengan perlakuan teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi per hektar	28

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Tabel	Halaman
1a	Rata-rata kerapatan stomata (stomata/mm ²)	37
1b	Sidik ragam kerapatan stomata	37
2a	Rata-rata luas bukaan stomata (μm ²).....	38
2b	Sidik ragam luas bukaan stomata daun.....	38
3a	Rata-rata total Klorofil a (μmol.m ⁻²).....	39
3b	Sidik ragam total Klorofil a	39
4a	Rata-rata total Klorofil b (μmol.m ⁻²).....	40
4b	Sidik ragam total Klorofil b	40
5a	Rata-rata total Klorofil total (μmol.m ⁻²).....	41
5b	Sidik ragam total Klorofil total	41
6a	Rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk (dompol)	42
6b	Sidik ragam jumlah dompol bunga terbentuk	42
7a	Rata-rata persentase dompol bunga gugur (dompol).....	43
7b	Sidik ragam persentase dompol bunga gugur	43
8a	Rata-rata jumlah pentil buah terbentuk (pentil)	44
8b	Sidik ragam jumlah pentil buah terbentuk	44
9a	Rata-rata persentase pentil buah gugur (pentil).....	45
9b	Sidik ragam persentase pentil buah gugur	45
10a	Rata-rata persentase buah bertahan (%).....	46
10b	Sidik ragam persentase buah bertahan	46
11a	Rata-rata jumlah jumlah buah panen (buah)	47
11b	Sidik ragam jumlah jumlah buah panen	47
12a	Rata-rata jumlah biji per buah (biji).....	48
12b	Sidik ragam jumlah jumlah biji per buah	48
13a	Rata-rata bobot kering 100 biji (g)	49
13b	Sidik ragam bobot kering 100 biji.....	49
14a	Produksi per pohon (g)	50
14b	Sidik ragam produksi per pohon	50
15a	Produksi per hektar (Kg).....	51
15b	Sidik ragam produksi per hektar	51

Nomor urut	Gambar	Halaman
1.	Denah penelitian di lapangan	52
2a	Pengaplikasian biochar teknik sebar	53
2b	Pengaplikasian biochar teknik <i>ring placement</i>	53
2c	Pengaplikasian biochar teknik biopori	53
2d	Pengaplikasian pupuk NPK	53
3a	Pengamatan dompol bunga.....	54
3b	Pengamatan pentil buah	54
3c	Pengamatan klorofil	54
3d	Pengamatan stomata	54
4	Penampilan buah kakao setiap perlakuan	55
5	Penampilan biji kering kakao setiap perlakuan	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara agraris di mana sektor pertanian memegang peranan sangat penting dalam perekonomian. Di antara berbagai subsektor pertanian, perkebunan menjadi andalan utama dengan banyaknya komoditas unggul yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan diekspor ke berbagai negara. Salah satu komoditas perkebunan terpenting yang menyumbang devisa negara adalah kakao (*Theobroma cacao* L.). Kakao tidak hanya bernilai tinggi secara ekonomi, tetapi juga sangat penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional dan menyediakan banyak lapangan pekerjaan di sektor pertanian. Industri kakao Indonesia terus menunjukkan perkembangan yang baik, terlihat dari meningkatnya jumlah ekspor kakao dari tahun ke tahun serta naiknya konsumsi kakao di seluruh dunia. Hal ini menunjukkan bahwa potensi pasar kakao Indonesia masih sangat besar di pasar internasional.

Berdasarkan data dari International Cocoa Organization (ICCO) pada tahun 2022, Indonesia menduduki urutan ke-7 negara produsen kakao dunia setelah Pantai Gading, Ghana, Ekuador, Kamerun, Nigeria, Brasil, dan Indonesia. Pantai Gading merupakan negara produsen kakao terbesar di dunia dengan produksi mencapai 2,121 juta ton pada tahun 2021 atau menyumbang sekitar 40 persen dari total produksi kakao dunia. Indonesia merupakan produsen kakao terbesar ketujuh di dunia dan sekaligus negara penghasil kakao terbesar di wilayah benua Asia dengan total produksi pada tahun 2021 sebesar 180 ribu ton (International Cocoa Organization, 2021).

Indonesia memiliki peluang yang sangat besar untuk meningkatkan produksi dan ekspor kakao ke pasar dunia. Hal ini didorong oleh terus meningkatnya permintaan kakao global seiring dengan berkembangnya industri makanan dan minuman yang menggunakan kakao sebagai bahan baku utama. Indonesia memiliki keunggulan dalam budidaya tanaman kakao dibandingkan dengan negara-negara lain karena kondisi iklim dan ketersediaan lahan yang mendukung.

Indonesia mengalami penurunan produktivitas kakao secara signifikan dalam kurun waktu lima tahun terakhir. Data Badan Pusat Statistik (BPS) (2023) mencatat, pada tahun 2018 produktivitas biji kakao mencapai 631,02 kg/ha. Pada tahun 2019, produktivitas biji kakao tercatat 655,70 kg/ha, kemudian turun menjadi 628,20 kg/ha di tahun 2020. Penurunan berlanjut pada tahun 2021 dengan produktivitas kakao sebesar 595,78 kg/ha. Terakhir, pada tahun 2022, produktivitas biji kakao hanya mencapai 570,49 kg/ha.

Penurunan kemampuan produksi kakao dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah degradasi lahan yang terjadi akibat penggunaan bahan kimia secara tidak efisien (Nasaruddin et al., 2009). Faktor lain yang menyebabkan penurunan kemampuan produksi tanaman kakao adalah kurang suburannya tanah

perkebunan, rendahnya bahan organik dalam tanah, serta tidak optimalnya pemupukan. Sebagian besar kebun kakao di Indonesia berada di lahan-lahan marginal yang tingkat kesuburan tanahnya rendah. Kondisi ini menyebabkan tanaman kakao mengalami defisiensi unsur hara esensial sehingga pertumbuhan dan produksinya menjadi terhambat. Oleh karena itu, diperlukan upaya-upaya untuk mengatasi degradasi lahan dan defisiensi unsur hara pada tanaman kakao agar produktivitasnya dapat ditingkatkan secara optimal.

Upaya dalam mengatasi masalah degradasi dan pengelolaan tanah yaitu dengan penambahan bahan organik yang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Salah satu bahan organik yang biasa digunakan dalam pembenah tanah adalah biochar. Biochar adalah sejenis arang hitam yang dihasilkan melalui proses pemanasan biomassa dalam kondisi dengan sedikit oksigen atau tanpa oksigen sama sekali (Rahman, 2021). Pemilihan bahan baku untuk pembuatan biochar biasanya didasarkan pada ketersediaan sisa-sisa tanaman yang melimpah dan belum dimanfaatkan dengan optimal.

Janggol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam produksi biochar. Menurut Kalsum (2017) bahwa sekitar 30% dari bagian tongkol (buah) jagung adalah janggol jagung. Pada tahun 2021, produksi jagung di Indonesia mencapai 24,04 juta ton, yang berarti potensi limbah janggol jagung mencapai sekitar 7,21 juta ton. Namun, pemanfaatan janggol jagung saat ini masih sangat terbatas. Seringkali, limbah ini hanya dibuang atau dibakar begitu saja, yang dapat menimbulkan berbagai masalah lingkungan, seperti polusi udara, peningkatan efek rumah kaca, dan berkontribusi terhadap pemanasan global (Fathuliah et al., 2022).

Biochar yang diproduksi dari limbah janggol jagung memiliki manfaat sebagai pembenah tanah dalam pertanian. Penambahan biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi penting, seperti kalium, fosfor, dan nitrogen, serta meningkatkan kapasitas pertukaran kation tanah. Selain itu, biochar juga dapat mengurangi risiko kehilangan nutrisi melalui proses pencucian, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas air di lingkungan pertanian (Situmeang, 2020). Hasil penelitian Penggele (2021), menunjukkan bahwa perlakuan biochar 1 kg dapat meningkatkan jumlah pentil yang terbentuk, mengurangi jumlah pentil yang gugur dan meningkatkan persentase buah bertahan.

Teknik aplikasi biochar sangat mempengaruhi persentase unsur hara yang dapat diserap oleh akar tanaman kakao. Teknik aplikasi biochar dapat dilakukan dengan berbagai teknik yaitu teknik sebar, *ring placement*, dan biopori. Teknik sebar merupakan metode aplikasi biochar yang paling sederhana, yaitu dengan menggemburkan tanah kemudian menyebarkan biochar secara merata di permukaan tanah (Purba et al., 2021). Teknik *ring placement* melibatkan penempatan biochar dalam bentuk lingkaran dengan jarak yang sejajar dengan daun terluar (tajuk daun) kemudian menutupnya dengan tanah (Krisnawati dan Adirianto, 2019). Teknik biopori merupakan teknik yang melibatkan penempatan biochar di dalam lubang-lubang vertikal yang dibuat di tanah. Teknik aplikasi ini dianggap lebih efisien

mengurangi kerugian unsur hara dari pupuk yang diaplikasikan melalui aliran permukaan (*runoff*) dan penguapan (Ginting et al., 2018). Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian Andi (2022) yang menunjukkan bahwa teknik aplikasi biochar pada teknik biopori memberikan pengaruh terbaik terhadap dompol bunga terbentuk dan jumlah buah panen.

Selain aplikasi biochar, pemberian pupuk anorganik seperti pupuk majemuk NPK juga dapat meningkatkan kesuburan tanah dan menyediakan unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman kakao. Pupuk NPK merupakan pupuk majemuk yang mengandung unsur hara utama, yaitu nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Unsur-unsur tersebut berperan penting dalam mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman. Pupuk NPK yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk majemuk NPK Phonska (N : 15%, P₂O₅ : 10%, K : 12%, S : 10%). Menurut Lakitan (2012), unsur N berperan merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, berfungsi untuk sintesa asam amino dan protein dalam tanaman dan mempercepat pertumbuhan tanaman terutama organ vegetatif diantaranya untuk pembentukan daun dan perakaran. Unsur P berperan dalam pembentukan sistem perakaran yang baik dan memacu pematangan buah dan biji. Unsur Kalium merupakan unsur yang berperan penting dalam menjaga buah agar lebih kuat dan memiliki kualitas baik (Rosniawaty et al., 2022). Hal ini dapat dilihat dari hasil penelitian Saragih et al. (2020), menunjukkan bahwa pupuk majemuk NPK menghasilkan jumlah flus daun tertinggi dan hasil buah masak tertinggi.

Kombinasi antara teknik aplikasi biochar dari janggel jagung dan dosis pupuk NPK diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi permasalahan kakao yang terjadi dilapangan. Pendekatan ini dipilih karena penggunaan biochar melalui teknik biopori memiliki kemampuan untuk mensuplai unsur hara secara langsung ke akar tanaman, terutama dengan bantuan biochar yang mampu menyerap dan menyimpan air dalam tanah untuk jangka waktu yang lebih lama. Hal ini memastikan pasokan unsur hara tetap terjaga untuk tanaman. Sementara itu, penambahan dosis pupuk NPK yang dapat menyediakan unsur hara makro yang dibutuhkan tanaman sehingga pertumbuhan dan produksi tanaman akan sangat baik.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian terkait teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi tanaman kakao.

1.2 Landasan Teori

1.2.1 Teknik Aplikasi Pupuk

Teknik pemupukan merupakan aspek krusial dalam budidaya tanaman, termasuk kakao, yang dapat secara signifikan memengaruhi efisiensi penyerapan nutrisi dan produktivitas tanaman. Beberapa metode aplikasi pupuk yang telah dikembangkan dan diterapkan dalam praktik pertanian modern mencakup teknik sebar, ring placement, dan biopori.

a. Teknik Sebar (*broadcasting*)

Pemupukan dengan cara sebar merupakan cara yang paling sederhana. Pupuk diberikan ke media tanam dengan cara disebar di atas permukaan media tanam. Biasanya, teknik ini dikenal efisien untuk area tanam yang luas dan menghemat waktu serta tenaga kerja. Teknik sebar cocok digunakan untuk tanaman dengan sistem akar pendek (Purba *et al.*, 2021). Waktu yang tepat untuk melakukan pemupukan sebar adalah sebelum penanaman (saat persiapan lahan) sebagai pupuk dasar. Namun, dalam beberapa kasus, pemupukan sebar juga dapat dilakukan setelah penanaman sebagai pupuk tambahan. Ada dua metode dalam teknik pemupukan secara sebar, yaitu *top dressing* dan *side dressing*. *Top dressing* yaitu pupuk ditebarkan merata di seluruh permukaan tanah atau disesuaikan dengan alur yang tersedia dan *side dressing* yaitu melibatkan penyebaran pupuk di sekitar alur benih atau tanaman (Prabowo, 2018).

Pemupukan dengan metode sebar memiliki keunggulan dalam meningkatkan fiksasi atau pengikatan unsur hara tertentu oleh tanah. Selain itu, penggunaan teknik pemupukan sebar lebih efisien dalam hal waktu dan tenaga kerja, serta lebih mudah diterapkan dalam budidaya tanaman. Namun, ada beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah risiko terjadinya penguapan atau volatilisasi ammonium (NH_4) menjadi bentuk gas ammonia (NH_3), yang dapat mengurangi efisiensi pemupukan, serta dapat merangsang pertumbuhan gulma (Krisnawati dan Adirianto, 2019).

Kelemahan lain dari pemupukan dengan cara sebar adalah ketidaksebaran pupuk secara merata di seluruh area tanah yang diberi pupuk. Hal ini bisa mengakibatkan penumpukan pupuk di area tertentu, sementara area lainnya kekurangan pupuk. Sebagai akibatnya, tanaman hanya dapat menyerap jumlah pupuk yang terbatas. Kondisi lahan pertanian harus diperhatikan dengan baik selama proses penaburan pupuk ke tanaman (Purba *et al.*, 2021).

b. Piringan (*Ring placement*)

Teknik penempatan pupuk dalam bentuk piringan umumnya digunakan untuk tanaman tahunan dengan cara menaburkan pupuk mengelilingi tanaman dengan jarak yang sejajar dengan daun terluar (tajuk daun) dan kemudian menutupnya dengan tanah. Pendekatan ini dapat digunakan ketika tanaman ditanam dengan jarak yang cukup luas, tanah memiliki kesuburan yang rendah, dan perkembangan akar tanaman terbatas. Pupuk ditebarkan pada piringan yang dibuat, lalu ditutup kembali dengan tanah (Krisnawati dan Adirianto, 2019).

teknik piringan cocok digunakan untuk tanah yang kurang subur, lahan yang cenderung kering, jarak tanam yang jarang, perakaran tanaman yang terbatas, tanaman tahunan, penggunaan jumlah pupuk yang terbatas, penggunaan pupuk berbentuk tablet, terutama untuk pupuk fosfor dan kalium. Keunggulan dari metode ini adalah kontak langsung antara pupuk dan tanah dapat dikurangi, sehingga penyerapan unsur hara dapat dikendalikan, serta tanaman lebih mudah menyerap unsur hara, terutama bagi tanaman dengan perakaran yang terbatas. Selain itu, efek

residual dari pupuk juga lebih signifikan, dan hilangnya unsur hara dapat diminimalkan (Roni, 2015). Namun, kelemahan dari metode ini terkait dengan rendahnya kesuburan tanah jika jumlah pupuk yang digunakan terbatas dan penyebaran pupuk yang tidak merata (Krisnawati dan Adirianto, 2019).

c. **Biopori (*Spot placement*)**

Biopori merupakan lubang silindris yang dibuat secara vertikal di dalam tanah dengan diameter 10-30 cm dan kedalaman sekitar 100 cm atau tidak melebihi kedalaman muka air tanah. Lubang ini kemudian diisi dengan pupuk atau sampah organik, yang bertujuan untuk menghidupkan mikroorganisme atau fauna dalam tanah. Mikroorganisme tersebut yang akan membentuk pori-pori atau terowongan dalam tanah yang memungkinkan air meresap ke dalam tanah secara horizontal (Apreliana, 2019).

Teknik biopori dapat diterapkan pada tanaman yang sudah tumbuh besar, seperti tanaman kakao, karet, kopi, kelapa sawit, dan tanaman lainnya. Pembuatan lubang biopori biasanya diperlukan pada lahan dengan kemiringan atau tanah yang tidak datar. Pada lahan yang memiliki kemiringan, lubang biopori dapat digunakan sebagai tempat untuk melakukan pemupukan antar tanaman (Purba *et al.*, 2021).

Proses pembuatan lubang biopori dimulai dengan menggunakan alat seperti bor tanah. Kemudian, tanah yang dikeluarkan dari bor tersebut akan menentukan jarak antara lubang, yang disesuaikan dengan jenis tanaman yang akan ditanam. Setelah itu, lubang biopori diisi dengan pupuk sesuai kebutuhan tanaman. Lubang tersebut kemudian ditutup dengan dedaunan. Tujuan dari penutupan lubang ini adalah untuk mencegah air pupuk keluar dari lubang saat hujan lebat dan memastikan bahwa pupuk akan larut dan tersedia untuk diserap oleh akar tanaman ketika berada di dalam lubang (Purba *et al.*, 2021).

Aplikasi pupuk melalui metode biopori dapat dilakukan apabila jarak tanam cukup lebar. Kelebihan dari memberikan pupuk dengan metode biopori adalah pupuk tidak mudah menguap dan diaplikasikan secara langsung ke dalam tanah dekat dengan akar tanaman. Namun, kelemahannya adalah waktu yang diperlukan cukup lama dan takaran pupuk harus diatur agar seragam di setiap lubang (Krisnawati dan Adirianto, 2019). Dibandingkan dengan metode sebar, aplikasi pupuk melalui metode biopori dianggap lebih efisien. Metode biopori mampu mengurangi kerugian unsur hara dari pupuk yang diaplikasikan melalui aliran permukaan (*runoff*) dan penguapan, terutama pada pupuk urea yang memiliki tingkat higroskopisitas dan kelarutan yang tinggi (Ginting *et al.*, 2018).

1.2.2 Biochar

Biochar adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan arang berpori yang dihasilkan dari sampah organik dan kemudian dicampurkan ke dalam tanah. Biochar diproduksi melalui proses pembakaran yang tidak sempurna, di mana oksigen (O₂) sangat terbatas dan suhu yang tinggi. Dalam proses ini, tercipta dua jenis bahan bakar, yaitu gas sintetis dan minyak nabati, serta produk sampingan

berupa arang berpori yang disebut biochar. Biochar memiliki karakteristik yang mencakup permukaan yang besar, pori-pori makro dan mikro, kerapatan isi, dan kemampuan menahan air yang tinggi. Sifat-sifat ini memungkinkan biochar untuk menyediakan karbon (C) dan mengurangi emisi karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dengan menangkapnya dan menyimpannya dalam tanah (Liang, 2008).

Biochar berperan dalam meningkatkan kandungan C-organik dalam tanah, biochar menciptakan lingkungan yang mendukung aktivitas mikroba tanah dalam mendekomposisi bahan organik tanah untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara. Selain itu, penggunaan biochar juga memberikan sejumlah manfaat, seperti perbaikan struktur tanah, peningkatan luas permukaan koloid, kemampuan menahan air dan mencegah erosi tanah, serta kemampuan mengikat unsur-unsur seperti N, Ca, K, dan Mg (Mautuka *et al.*, 2022).

Biochar telah lama dikenal dalam bidang pertanian sebagai bahan pembenah tanah yang bermanfaat untuk meningkatkan produktivitas tanah. Bahan utama yang digunakan untuk membuat biochar berasal dari limbah pertanian dan perkebunan, seperti sekam padi, janggel jagung, tempurung kelapa, kulit buah kakao, dan kayu yang diperoleh dari tanaman hutan industri. Proses awal pembuatan biochar biasanya melibatkan metode pirolisis lambat, di mana biomassa terbakar dalam kondisi oksigen yang sangat terbatas dengan tingkat pemanasan dan suhu puncak yang relatif rendah (Penggele, 2021).

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai bahan utama dalam pembuatan biochar adalah janggel jagung. Janggel jagung merupakan limbah pertanian yang mudah ditemukan dan memiliki harga yang terjangkau. Janggel jagung termasuk dalam kategori limbah pertanian yang sulit terurai atau memiliki rasio C/N yang tinggi. Seiring dengan peningkatan produksi jagung, jumlah limbah janggel jagung juga meningkat, sehingga penggunaan janggel jagung sebagai bahan utama dalam pembuatan biochar dianggap sebagai pilihan yang efisien (Listyarini dan Prabowo, 2020). Di dalam janggel jagung terdapat komposisi bahan seperti selulosa sebanyak 69,937%, hemiselulosa sebanyak 17,797%, dan lignin sebanyak 9,006% (Mautuka *et al.*, 2022).

1.2.3 Pupuk NPK

Pupuk NPK sering juga dikenal sebagai pupuk majemuk yaitu pupuk yang terdiri lebih dari satu jenis unsur hara makro dan mikro yang terkandung didalamnya. Kandungan unsur hara pupuk NPK adalah N : 15%, P₂O₅ : 10%, K : 12%, S : 10%. Keunggulan dari pupuk NPK yaitu untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pemupukan, mudah dalam aplikasi serta memiliki sifat-sifat agronomis yang menguntungkan. Selain itu pupuk NPK dapat digunakan pada semua jenis tanaman, serta pada berbagai kondisi lahan, iklim dan lingkungan (Muhdiyono, 2020).

Pupuk NPK sangat baik digunakan untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kandungan nitrogen bagi tanaman ialah untuk merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, khususnya batang, cabang dan daun. Nitrogen juga berperan penting dalam hal pembentukan hijau daun yang

berguna sekali dalam proses fotosintesis. Unsur N diserap oleh tanaman dalam bentuk ion NO_3^- atau NH_4^+ dari tanah (Sandrasari, 2010).

Unsur fosfor berperan penting untuk merangsang pertumbuhan dan perkembangan akar, membantu asimilasi dan respirasi, mempercepat pembungaan dan pematangan biji dan buah, serta berperan sebagai aktivator enzim dalam proses metabolisme. Kekurangan P mengakibatkan perkembangan akar terhambat, daun berubah warna menjadi tua, cabang berubah menjadi kuning, buah menjadi kecil dan cepat matang. Fosfor diserap oleh tanaman dalam bentuk H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} , tergantung pada pH tanah. Unsur kalium berperan dalam pembentukan protein dan karbohidrat, memperkuat jaringan tanaman, serta meningkatkan daya tahan terhadap penyakit. Kekurangan unsur K dapat mengakibatkan daun mengerut, buah tumbuh tidak sempurna, dan batang menjadi lemah (Alfianto, 2020).

1.3 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi tanaman kakao.

Manfaat penelitian ini adalah sebagai bahan informasi tentang teknik aplikasi biochar janggel jagung dan dosis pupuk NPK terhadap produksi tanaman kakao serta dapat dijadikan acuan dalam penelitian selanjutnya.

1.4 Hipotesis

Berdasarkan uraian diatas, maka hipotesis yang dapat dikemukakan, sebagai berikut ;

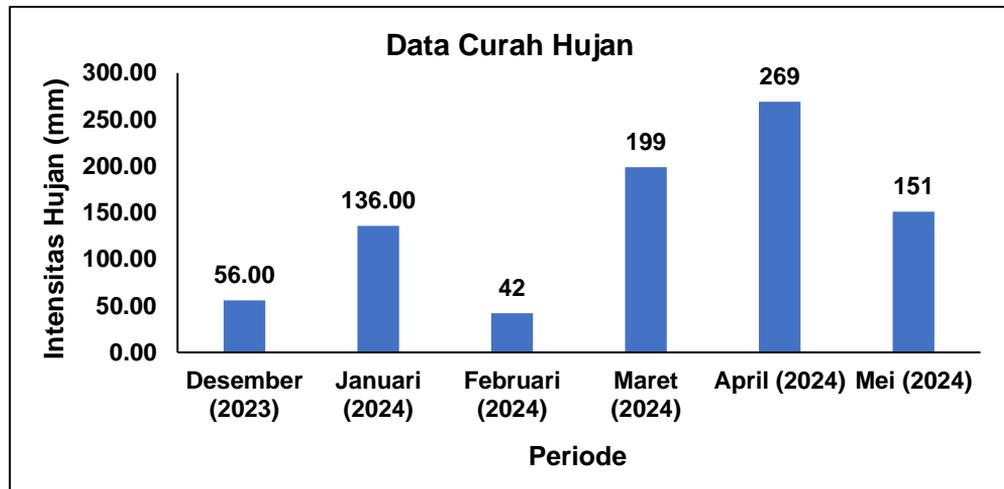
1. Terdapat interaksi antara teknik aplikasi biochar janggel jagung dengan dosis pupuk NPK terhadap produksi tanaman kakao.
2. Terdapat salah satu teknik aplikasi biochar janggel jagung yang memberikan pengaruh terbaik terhadap produksi tanaman kakao.
3. Terdapat salah satu dosis pupuk NPK yang memberikan pengaruh terbaik terhadap produksi tanaman kakao.

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Tolotenreng, Kecamatan Sabbang Paru, Kabupaten Wajo, Provinsi Sulawesi Selatan, yang berada pada ketinggian 28 mdpl dan berada pada posisi titik koordinat $4^{\circ} 13'39.80''$ LS dan $120^{\circ} 0'50.27''$ BT. Pelaksanaan penelitian ini berlangsung dari bulan Desember 2023 hingga Mei 2024.



Sumber: Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan (2024).

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah tanaman kakao jenis klon MCC01 berumur 5 tahun yang sudah berproduksi sebanyak 1 kali dengan jarak tanam 3 m x 3 m, janggel jagung, air, papan perlakuan, pupuk NPK phonska, pupuk kompos, cat minyak, thinner, kuteks bening, dan selotip bening.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pirolisator sederhana (drum), kompor, *bimetal thermometer*, cangkul, gunting pangkas, parang, timbangan, linggis, ember, kuas, ATK, penggaris, *Content Chlorofil Meter* (CCM-200+), kaca preparat, mikroskop, kamera, dan laptop.

2.3. Metode Penelitian

Penelitian disusun dalam bentuk percobaan dengan menggunakan Rancangan Petak Terpisah (RPT) dengan petak utama adalah teknik aplikasi biochar janggel jagung yang terdiri atas: t1 (teknik sebar (*broadcasting*)), t2 (teknik piringan (*ring placement*)), dan t3 (teknik biopori (*spot placement*)). Anak petak adalah dosis pupuk NPK yang terdiri atas: p0 (NPK 0 g/pohon (kontrol)), p1 (NPK

175 g/pohon), p2 (NPK 350 g/pohon), dan p3 (NPK 525 g/pohon), dengan demikian terdapat 12 kombinasi perlakuan, setiap kombinasi terdiri dari 2 tanaman yang diulang sebanyak 3 kali sehingga digunakan sebanyak 72 tanaman.

2.4. Pelaksanaan Penelitian

2.4.1 Pemilihan Tanaman Kakao

Tanaman kakao yang digunakan merupakan tanaman kakao klon MCC01 yang berumur 5 tahun. Kemudian dilakukan pemilihan tanaman yang seragam, dilanjutkan dengan membuat pengacakan, setelah itu masing-masing unit percobaan tanaman diberikan papan perlakuan.

2.4.2 Pembuatan Biochar Janggel Jagung

Pembuatan biochar janggel jagung dapat dilakukan dengan mengumpulkan janggel jagung yang telah menjadi limbah di petani sekitar tempat penelitian. Adapun tahapan dalam proses membuat biochar antara lain:

- a. Pengeringan, janggel jagung sebelum dibakar perlu dikeringkan terlebih dahulu dengan bantuan sinar matahari.
- b. Pembakaran, dilakukan menggunakan pirolisator sederhana berbentuk vertikal yang terbuat dari drum selama 4 jam. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan kompor. Suhu pembakaran yang digunakan berkisar antara 300°C – 400 °C dengan menggunakan *bimetal thermometer* yang dipasang di bagian tengah alat. Suhu pembakaran didalam drum harus dikontrol dan apabila suhu mencapai 200°C, pirolisasi ditutup. Indikator pembakaran berjalan dengan baik apabila asap mulai keluar melalui cerebong. Arang yang terbentuk dikeluarkan dan langsung disemprot air agar tidak menjadi abu kemudian dijemur dan dihaluskan.

2.4.3 Sanitasi

Sanitasi dilakukan dengan cara membersihkan areal tempat pertumbuhan perakaran tanaman kakao dari segala macam sumber yang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, meliputi gulma dan ranting. Sanitasi dilakukan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya serangan hama penyakit.

2.4.4 Pengaplikasian Pupuk Dasar

Aplikasi pupuk dasar berupa pupuk kompos sebesar 2,7 kg/pohon yang dilakukan sekali pada awal penelitian dengan cara digemburkan di area piringan tanaman kemudian disebar disekitar batang utama. Pupuk kompos yang telah diaplikasi kemudian ditimbun dengan serasah-serasah yang berada di sekitar pertanaman.

2.4.5 Pengaplikasian Biochar

Biochar diaplikasikan sesuai dengan perlakuan, terdiri dari 3 teknik yaitu teknik sebar, *ring placement*, dan biopori dengan dosis 1 kg/pohon. Pada perlakuan teknik sebar, dengan menggemburkan tanah disekitar batang utama kemudian mengaplikasikan biochar dengan teknik sebar. Teknik *ring placement*, dengan membuat seperti piringan atau lingkaran di sekeliling tanaman kakao dengan jarak yang sejajar dengan daun terluar (tajuk daun). Teknik biopori, membuat lubang dengan diameter 20 cm dan kedalaman 80 cm pada jarak 75 cm dari batang utama yang terdiri atas 4 lubang tiap tanaman. Biochar diaplikasikan sekali setelah aplikasi pupuk dasar.

2.4.6 Pengaplikasian Pupuk NPK

Aplikasi pupuk NPK sesuai dengan dosis perlakuan diaplikasikan sekali setelah aplikasi biochar dengan metode *ring placement* dengan jarak yang sejajar dengan daun terluar (tajuk daun). Pupuk NPK yang telah diaplikasikan kemudian ditimbun dengan tanah dan serasah-serasah yang berada di sekitar pertanaman.

2.4.7 Pemeliharaan

Melaksanakan pemeliharaan dengan melakukan penyiangan. Penyiangan dilakukan jika terdapat gulma yang tumbuh disekitar tanaman kakao dengan cara mencabut gulma.

2.4.8 Panen

Pemanenan tanaman kakao dilakukan dengan cara memotong tangkai buah menggunakan gunting pangkas atau parang. Pemotongan tangkai dilakukan sedekat mungkin dengan jarak sekitar 1-1,5 cm karena tangkai buah tersebut adalah salah satu investasi untuk bunga-bunga kakao baru nantinya yang akan tumbuh di bekas tangkai buah tersebut.

2.5. Pengamatan dan Pengukuran

1. Komponen stomata daun, pengambilan sampel stomata dilakukan dengan menggunakan kuteks bening dan plester bening pada daun ke-5 dari pucuk yang terdapat pada tangkai cabang primer. Pengambilan sampel yang diamati dilakukan pada akhir penelitian. Komponen stomata daun meliputi: kerapatan stomata dan luas bukaan stomata. Kerapatan stomata (stomata/mm²), dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kerapatan stomata} = \frac{\text{Jumlah stomata}}{\text{Luas bidang pandang}}$$

Sumber: Nasaruddin, 2022.

Untuk mengukur kerapatan stomata harus menggunakan pembesaran 400 kali dengan diameter bidang pandang 0,52 mm². Sedangkan pengukuran luas bukaan stomata menggunakan pembesaran 1000 kali dengan diameter bidang pandang 0,52 mm² pada akhir penelitian.

$$\text{Luas Bukaan Stomata} = \pi \times r_1 \times r_2$$

Sumber: Nasaruddin, 2022.

Keterangan:

$$\pi = 3,14$$

$$r_1 = \frac{\text{Panjang stomata}}{2} \text{ (}\mu\text{m)}$$

$$r_2 = \frac{\text{Lebar stomata}}{2} \text{ (}\mu\text{m)}$$

2. Komponen klorofil daun, diamati menggunakan *Content Chlorofil Meter* (CCM-200⁺) pada daun ke-5 dari pucuk. Parameter ini dilakukan diakhir penelitian. Pengamatan dilakukan terhadap kandungan klorofil a ($\mu\text{mol.m}^{-2}$), klorofil b ($\mu\text{mol.m}^{-2}$) dan total klorofil daun ($\mu\text{mol.m}^{-2}$), dengan menggunakan rumus: kandungan klorofil daun = $a + b (\text{CCI})^c$, dimana a, b dan c adalah konstanta dan CCI adalah indeks klorofil daun yang terbaca pada CCM 200⁺ dimana:

Tabel 1. Nilai Konstanta a, b, dan c

Parameter	$y = a + b (\text{CCI})^c$		
	a	b	c
Chl a	-421.35	375.02	0.1863
Chl b	38.23	4.03	0.88
Chl tot	38.23	269.96	0.277

Sumber: *Goncalves*, 2008 *dalam* Nasaruddin, 2022

3. Jumlah dompol bunga yang terbentuk (dompol) yaitu menghitung jumlah dompol bunga yang terbentuk pada batang utama hingga cabang primer mulai dari 2 hingga 20 minggu setelah perlakuan dengan interval pengamatan 2 minggu sekali.
4. Persentase dompol bunga gugur (%), yaitu dengan menggunakan rumus:

$$\text{Persentase dompol bunga gugur} = \frac{\text{Jumlah bunga yang gugur}}{\text{Jumlah bunga yang terbentuk}} \times 100\%$$
5. Jumlah pentil buah yang terbentuk (buah), yaitu menghitung jumlah pentil kakao yang terbentuk pada daerah batang utama hingga cabang primer mulai dari 2 minggu hingga 20 minggu setelah perlakuan dengan interval 2 minggu sekali.
6. Persentase pentil buah yang gugur (%), yaitu dengan menggunakan rumus:

$$\text{Persentase pentil buah yang gugur} = \frac{\text{Jumlah pentil buah yang gugur}}{\text{Jumlah pentil buah yang terbentuk}} \times 100\%$$
7. Persentase buah muda yang diasumsikan bertahan (%), ukuran buah >10 cm.

$$\text{Persentase buah bertahan} = \frac{\text{Jumlah buah bertahan}}{\text{Jumlah pentil buah terbentuk}} \times 100\%$$

8. Jumlah buah panen (buah), ditentukan pada akhir penelitian dengan menghitung seluruh buah yang matang dan siap panen mulai dari batang utama sampai cabang primer. Pemanenan ini dilakukan setiap saat ketika buah sudah matang dikarenakan kematangan kakao tidak terjadi pada waktu bersamaan.
9. Jumlah biji per buah (biji), diamati pada akhir penelitian.
10. Bobot 100 biji kering (g), diamati pada akhir penelitian setelah dilakukan pengeringan biji kakao hingga kadar air mencapai 8%.
11. Produksi per pohon (g), diamati pada akhir penelitian.
12. Produksi per hektar (kg), diamati pada akhir penelitian.

2.6. Analisis Data

Data dikumpulkan kemudian ditabulasi dalam bentuk tabel. Data yang sudah ditabulasi kemudian diolah dalam bentuk sidik ragam (*Anova*) dengan taraf kepercayaan 95%. Data yang menunjukkan hasil yang nyata atau sangat nyata akan dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan uji Beda Nyata Terkecil (BNT) dan uji korelasi bivariat.