

**APLIKASI BIOCHAR TEMPURUNG KELAPA DAN KONSORSIUM
RIZOBAKTERI TERHADAP PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN
KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

*APPLICATION OF COCONUT SHELL BIOCHAR AND
RHIZOBACTERIA CONSORTIUM ON THE IMPROVEMENT OF
COCOA (*Theobroma cacao* L.) PRODUCTION*

REYNALDI LAURENZE

G012212006



**PROGRAM STUDI MAGISTER AGROTEKNOLOGI
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**APLIKASI BIOCHAR TEMPURUNG KELAPA DAN KONSORSIUM
RIZOBAKTERI TERHADAP PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN
KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Agroteknologi

Disusun dan diajukan oleh

REYNALDI LAURENZE

G012212006

kepada

PROGRAM STUDI MAGISTER AGROTEKNOLOGI

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

TESIS

**APLIKASI BIOCHAR TEMPURUNG KELAPA DAN KONSORSIUM
RIZOBAKTERI TERHADAP PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN
KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

yang disusun dan diajukan oleh

REYNALDI LAURENZE


NIM: G012212006


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka penyelesaian studi Program Magister Agroteknologi Fakultas
Pertanian Universitas Hasanuddin
pada tanggal 30 Mei 2023

Menyetujui,


Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. H. Ambo Ala, MS.
NIP. 19541231 198102 1 006


Dr. Ifayanti Ridwan Saleh, SP, MP.
NIP. 19740907 201212 1 001

Ketua Program Studi
Magister Agroteknologi


Dr. Ir. Muh. Riadi, MP
NIP. 19640905 198903 1 003

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin


Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc
NIP. 19631203 198811 1 005

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Aplikasi Biochar Tempurung Kelapa dan Konsorsium Rizobakteri terhadap Peningkatan Produksi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)" adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. Ambo Ala, MS. dan Dr. Ifayanti Ridwan Saleh, SP, MP). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. 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 tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal (Laurenze *et al*) sebagai artikel dengan judul "Application of coconut shell biochar and rhizobacteria consortium to increase cocoa (*Theobroma cacao* L.) production."

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin

Makassar, 5 Juni 2023



Reynaldi Laurenze

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kehendaknya yang memberikan penulis kekuatan dan kemauan sehingga tesis yang berjudul **“Aplikasi Biochar Tempurung Kelapa dan Konsorsium Rizobakteri terhadap Peningkatan Produksi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)”** dapat terselesaikan dengan baik yang sekaligus menjadi syarat untuk menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin.

Dalam penulisan tesis ini, penulis pun menyadari sepenuhnya bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan mengingat keterbatasan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan tulisan ini sangat penulis harapkan. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Penulis pun menyadari bahwa tanpa dukungan dari beberapa pihak, penulisan tesis ini tidak dapat terselesaikan dengan baik, oleh karena itu perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara yang selalu memberikan bantuan yang sangat besar, dukungan, doa, perhatian, serta kasih sayangnya kepada penulis yang tak ternilai dan tak pernah usai selama penyelesaian penelitian dan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. H. Ambo Ala, MS. selaku Pembimbing I dan Dr. Ifayanti Ridwan Saleh, SP., MP. selaku Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya memberikan arahan dan petunjuk dalam pelaksanaan penelitian ini hingga terselesaikannya penelitian ini.

3. Prof. Dr. Ir. Elkawakib Syam'un, MP., Dr. Ir. Rafiuddin, MP, dan Dr. Agung Wahyu Susilo, SP., MP. selaku penguji yang telah memberikan banyak saran dan masukan kepada penulis sejak awal penelitian hingga terselesaikannya penelitian ini.
4. Dr. Ir. Muh Riadi, MP selaku ketua Program Studi Magister Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin, beserta seluruh dosen dan staf pegawai atas segala bantuan dan perhatian yang telah diberikan.
5. Keluarga besar Bapak Kasman yang telah memberikan kesempatan belajar dan memberikan ilmu pengetahuan serta menyediakan kebun kakao sebagai tempat penelitian berlangsung.
6. Keluarga besar *Plant Physiology* (E11) yang selalu bersedia menjadi penyemangat, tempat belajar dan berbagi ilmu serta senantiasa memberikan kritik dan saran yang sangat membangun.
7. Teman-teman Agroteknologi 2017 dan Agroteknologi 2021(2) atas semangat, dukungan, dan doa yang telah diberikan.
8. Seluruh pihak yang telah memberikan semangat dan dukungan dari awal penelitian hingga terselesaikannya penelitian ini.

Makassar, April 2023

Reynaldi Laurenze

ABSTRAK

REYNALDI LAURENZE, Aplikasi Biochar Tempurung Kelapa dan Konsorsium Rizobakteri terhadap Peningkatan Produksi Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.). Dibimbing oleh **AMBO ALA** dan **IFAYANTI RIDWAN SALEH**.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mempelajari interaksi antara biochar tempurung kelapa dengan rizobakteri terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kakao. Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Kodeoha, Kabupaten Kolaka Utara, Sulawesi Tenggara pada September 2022 hingga Maret 2023. Penelitian ini dilaksanakan dalam bentuk percobaan dengan menggunakan Rancangan Petak Terpisah (RPT), dimana petak utama adalah dosis biochar yang terdiri atas 4 taraf, yaitu 0 ton ha⁻¹, 2,5 ton ha⁻¹, 5 ton ha⁻¹, dan 7,5 ton ha⁻¹, sedangkan anak petak adalah konsentrasi rizobakteri yang terdiri atas 4 taraf, yaitu 0 mL L⁻¹, 50 mL L⁻¹, 100 mL L⁻¹, dan 150 mL L⁻¹ dengan 3 ulangan dan 2 unit tanaman sehingga terdapat 96 unit percobaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi antara biochar 5 ton ha⁻¹ dengan rizobakteri 100 mL L⁻¹ menunjukkan hasil terbaik terhadap klorofil a (335,50 µmol m⁻²), klorofil b (150,33 µmol m⁻²), dan klorofil total (484,00 µmol m⁻²). Interaksi antara biochar 5 ton ha⁻¹ dengan rizobakteri 150 mL L⁻¹ menunjukkan hasil terbaik terhadap persentase jumlah pentil buah gugur (60,47%), jumlah buah panen (10,00 buah), produksi per pohon (605,57 g/pohon), produksi per hektar (672,79 kg/ha), luas bukaan stomata (30,88 µm²). Interaksi antara biochar 7,5 ton ha⁻¹ dengan rizobakteri 150 mL L⁻¹ menunjukkan hasil terbaik terhadap bobot 100 biji kering (159,03 g).

Kata kunci: *Biochar, Kakao, Produksi, Rizobakteri.*

ABSTRACT

REYNALDI LAURENZE, Application of Coconut Shell Biochar and Rhizobacteria Consortium on the Improvement of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Production. Supervised by **AMBO ALA** and **IFAYANTI RIDWAN SALEH**.

This research is aimed to study and investigate how coconut shell biochar interacts with rhizobacteria to cocoa plants growth and production. The research was conducted at Kodeoha, North Kolaka, Southeast Sulawesi from September 2022 until March 2023. The experiment was set using a split plot design with biochar dosage as the Main Plot consisted of four levels, namely 0 ton ha⁻¹, 2.5 ton ha⁻¹, 5 ton ha⁻¹, and 7.5 ton ha⁻¹ and rhizobacteria concentration as Sub Plots consisted of four levels, namely 0 mL L⁻¹, 50 mL L⁻¹, 100 mL L⁻¹, and 150 mL L⁻¹. The results of the recent research show a significant interaction between biochar 5 ton ha⁻¹ and rhizobacteria 100 mL L⁻¹ with best results shown by parameters of chlorophyll a (335,50 μmol m⁻²), chlorophyll b (150,33 μmol m⁻²), and total chlorophyll (484,00 μmol m⁻²). Interaction between biochar 5 ton ha⁻¹ and rhizobacteria 150 mL L⁻¹ showed the best results in percentage of cherelle wilt (60,47%), harvested pods (10,00 pods), production per tree (605,57 g/tree), production per hectare (672,79 kg/ha), stomatal opening area (30,88 μm²). Interaction between biochar 7,5 ton ha⁻¹ and rhizobacteria 150 mL L⁻¹ showed the best result in weight of 100 dry beans (159,03 g).

Keywords: *Biochar, Cocoa, Production, Rhizobacteria.*

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Fisiologi Pembungaan Kakao	8
2.2 Layu Pentil (<i>Cherelle wilt</i>)	11
2.3 Biochar Tempurung Kelapa	12
2.4 Rizobakteri	15
2.5 Pengaruh Aplikasi Biochar dan Rizobakteri terhadap Perbaikan Kualitas Lahan dan Tanaman.	19
2.6 Hipotesis	22
2.7 Kerangka Konseptual	23
BAB III. BAHAN DAN METODE	24
3.1 Tempat dan Waktu	24
3.2 Alat dan Bahan	24
3.3 Metode Penelitian.	24
3.4 Pelaksanaan Penelitian.	25
3.5 Analisis Data	32
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil	33
4.2 Pembahasan	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Kesimpulan	83
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	92

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
1.	Nilai konstanta klorofil daun	30
2.	Indikator kesuburan tanah	31
3.	Rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk (dompol) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	33
4.	Rata-rata persentase jumlah dompol bunga gugur (%) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	36
5.	Rata-rata jumlah pentil buah terbentuk (pentil) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	37
6.	Rata-rata persentase jumlah pentil buah gugur (%) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	40
7.	Rata-rata jumlah buah panen (buah) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	41
8.	Rata-rata bobot 100 biji kering (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	45
9.	Rata-rata produksi per pohon (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	48
10.	Rata-rata produksi per hektar (kg) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	51
11.	Rata-rata luas bukaan stomata (μm^2) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	55
12.	Rata-rata klorofil a ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	58
13.	Rata-rata klorofil b ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	60
14.	Rata-rata klorofil total ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	63
15.	Hasil analisis korelasi antara karakter pertumbuhan dan fisiologis dengan produksi	65
16.	Hasil analisis korelasi sifat kimia tanah dengan komponen fisiologis tanaman	66
17.	Hasil analisis korelasi sifat kimia tanah dengan komponen produksi tanaman.....	67

Lampiran

1.	Komposisi konsorsium rizobakteri “mikrobat”	93
2.	Hasil analisis kandungan hara biochar	93
3.	Hasil analisis tanah sebelum perlakuan	93
4.	Hasil analisis tanah setelah perlakuan	94
5a.	Rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk (dompol) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	95
5b.	Sidik ragam rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	95
5c.	Sidik ragam data hasil transformasi (\sqrt{x}) rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	96
5d.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	96
6a.	Rata-rata persentase jumlah dompol bunga gugur (%) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	97
6b.	Sidik ragam rata-rata persentase jumlah dompol bunga gugur pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	97
7a.	Rata-rata jumlah pentil buah terbentuk (pentil) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	98
7b.	Sidik ragam rata-rata jumlah pentil buah terbentuk pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	98
7c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata jumlah pentil buah terbentuk pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	99
8a.	Rata-rata persentase jumlah pentil buah gugur (%) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	100
8b.	Sidik ragam rata-rata persentase jumlah pentil buah gugur pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	100
9a.	Rata-rata jumlah buah panen (buah) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	101
9b.	Sidik ragam rata-rata jumlah buah panen pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	101

9c.	Sidik ragam data hasil transformasi (\sqrt{x}) rata-rata jumlah buah panen pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	102
9d.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata jumlah buah panen pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	102
10a.	Rata-rata jumlah biji per buah (biji) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	103
10b.	Sidik ragam rata-rata jumlah biji per buah pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	103
11a.	Rata-rata bobot 100 biji kering (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	104
11b.	Sidik ragam rata-rata bobot 100 biji kering pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	104
11c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata bobot 100 biji kering pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	105
12a.	Rata-rata produksi per pohon (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	106
12b.	Sidik ragam rata-rata produksi per pohon pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	106
12c.	Sidik ragam data hasil transformasi (\sqrt{x}) rata-rata produksi per pohon pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	107
12d.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata produksi per pohon pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	107
13a.	Rata-rata produksi per hektar (kg) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	108
13b.	Sidik ragam rata-rata produksi per hektar pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	108
13c.	Sidik ragam data hasil transformasi (\sqrt{x}) rata-rata produksi per hektar pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	109
13d.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata produksi per hektar pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	109
14a.	Rata-rata kerapatan stomata (stomata/mm ²) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	110

14b.	Sidik ragam rata-rata kerapatan stomata pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	110
15a.	Rata-rata luas bukaan stomata (μm^2) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	111
15b.	Sidik ragam rata-rata luas bukaan stomata pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	111
15c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata luas bukaan stomata pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	112
16a.	Rata-rata klorofil a ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	113
16b.	Sidik ragam rata-rata klorofil a pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	113
16c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata klorofil a pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	114
17a.	Rata-rata klorofil b ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	115
17b.	Sidik ragam rata-rata klorofil b pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	115
17c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata klorofil b pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	116
18a.	Rata-rata klorofil total ($\mu\text{mol m}^{-2}$) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	117
18b.	Sidik ragam rata-rata klorofil total pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	117
18c.	Sidik ragam data hasil uji orthogonal polinomial rata-rata klorofil total pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri ..	118

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Kerangka pikir penelitian	23
2.	Ilustrasi alat pembuatan biochar	26
3.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata jumlah dompol bunga terbentuk (dompol) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	34
4.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata jumlah pentil buah terbentuk (pentil) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	38
5.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata jumlah buah panen (buah) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri ..	42
6.	Rata-rata jumlah biji per buah (biji) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	44
7.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata bobot 100 biji kering (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	46
8.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata produksi per pohon (g) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	49
9.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata produksi per hektar (kg) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	52
10.	Rata-rata kerapatan stomata (stomata/mm ²) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri.....	54
11.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata luas bukaan stomata pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	56
12.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata klorofil a (μmol m ⁻²) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	58
13.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata klorofil b (μmol m ⁻²) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	61
14.	Analisis orthogonal polinomial rata-rata klorofil total (μmol m ⁻²) pada berbagai dosis biochar dan konsentrasi rizobakteri	63
Lampiran		
1.	Denah penelitian di lapangan	92
2.	Hasil pembakaran tempurung kelapa menjadi biochar	119
3.	Pengaplikasian perlakuan dengan metode piringan	119

4.	Penampakan fisik biji dalam buah	119
5.	Pengamatan stomata di bawah mikroskop perbesaran 40 x 10	120
6.	Penampakan fisik buah panen	121

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu komoditas perkebunan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan memiliki reputasi baik di pasaran lokal hingga internasional adalah kakao. Kakao (*Theobroma cacao* L.) tergolong sebagai tanaman perkebunan industri yang banyak dikelola oleh perusahaan besar negara maupun swasta, namun sebagian besar dikelola dalam skala perkebunan rakyat. Tanaman kakao ini juga kerap dikembangkan terus di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia. Hal ini dapat dibuktikan dengan data *International Cocoa Organization* (2021), yang menunjukkan bahwa Indonesia telah memproduksi kakao sekitar 15% secara global dan menjadi produsen terbesar keenam dunia setelah beberapa negara termasuk Pantai Gading, Ghana, Ekuador, Cameroon, dan Nigeria.

Besarnya kontribusi yang dihasilkan oleh Indonesia melalui pengembangan tanaman kakao tersebut sebagian besar berasal dari Sulawesi. Sulawesi Tenggara merupakan salah satu sentra penghasil kakao terbesar kedua setelah Sulawesi Tengah dengan total luas areal sebesar 238.592 ha dan produksi sebesar 110.770 ton (BPS, 2022) Hal ini menandakan bahwa tanaman kakao banyak dibudidayakan oleh masyarakat Sulawesi Tenggara sehingga berpotensi untuk meningkatkan perekonomian daerah di provinsi tersebut. Salah satu daerah yang sangat potensial untuk dikembangkan sebagai penghasil kakao di Sulawesi

Tenggara adalah Kolaka Utara. Hal ini disebabkan karena adanya dukungan kebijakan pemerintah yang telah menjadikan kakao sebagai tanaman prioritas yang diunggulkan. Fenomena ini didukung oleh data BPS (2022), yang menunjukkan bahwa sebagian besar perkebunan kakao di Kolaka Utara merupakan perkebunan rakyat dengan total produksi sebesar 54.852 ton pada tahun 2021.

Fenomena pengembangan kakao rakyat yang terus dilakukan di berbagai wilayah di Indonesia tersebut masih mengalami kendala yang berdampak langsung dengan semakin melemahnya daya saing harga produk kakao Indonesia secara global. Salah satu kendala utamanya adalah produksi kakao Indonesia pada beberapa tahun terakhir yang berfluktuasi dan cenderung menurun pada setiap tahunnya. Kecenderungan yang sama juga terjadi di Kolaka Utara dari tahun ke tahun dan berdampak pada penurunan produktivitas kakao (BPS, 2022).

Terjadinya penurunan produksi kakao Indonesia pada periode waktu terakhir ini ditinjau akibat semakin banyaknya luas areal pertanaman kakao di Indonesia dengan kondisi tanaman yang tua, rusak, tidak produktif, dan terkena serangan hama penyakit dengan tingkat serangan berat. Hal ini didukung oleh data BPS (2022), yang menyatakan bahwa terdapat pergeseran komposisi luas areal kakao menurut status dan keadaan tanaman, dimana tanaman menghasilkan mengalami penurunan dari 996.761 ha menjadi 984.610 ha, sedangkan tanaman rusak meningkat menjadi 252.506 ha.

Fenomena yang terjadi tersebut tidak terlepas dari masalah degradasi kesuburan tanah di areal pertanaman kakao (Sobari *et al.*, 2014). Kondisi ini disebabkan karena adanya erosi, pencucian hara (*leaching*), praktik pengelolaan lahan yang tidak tepat, hingga eksploitasi hara setelah panen. Dalam setiap 1000 kg biji kakao yang dipanen, terangkut 546 kg N, 96 kg P, 246 kg K, dan unsur hara lain seperti Mg, Ca, dan Fe. Terjadinya degradasi tanah di areal pertanaman kakao tersebut akan menyebabkan pemupukan menjadi tidak efektif meskipun pemupukan yang diberikan sudah sesuai dengan anjuran. Dalam hal ini, pupuk hanya menjenuhkan tanah tetapi tidak mampu diserap oleh tanaman (Utomo *et al.*, 2010).

Kerusakan tanah yang terjadi tersebut sangat potensial untuk diperbaiki untuk mengembalikan potensi kesuburannya. Perbaikan tanah yang rusak dapat dilakukan dengan penambahan bahan organik seperti kompos atau pupuk kandang. Namun penerapannya harus dilakukan secara berulang dan membutuhkan volume yang tinggi (12 - 25 ton ha⁻¹) sehingga menjadikannya kurang efisien. (Nurida *et al.*, 2013). Selain itu, bahan organik tersebut mudah terurai dan efeknya hanya bersifat jangka pendek (3-4 bulan). Kaitannya dengan proses dekomposisinya, bahan organik tersebut juga mengeluarkan gas CO₂ yang akan berdampak pada efek rumah kaca dan berkontribusi terhadap kerusakan lapisan ozon di atmosfer sebagai efek pemanasan global (Aslam *et al.*, 2014).

Menanggapi banyaknya permasalahan yang terjadi, maka diperlukan bahan pembenah tanah alternatif yang sulit terdekomposisi

sehingga tidak perlu diberikan setiap tahun. Salah satu alternatif pembenah tanah yang dapat digunakan adalah biochar. Biochar merupakan salah satu bahan alami yang terbentuk melalui proses pembakaran biomassa dalam kondisi oksigen terbatas ataupun tanpa oksigen sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanah sebagai sumber bahan organik. Dalam hal ini, biochar akan terakumulasi di dalam tanah dengan menjaga keseimbangan sifat-sifat tanah untuk meminimalkan risiko pencucian hara dan pada akhirnya berdampak pada peningkatan kualitas lingkungan (Nurida *et al.*, 2012).

Peluang pemanfaatan biochar ini juga tergolong besar mengingat limbah pertanian di Indonesia cukup tersedia. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan biochar adalah tempurung kelapa. Potensi tempurung kelapa sangat besar mengingat luas areal tanaman kelapa di Indonesia mencapai 3,36 juta hektar dengan produksi sebesar 2,78 juta ton th^{-1} , dimana proporsi tempurung dari satu buah kelapa dapat mencapai sekitar 15-19% (BPS, 2021).

Selama ini pemanfaatan limbah tempurung kelapa belum dimanfaatkan secara optimal, hanya sebatas digunakan sebagai sumber energi bahan bakar yang secara langsung dapat meningkatkan polusi udara dan pakan ternak (Irsan *et al.*, 2019). Hal ini tentunya tidak sejalan dengan tingginya potensi biomassa pertanian yang dapat dijadikan biochar. Pernyataan tersebut juga didukung oleh hasil analisis Sarwani *et al* (2013), yang menginformasikan bahwa secara nasional potensi biomassa

pertanian yang bisa dikonversi menjadi biochar diperkirakan sekitar 10,7 juta ton yang dapat menghasilkan 3,1 juta ton biochar.

Aplikasi biochar tempurung kelapa terbukti mampu meningkatkan pH tanah dan KTK tanah. Peningkatan KTK tanah dengan penambahan biochar akan meminimalkan risiko pencucian kation seperti K^+ dan NH_4^+ . Adanya perbaikan kualitas tanah tersebut tentunya berimplikasi pula pada peningkatan produktivitas tanaman. Hal ini dibuktikan dengan penelitian Nurida *et al* (2012), yang menyatakan bahwa pemberian biochar tempurung kelapa 5 ton ha^{-1} mampu meningkatkan hasil tanaman jagung baik berat tongkol kering ($2,37 \text{ ton ha}^{-1}$), berat biomassa kering ($4,04 \text{ ton ha}^{-1}$), dan berat pipilan kering ($1,85 \text{ ton ha}^{-1}$) (Nurida *et al.*, 2012).

Besarnya manfaat biochar yang dihasilkan tersebut tidak dapat menggantikan peran pupuk sehingga perlu adanya penambahan hara dari pupuk lain agar dapat mempercepat efek terhadap tanaman. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk menambah ketersediaan unsur hara adalah dengan pemberian konsorsium rizobakteri ke tanah. Rizobakteri merupakan bakteri yang terdapat di sekitar perakaran tanaman dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh seperti giberelin, asam indol asetat, etilen, dan sitokinin, sebagai penyedia hara dengan mengikat N_2 di udara secara asimbiosis dan melarutkan hara P dalam tanah (Husen *et al.*, 2006).

Mikroorganisme tanah tersebut juga memerlukan energi untuk aktivitas metabolismenya, dimana salah satu sumbernya yaitu bahan

organik yang berasal dari biochar. Penyediaan sumber bahan organik melalui biochar ditinjau dapat meningkatkan efisiensi mikroba tanah dalam meningkatkan kesuburan tanah. Interaksi antara aplikasi biochar dengan rizobakteri dapat dilihat dari kemampuan biochar dalam menyediakan habitat yang baik dan sesuai bagi mikroba tanah melalui perbaikan keadaan fisik tanah. Dengan terciptanya kondisi tanah dan lingkungan yang baik, maka dapat dipastikan proses degradasi oleh mikroba akan meningkat (Gumelar dan Yunus, 2021).

Pemanfaatan rizobakteri telah banyak digunakan secara komersial pada berbagai tanaman hortikultura, pangan, hingga tanaman tahunan atau perkebunan. Hasil penelitian Irawan *et al* (2022) menunjukkan bahwa rizobakteri akar kakao 100 mL L⁻¹ mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, diameter batang, berat basah dan berat kering akar, jumlah akar, dan volume akar bibit kakao. Hasil penelitian lain dari Nasaruddin *et al* (2019) menunjukkan bahwa pengaplikasian rizobakteri selama tiga kali dapat meningkatkan luas daun, kadar air daun, klorofil a, b, dan klorofil total daun kakao.

Berdasarkan uraian di atas dan melihat sisi lain dari penelitian mengenai biochar tempurung kelapa disertai dengan pemberian konsorsium rizobakteri di tanaman kakao yang belum banyak ditemukan sehingga dinilai perlu melakukan kajian lebih lanjut untuk menunjang peningkatan produksi kakao.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui dan mempelajari interaksi pemberian biochar tempurung kelapa dengan konsorsium rizobakteri yang dapat menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman kakao terbaik.
2. Untuk mengetahui dan mempelajari dosis biochar tempurung kelapa optimum yang dapat menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman kakao terbaik.
3. Untuk mengetahui dan mempelajari konsentrasi konsorsium rizobakteri optimum yang dapat menunjang pertumbuhan dan produksi tanaman kakao terbaik.

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai bahan informasi tentang penggunaan dosis biochar tempurung kelapa yang tepat dengan penambahan konsorsium rizobakteri untuk mendukung perbaikan produksi tanaman kakao.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fisiologi Pembungaan Kakao

Secara umum, pembungaan tanaman merupakan suatu proses fisiologis yang cukup kompleks dalam menginisiasi terjadinya transisi secara morfologis dari fase vegetatif menuju fase generatif. Pada kondisi lingkungan yang sesuai, meristem vegetatif akan berkembang menjadi meristem reproduktif, dimana secara langsung dapat menjadi bunga majemuk (*inflorescence*) hingga kemudian menghasilkan lebih banyak meristem bunga. Hal tersebut tentunya disebabkan karena faktor lingkungan (fotoperiod/panjang hari, kuantitas cahaya, kualitas cahaya, vernalisasi, serta ketersediaan nutrisi dan air) berperan utama dalam mengendalikan transisi dari meristem vegetatif menuju ke meristem reproduktif pada sebagian besar tanaman khususnya dalam memberikan kondisi pertumbuhan yang optimum bagi reproduksi seksual dan pemasakan biji, namun tetap pula dipengaruhi oleh faktor internal seperti umur tanaman. Tak hanya kondisi eksternal optimum yang dapat menginduksi pembungaan, melainkan pembungaan dapat pula diinduksi oleh adanya cekaman stress pada kondisi biotik maupun abiotik, seperti defisiensi nutrisi, kekeringan, dan kerapatan tanaman (Staveley, 2005 dalam Samanhudi, 2006).

Lang (1952), menyatakan bahwa proses pembentukan bunga secara garis besar terdiri atas empat tahap. Tahap pertama yaitu induksi

atau inisiasi bunga dan diferensia primordia bunga. Kedua, penyusunan/organisasi bunga dan diferensiasi bagian-bagian bunga secara individu. Ketiga, pematangan bunga dan biasanya terjadi bersamaan dengan proses pertumbuhan bagian-bagian bunga, diferensiasi jaringan sporogen, meiosis, tepung sari dan perkembangan kantung embrio. Keempat, anthesis atau bunga mekar. Dari keempat tahap tersebut, fase inisiasi bunga merupakan fase yang paling kritis dari pembungaan, dimana terjadi perubahan fisiologi atau biokimia pada mata tunas dari pertumbuhan vegetatif mengarah pada pertumbuhan generatif, namun perubahan secara morfologi tidak nampak (Poerwanto, 2003).

Inisiasi pembungaan diatur oleh hubungan antara karbohidrat dan nitrogen (nisbah C/N) pada tanaman. Nisbah C/N yang tinggi dapat menginduksi pembungaan, sedangkan bila nisbah C/N rendah maka tanaman akan lebih mengarah pada pertumbuhan vegetatif. Selain itu, inisiasi pembungaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, baik faktor eksternal, internal, hingga manipulasi oleh manusia. Faktor eksternal yaitu suhu, stress air, dan panjang hari. Faktor internal yaitu kandungan nitrogen, karbohidrat, asam amino, dan hormon. Sementara faktor manipulasi oleh manusia meliputi *girdling/ringing*, pemangkasan tajuk, pengeringan, pemangkasan akar, pelengkungan cabang, dan pemberian zat pengatur tumbuh. Inisiasi bunga termasuk tahap yang paling selektif terhadap faktor hormon dan lingkungan, dimana jika kondisinya tidak sesuai maka perkembangan tunas bunga menjadi terhambat (Corbesier *et al.*, 2002).

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembungaan tanaman tersebut juga berlaku bagi tanaman kakao. Pertumbuhan dan perkembangan kakao sangat tergantung pada temperatur khususnya dalam pertumbuhan vegetatif hingga pada pembungaan dan perkembangan buah. Pada lokasi tertentu, pembungaan dapat terhambat akibat musim kemarau ataupun musim penghujan yang berkepanjangan. Oleh karena itu, tanaman kakao membutuhkan penyebaran curah hujan yang merata sepanjang tahun dan fluktuasi suhu yang kecil agar tanaman dapat berbunga sepanjang tahun (De dan Valle, 2007).

Namun terjadi beberapa permasalahan dari fase transisi bunga menjadi buah, dimana pada beberapa kultivar kakao banyak dijumpai bunga-bunga yang tidak dapat menjadi buah karena faktor sterilitas dan inkompatibilitas. Di samping itu, pembungaan kakao didukung pula oleh hasil fotosintesis kakao yang sebagian besar digunakan untuk menopang pertumbuhan vegetatif dan hanya sekitar 6% yang digunakan untuk pertumbuhan generatif. Dimana dari bagian yang 6% tersebut tidak seluruhnya akan menjadi biji siap panen sebab sebagian besar buah kakao akan mengalami layu fisiologis yang lazim disebut sebagai *cherelle wilt*. Tingkat kelayuan dapat mencapai sekitar 60-90% yang umumnya terjadi pada umur buah sampai 50 hari dengan ukuran kurang dari 10 cm. Kelayuan buah muda pada umumnya terjadi dalam dua tahap, yaitu pada umur sekitar 7 minggu setelah pembuahan dan pada umur buah sekitar 10 minggu setelah pembuahan. Buah yang bertahan sampai umur di atas 70

hari setelah pembuahan biasanya telah mencapai ukuran panjang sekitar 10 cm dan umumnya dapat bertahan sampai panen (Pusat Penelitian Kopi dan Kakao, 2004).

Tak hanya itu, adanya persaingan antara bunga dan buah juga dapat mempengaruhi pembungaan. Hal ini dapat dibuktikan pada beberapa penelitian yang telah dilakukan yang menyatakan bahwa pada saat tanaman tidak berbuah, pembungaan meningkat. Sebaliknya, pada saat buah kakao menjadi masak (menjelang panen), pembungaan sangat kurang. Pertumbuhan vegetatif dapat pula menyaingi pembungaan. Tanaman kakao mengalami *flush* yang cukup lebat diikuti intensitas pembungaan yang kurang. Pembungaan akan meningkat lagi pada saat pertumbuhan minimum (Rahardjo, 2011).

2.2 Layu Pentil (*Cherelle Wilt*)

Layu pentil merupakan gejala fisiologis pada tanaman kakao dimana buah yang masih kecil tidak dapat tumbuh dan berkembang. Buah kakao muda yang berukuran kurang dari 10 cm seringkali mengalami gejala pengeringan dan pelayuan sebagai mekanisme fisiologis dari kakao. Kondisi gejala tersebut dikenal dengan istilah *physiological effect thinning*, yaitu adanya proses fisiologis yang menyebabkan terhambatnya penyaluran hara untuk menunjang pertumbuhan buah muda (pentil). Gejala tersebut juga dapat disebabkan karena adanya persaingan energi antara organ vegetatif yang aktif tumbuh dan organ generatif ataupun karena adanya pengurangan hormon yang dibutuhkan untuk pertumbuhan buah

muda (Siregar *et al.*, 2004 dalam Oktaviani, 2008). Hal tersebut dapat diperkuat dengan pernyataan Sukamto (1998), yang menyatakan bahwa layu pentil merupakan penyakit fisiologis, seperti halnya gugur buah pada tanaman buah-buahan.

Menurut McKelvie (1956), tanaman kakao dewasa yang tumbuh subur dapat menghasilkan 5.000 – 10.000 bunga dalam setahun. Bunga yang terserbuki hanya 10% dari total bunga yang terbentuk dan kebanyakan bunga akan mengalami kematian dalam 24 jam karena tidak terserbuki. Bunga yang telah diserbuki berkembang menjadi buah pentil yang jumlahnya hanya sekitar 10-30%, sedangkan sebagian besar akan mengalami gejala fisiologis yang lebih dikenal dengan istilah layu pentil (*cherelle wilt*).

Menurut Alvin *et al.*, (1974), layu pentil disebabkan oleh adanya persaingan dalam memperoleh asimilat hasil fotosintesis, terutama karbohidrat. Persaingan ini terjadi antara bunga dan buah serta antara buah dan pertumbuhan pucuk yang aktif. Tjasadihardja (1987), juga menambahkan bahwa pucuk vegetatif merupakan konsumen karbohidrat terbesar sehingga pasokan karbohidrat ke bagian generatif menjadi berkurang.

2.3 Biochar Tempurung Kelapa

Biochar merupakan arang berpori yang terbuat dari limbah organik melalui proses pirolisis biomassa dalam kondisi oksigen terbatas ataupun tanpa oksigen. Proses pirolisis tersebut menghasilkan dua jenis bahan

bakar, yaitu *syngas* atau gas sintetis dan *bio oil* atau minyak nabati sebagai produk utama, serta arang hayati (yang disebut biochar) sebagai produk sampingan (Nabihaty, 2010). Arang hayati yang terbentuk dari proses pembakaran tersebut akan menyebabkan terjadinya proses oksidasi sehingga molekul karbon yang kompleks terurai sebagian besar menjadi karbon aktif yang mengandung mineral, seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) maupun karbon anorganik. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang dihasilkan tersebut, menjadikan biochar dapat dimanfaatkan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah (Hutapea *et al.*, 2015).

Perbaikan kualitas tanah sebagai akibat dari penambahan biochar ini disebabkan karena biochar memiliki karakteristik permukaan yang besar, volume besar, pori-pori makro, pori-pori mikro, kerapatan isi, serta kapasitas mengikat air yang tinggi. Selain itu, biochar bersifat rekalsitran terhadap dekomposisi dalam tanah sehingga penggunaan biochar sebagai pembenah tanah selain memperbaiki sifat fisik, biologis, hingga kimia tanah juga dapat menjadi penyimpan karbon yang baik (Kusuma, 2020).

Namun, kualitas dari biochar sangat dipengaruhi oleh bahan baku dan cara pembakaran yang dilakukan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Nurida (2014) yang menunjukkan bahwa produksi biochar dari empat jenis limbah pertanian pada tiga lama pembakaran menghasilkan perbedaan persentase biochar yang diproduksi, persentase abu, asap cair dan kemampuan retensi air. Produksi biochar tertinggi dihasilkan pada

pembakaran selama 3,5 jam untuk seluruh jenis limbah pertanian yaitu sekitar 22,0-48,4%. Dalam hal ini, kualitas biochar sangat tergantung pada sifat kimia dan fisik biochar yang ditentukan oleh jenis bahan baku (kayu lunak, kayu keras, sekam padi), metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur), dan bentuk biochar (padat, serbuk, karbon aktif). Pembakaran dengan temperatur yang lebih tinggi akan menurunkan produksi biochar namun meningkatkan *fixed carbon* sehingga proporsi abu biochar akan berpengaruh langsung terhadap nilai pH. Perlu diketahui pula bahwa alat pembakaran untuk menghasilkan biochar yang umum digunakan adalah drum sederhana tanpa pengatur suhu dan dengan pengatur suhu. Produksi biochar dengan alat-alat sederhana tersebut masih memproduksi emisi CO₂, namun belum ada data yang menunjukkan besarnya emisi tersebut.

Salah satu bahan yang dapat dijadikan sebagai bahan baku dalam pembuatan biochar adalah tempurung kelapa. Hal ini disebabkan karena mengingat Indonesia telah lama diketahui sebagai produsen arang ekspor terbesar pertama di dunia kemudian diikuti oleh China, Malaysia, Afrika Selatan, dan Argentina dengan sumber yang berasal dari tempurung kelapa (15,96%), mangrove (22,31%), dan kayu (61,73%) sehingga menjadikan peluang pemanfaatan tempurung kelapa sebagai biochar tergolong besar (Pari *et al.*, 2012). Tempurung kelapa termasuk dalam golongan kayu keras dengan kandungan air yang relatif rendah sebesar 6-9% yang tersusun dari lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Komposisi kimia yang dimiliki oleh tempurung kelapa relatif sama dengan kayu sehingga umum digunakan

untuk pembuatan arang aktif. Arang aktif yang dihasilkan tersebut dapat dimanfaatkan tanah sebagai sumber karbon, juga dapat mereduksi emisi yang dikeluarkan oleh tanah seperti gas CH₄ dan N₂O yang dapat berpengaruh pada efek rumah kaca dengan cara mengikat gas tersebut ke dalam pori-pori arang (Pari, 2009).

Selain itu, biochar tempurung kelapa mengandung volatil yang dapat menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah sehingga populasi dan aktivitas mikroba cenderung meningkat pula. Selain berpengaruh positif terhadap sifat-sifat tanah, pemberian biochar tempurung kelapa juga berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas tanaman yang dibuktikan oleh Sukartono dan Utomo (2012) bahwa pemberian biochar tempurung kelapa menghasilkan bobot pipilan kering jagung yang lebih tinggi dengan rata-rata sebesar 5,2 ton ha⁻¹ dibandingkan dengan tanpa pemberian biochar. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa pemberian biochar tempurung kelapa 5 ton ha⁻¹ mampu meningkatkan beberapa parameter produksi pada tanaman jagung, misalnya berat tongkol kering (2,37 ton ha⁻¹), berat biomassa kering (4,04 ton ha⁻¹), dan berat pipilan kering (1,85 ton ha⁻¹) (Nurida *et al.*, 2012).

2.4 Rizobakteri

Menurunnya produksi tanaman kakao dari tahun ke tahun dipengaruhi oleh ketersediaan bahan organik dalam tanah yang sangat rendah. Untuk memperbaiki kesuburan tanah terutama dalam hal meningkatkan ketersediaan hara adalah dengan jalan menambahkan

bahan pupuk baik organik maupun anorganik yang bertujuan untuk meningkatkan produksi tanaman secara optimal. Rizobakteri merupakan bakteri yang terdapat di sekitar perakaran tanaman dan hidup berkoloni yang berfungsi untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan cara merangsang pertumbuhan (*biostimulants*) tanaman. Rizobakteri bekerja dengan mensintesis dan mengatur konsentrasi berbagai zat pengatur tumbuh seperti giberellin, asam indol asetat, etilen, dan sitokinin, sebagai penyedia hara dengan mengikat N_2 di udara secara asimbiosis dan melarutkan hara P dalam tanah (Husen *et al.*, 2006).

Sebagian besar bakteri tanah tersebut berasal dari kelompok gram negatif dengan jumlah strain paling banyak dari genus *Pseudomonas* dan beberapa dari genus *Serratia*. Selain kedua genus tersebut, adapun dari genus lain yaitu *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Acetobacter*, *Burkholderia*, dan *Bacillus*. Meskipun sebagian besar *Bacillus* (gram positif) tidak tergolong pengkoloni akar, namun beberapa strain tertentu dari genus tersebut mampu melakukannya, sehingga bisa digolongkan sebagai PGPR (Irawan *et al.*, 2022). Widiawati dan Saefudin (2015) menyatakan bahwa bakteri genus *Bacillus* dan *Burkholderia* mampu memproduksi hormon auksin (IAA) dan enzim fosfomonoesterase (PMEase) yang berfungsi untuk melarutkan fosfat yang terjerap dalam permukaan oksida-oksida besi dan aluminium sebagai senyawa Fe-P dan Al-P, sehingga mampu meningkatkan ketersediaan fosfor tanah. Hal ini secara potensial berpeluang untuk membantu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Hasil penelitian

lain mengungkapkan bahwa pemberian pupuk hayati campuran dari *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., dan *Streptomyces* sp. dengan 50% pupuk NPK rekomendasi dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, juga meningkatkan sifat biokimia tanah (Antonius dan Agustiyani, 2011).

Rizobakteri mempengaruhi tanaman secara langsung melalui kemampuannya menyediakan dan memobilisasi atau memfasilitasi penyerapan berbagai unsur hara dalam tanah serta mensintesis dan mengubah konsentrasi fitohormon pemacu tumbuh tanaman sehingga memiliki ketahanan terhadap serangan penyebab penyakit. Sedangkan secara tidak langsung berkaitan dengan kemampuannya menekan aktivitas patogen dengan menghasilkan berbagai senyawa atau metabolit seperti antibiotik bagi penyebab penyakit terutama patogen tular tanah (Widodo *et al.*, 2006). Pengaruh dari pemberian rizobakteri tersebut dapat dilihat pada hasil penelitian Nasaruddin *et al.* (2019) yang menunjukkan bahwa formulasi mikroba yang diaplikasikan satu, dua, dan tiga kali berkorelasi secara linier terhadap kerapatan stomata, klorofil, a, b, dan total klorofil daun. Artinya semakin tinggi dosis formulasi mikroba yang diberikan, maka semakin baik pula efeknya terhadap kerapatan stomata, klorofil, a, b, dan total klorofil daun.

Selain menyediakan hara bagi tanaman, rizobakteri juga mampu memproduksi hormon untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman salah satunya yaitu IAA (*Indole Acetic Acid*) yang merupakan bentuk aktif dari hormon auksin. Hormon tersebut berperan

dalam meningkatkan kualitas dan hasil panen. Fungsi hormon IAA bagi tanaman antara lain meningkatkan perkembangan sel, merangsang pembentukan akar baru, memacu pertumbuhan, merangsang pembungaan serta meningkatkan aktivitas enzim (Egamberdiyeva, 2007).

Hasil penelitian dari Irawan *et al* (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan rizobakteri berpengaruh nyata pada jumlah akar bibit pada tanaman kakao. Pengaruh tersebut disebabkan karena PGPR mampu meningkatkan mikroorganisme di dalam tanah, sehingga mikroorganisme mampu menyuplai unsur hara tanaman untuk mendukung perkembangan akar serta memperluas jangkauan akar dalam penyerapan air dan unsur hara. Hal tersebut juga didukung oleh adanya hormon IAA atau auksin yang dihasilkan dari mikroorganisme yang terdapat pada daerah perakaran tanaman sehingga dapat meningkatkan pembelahan sel dan merangsang pembentukan akar baru (Rahni, 2012).

Hasil pengaruh dari pemberian rizobakteri pada tanaman lain juga menunjukkan bahwa bakteri pengkolonisasi akar mampu meningkatkan hasil produksi polong kering kacang tanah yang dapat dilihat pada hasil penelitian Marom *et al* (2017) bahwa pemberian rizobakteri pada tanaman kacang tanah dengan perlakuan konsentrasi $12,5 \text{ mL L}^{-1}$ menghasilkan rata-rata tertinggi produksi polong kering per hektar yaitu $4,94 \text{ ton ha}^{-1}$ dan berbeda nyata dengan perlakuan lainnya termasuk kontrol. Irfan (2013) dalam penelitiannya menyatakan bahwa aplikasi rizobakteri mampu meningkatkan bobot kering umbi bawang merah karena rizobakteri mampu

menghasilkan IAA dan dapat berasosiasi dengan tanaman serta membantu proses dekomposisi bahan-bahan organik di dalam tanah sehingga penyerapan hara oleh tanaman lebih sempurna yang berpengaruh pada produktivitas tanaman.

2.5 Pengaruh Aplikasi Biochar dan Rizobakteri terhadap Perbaikan Kualitas Lahan dan Tanaman

Hubungan antara aplikasi biochar dan rizobakteri dapat dilihat dari kemampuan biochar dalam menyediakan habitat yang baik dan sesuai bagi mikroba tanah melalui perbaikan keadaan tanah dalam hal meningkatkan pH tanah, KTK tanah, serta kemampuannya dalam menahan atau menyimpan zat-zat hara dalam tanah. Selain itu, biochar juga mampu menjaga kelembaban tanah karena memiliki kapasitas menahan air yang tinggi yang bermanfaat untuk meningkatkan ketersediaan air pada tanah.

Apabila kondisi tanah dan lingkungan baik, maka dapat dipastikan proses degradasi oleh mikroba akan meningkat seperti penelitian yang dilakukan oleh Gumelar dan Yunus (2021) yang menunjukkan bahwa takaran biochar 10 ton ha⁻¹ memberikan nilai kadar lengas tanah tertinggi pada awal pengamatan maupun akhir pengamatan meskipun hasilnya tidak berbeda nyata. Kelengasan tanah yang tinggi akan menyebabkan ketersediaan air di dalam tanah juga menjadi lebih tinggi sehingga tanaman akan terhindar dari adanya cekaman kekeringan melalui pengaplikasian biochar (Sukma *et al.*, 2019).

Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa pengaplikasian biochar + bahan organik + pupuk hayati dapat menambah populasi mikroba dalam

tanah yang diperlihatkan pada hasil penelitian Antonius *et al* (2018) bahwa nilai rata-rata total populasi bakteri dalam tanah tertinggi terdapat pada pemberian tanah + kompos + biochar dan pupuk organik hayati) yaitu $70,0 \times 10^6$ CFU g⁻¹ dan nilai rata-rata terendah terdapat pada perlakuan kontrol (tanpa pemberian bahan organik) yaitu $40,0 \times 10^6$ CFU g⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pupuk organik hayati serta bahan organik maupun biochar dapat meningkatkan total populasi mikroba tanah dibandingkan dengan kontrol. Jumlah mikroorganisme tanah pada lahan sangat dipengaruhi oleh bahan organik serta kondisi tanah yang baik, dimana semakin banyak bahan organik di dalam tanah maka semakin banyak pula sumber energi yang tersedia untuk perkembangan organisme tanah. Hal ini juga didukung oleh aplikasi biochar seperti menurut Gani (2009) yang menyatakan bahwa biochar dapat menyediakan habitat baik bagi mikroorganisme tanah karena dapat memperbaiki kondisi lingkungan tanah serta menjadi sumber karbon yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme tanah dalam menunjang metabolismenya.

Menurut Wahyuni *et al* (2012), penggunaan biochar dapat meningkatkan populasi mikroorganisme tanah seperti *Azospirillum* sp., *Bacillus* sp., *Chromobacterium* sp., dan *Pseudomonas* sp., dimana hal ini menunjukkan bahwa biochar dapat menjadi media tumbuh yang baik bagi mikroba. Meningkatnya jumlah mikroba bermanfaat yang ada dalam tanah tentunya akan berdampak pada pertumbuhan tanaman. Salah satu keuntungan dari rizobakteri yaitu dapat mengubah konsentrasi fitohormon

pemacu tumbuh tanaman sehingga memiliki ketahanan terhadap serangan penyebab penyakit. Dengan ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak populasi mikroba bermanfaat yang terdapat dalam tanah, maka pengaruhnya ke tanaman dalam hal ketahanan tanaman terhadap serangan patogen juga semakin baik.

Pengaruh tersebut dapat dilihat pada hasil penelitian Damayanti *et al* (2018) yang menunjukkan bahwa perlakuan 40 mL *P. fluorescens* lebih mampu menekan jumlah puru di perakaran tomat pada setiap pengamatan. Kondisi tersebut disebabkan karena kemampuan *P. fluorescens* berkolonisasi di sekitar perakaran dan memiliki sifat antagonis dengan spektrum luas dalam menekan patogen termasuk nematoda penyebab terjadinya puru akar pada tanaman tomat. Kumar *et al* (2007) menambahkan bahwa adanya aktivitas antagonis *P. fluorescens* dalam menghasilkan enzim kitinase dan polisakarida tertentu seperti lipopolisakarida atau asam salsilat akan melisis sel kutikula nematoda sehingga mengurangi mobilitas dan nematoda akan mati.

Semakin banyak populasi mikroba bermanfaat dalam tanah, maka keberadaan nematoda yang menyerang semakin sedikit sehingga jumlah serangan juga akan berkurang dan akan berdampak pada produksi tanaman, seperti hasil penelitian yang diperoleh oleh Damayanti *et al* (2018) bahwa semua perlakuan *P. fluorescens* menghasilkan buah lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi rizobakteri maka nematoda akan

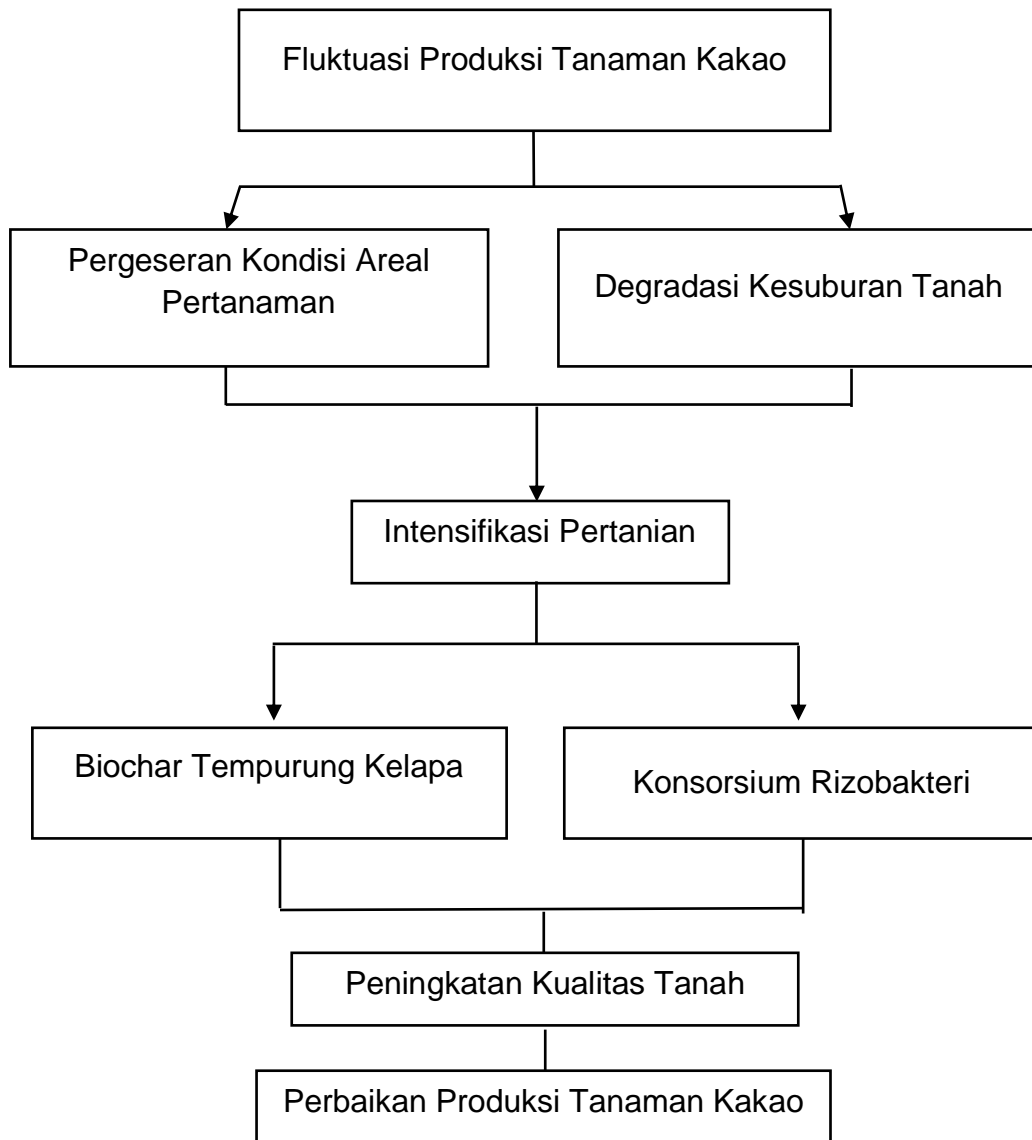
berkurang dan berdampak pada pertumbuhan tanaman. Tanaman dengan perakaran yang baik akan mampu menyerap unsur hara secara maksimal sehingga unsur hara yang dibutuhkan dalam fase vegetatif dan generatif tanaman dapat tercukupi. Almaghribi *et al* (2012) menambahkan bahwa kelompok bakteri pada daerah perakaran mampu menyediakan hara penting bagi tanaman seperti N, P dan K serta dapat mensintesis dan mengatur berbagai zat pengatur tumbuh seperti IAA, giberelin dan sitokinin sehingga dapat menunjang pertumbuhan tanaman secara maksimal.

2.6 Hipotesis

Berdasarkan uraian di atas, maka hipotesis yang dapat dikemukakan adalah sebagai berikut:

1. Terdapat interaksi antara biochar tempurung kelapa dengan konsorsium rizobakteri yang memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kakao.
2. Terdapat satu atau lebih dosis biochar tempurung kelapa yang memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kakao.
3. Terdapat satu atau lebih konsentrasi konsorsium rizobakteri yang memberikan pengaruh terbaik terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman kakao.

2.7 Kerangka Konseptual



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian