

**PENGARUH APLIKASI *BIOCHAR* SEKAM PADI DAN PUPUK HAYATI
KONSORSIUM TERHADAP PENINGKATAN PRODUKTIVITAS
TANAMAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

*EFFECT OF RICE HUSK BIOCHAR APPLICATION AND
CONSORTIUM BIOFERTILIZER ON INCREASING PRODUCTIVITY
OF COCOA (*Theobroma cacao* L.)*

A. BESSE SRI PUTRI

G012212005



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

2023

**PENGARUH APLIKASI *BIOCHAR* SEKAM PADI DAN PUPUK HAYATI
KONSORSIUM TERHADAP PENINGKATAN PRODUKTIVITAS
TANAMAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

Tesis

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Agroteknologi

Disusun dan diajukan oleh

A. BESSE SRI PUTRI

G012212005

kepada

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

TESIS**PENGARUH APLIKASI *BIOCHAR* SEKAM PADI DAN PUPUK HAYATI
KONSORSIUM TERHADAP PENINGKATAN PRODUKTIVITAS
TANAMAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.)**

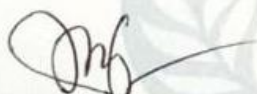
yang disusun dan diajukan oleh

A. BESSE SRI PUTRI**NIM: G012212005**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka penyelesaian studi Program Magister Agroteknologi Fakultas
Pertanian Universitas Hasanuddin
pada tanggal 18 Juli 2023

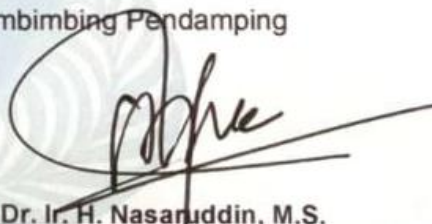
Menyetujui,

Pembimbing Utama




Dr. Ir. Rafiuddin, M.P.
NIP. 19641229 198903 1 003

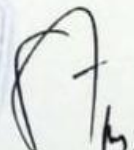
Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, M.S.
NIP. 19550106 198312 1 001

Ketua Program Studi
Magister Agroteknologi

Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P.
NIP. 19640905 198903 1 003

Dekan Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin

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

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pengaruh Aplikasi *Biochar* Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium Terhadap Peningkatan Produktivitas Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Dr. Ir. Rafiuddin, M.P. dan Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, M.S.). 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 International Journal of Life Science and Agriculture Research, Volume 2, Halaman 137-142, DOI: <https://doi.org/10.55677/ijlsar/V02I06Y2023-09> sebagai artikel dengan judul “Application of Rice Husk Biochar and Consortium Biofertilizer Against the Physiological Response of Cocoa Plants”.

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

Makassar, 28 Juli 2023



A. Besse Sri Putri
NIM G012212205

UCAPAN TERIMA KASIH



Segala puji dan syukur tidak henti-hentinya dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, nikmat dan anugerahnya sehingga tesis yang berjudul “Pengaruh Aplikasi *Biochar* Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium Terhadap Peningkatan Produktivitas Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)” ini dapat terselesaikan dengan baik meski jauh dari kata sempurna guna untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Magister Pertanian pada Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis menyadari bahwa selama menjalankan proses perkuliahan, melaksanakan penelitian dan menyusun tesis telah memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak yang sudah meluangkan waktu untuk membantu dalam penyusunan tesis, memberi motivasi, do'a serta saran sehingga perkenankanlah penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ayahanda Andi Sulpati Datu Patiroy, Ibunda Hj. Nur Alim, dan saudara beserta keluarga yang telah memberikan motivasi, nasihat, kasih sayang dan do'a yang tak henti-henti untuk penulis. Penulis hanya dapat berdo'a kepada Allah SWT. agar memberikan kesehatan, keselamatan di dunia dan akhirat, rezeki dan umur yang berkah, serta perlindungan dan pahala yang berlipat ganda. *Aamiin*.
2. Dr. Ir. Rafiuddin, M.P., selaku pembimbing utama dan Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin, M.S., selaku pembimbing pendamping yang telah membimbing penulis dengan ikhlas dan senantiasa rela mengorbankan waktu dalam memberikan ilmu, saran dan motivasi kepada penulis.
3. Dr. Ir. Abd. Haris Bahrin, M.Si., Dr. Ir. Ifayanti Ridwan Saleh, MP., Ph.D., dan Dr. H. Andi Akmal Pasluddin, MM., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dalam perbaikan tesis dan memberikan motivasi kepada penulis.

4. Dr. Ir. Muh. Riadi, M.P., selaku Ketua Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar yang telah menyediakan fasilitas kepada penulis dalam menuntut ilmu.
5. Seluruh *Civitas academica* Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar atas bantuan berupa ilmu, saran, motivasi dan do'a yang telah diberikan kepada penulis. Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dapat bermanfaat dan bernilai pahala, *Aamiin*.
6. Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin Makassar yang telah menyediakan fasilitas kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Bapak Agus Purwantara, Ph.D selaku *Site Manager Mars Cocoa Research Station* Pangkep yang telah memberikan izin kepada peneliti untuk melakukan penelitian dan terima kasih juga kepada seluruh staf dan teknisi *Mars Cocoa Research Station* Pangkep atas bantuannya selama penelitian berlangsung.
8. Muh. Faried, S.P., M.Si., Reynaldi Laurenze, S.P., M.Si., Cennawati, S.P., M.Si., Remi Widana Putri, S.P., Dwi Indra Fitriani, S.Tr.P., Fahikatun Nisa, S.Tr.P., Besse Nur Aulia, S.P., Khairunnisa, S.P., Muh. Mu'min, S.P., Abd. Akbar, S.P., Zulvicar Adnan, S.P., Krisna Gernandus Kuse, S.P., Sudirman, S.P., Fahmi Sahaka, S.P., dan Rifky Alauddin, S.P., selaku teman seperjuangan kuliah yang selalu memberikan ilmu, pengalaman, saran, motivasi, kebersamaan, dan bantuan dalam segala hal kepada penulis selama melaksanakan penelitian dan penyusunan tesis.
9. Arini Afny, S.Si., Nurfadila, S.Si., Andi Herni Hermayani, S.Si., Salma, S.Si., Nurhidayah, S.Si., Sakinah, S.Si., Ainun Reski Rahmadani, Asrini Hasmal, S.Si., Suharpina, S.Si., Nur Salsabila, S.Si., dan Agustina selaku sahabat yang selalu memberikan ilmu, motivasi dan dorongan serta kebersamaan selama melaksanakan penelitian dan penyusunan tesis.

10. Seluruh teman serta pihak yang berkenan membantu selama penelitian berlangsung hingga penyusunan tesis ini dapat selesai.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis akan dibalas dengan pahala yang berlipat ganda oleh Allah SWT. *Aamiin*. Penulis menyadari dalam penyusunan tesis ini masih ada kekurangan yang perlu diperbaiki dan dilengkapi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat konstruktif demi perbaikan tesis kedepannya.

Makassar, 28 Juli 2023



A. Besse Sri Putri

ABSTRAK

A. BESSE SRI PUTRI. Pengaruh Aplikasi *Biochar* Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium Terhadap Peningkatan Produktivitas Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) (dibimbing oleh Rafiuddin dan Nasaruddin).

Penelitian bertujuan untuk mengetahui dan mengkaji pengaruh aplikasi *biochar* sekam padi dan pupuk hayati konsorsium terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.). Penelitian dilaksanakan di kebun *Mars Cocoa Research Station* Pangkep pada November 2022 hingga Mei 2023. Penelitian dilaksanakan dalam bentuk percobaan yang menggunakan Faktorial Dua Faktor (F2F) yang disusun dalam Rancangan Acak Kelompok (RAK). Faktor pertama adalah dosis *biochar* sekam padi yang terdiri atas 4 taraf yaitu: tanpa *biochar* sekam padi, 5 kg/pohon, 10 kg/pohon, dan 15 kg/pohon. Faktor kedua adalah dosis pupuk hayati konsorsium yang terdiri atas 4 taraf yaitu: tanpa pupuk hayati konsorsium, 20 ml/L, 40 ml/L, dan 60 ml/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi *biochar* sekam padi 15 kg/pohon dengan pupuk hayati konsorsium 60 ml/L menunjukkan hasil yang terbaik pada produksi per pohon (216,10 g/pohon) dan produksi per hektar (259,32 kg/ha). *Biochar* sekam padi 15 kg/pohon menunjukkan hasil terbaik pada jumlah biji per buah (30,41 biji). Pupuk hayati konsorsium 60 ml/L menunjukkan hasil terbaik pada jumlah biji per buah (28,15 biji).

Kata kunci: *Biochar, Kakao, Produksi, Pupuk hayati konsorsium.*

ABSTRACT

A. BESSE SRI PUTRI. Effect of Rice Husk Biochar Application and Consortium Biofertilizer on Increasing Productivity of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) (supervised by Rafiuddin and Nasaruddin).

The research aims to find out and examine the effect of the application of rice husk biochar and consortium biofertilizer on cocoa (*Theobroma cacao* L.) productivity. Study carried out at the Mars Cocoa Research Station, Pangkep, from November 2022 to May 2023. The research is arranged in a Randomized Block Design (RBD) with two factors. The first factor is the dose of rice husk biochar, which consists of 4 levels: without rice husk biochar, 5 kg/tree, 10 kg/tree, and 15 kg/tree. The second factor is the dose of consortium biofertilizers, consisting of 4 levels: without consortium biofertilizers, 20 ml/L, 40 ml/L, and 60 ml/L. The results of the research show that interaction between rice husk biochar (15 kg/tree) and consortium biofertilizer (60 ml/L) showed the best results on production per tree (216,10 g/tree) and production per hectare (259,32 kg/ha). Rice husk biochar at dose 15 kg/tree showed the best results on the number of seeds per fruit (30,41 seeds). The consortium biofertilizer at dose 60 ml/L showed the best results on the number of seeds per fruit (28,15 seeds).

Keywords: *Biochar, Cacao, Consortium Biofertilizer, Productivity.*

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Tanaman Kakao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	9
2.2 Sumber dan Siklus Nutrisi dalam Ekosistem Kakao	11
2.3 <i>Biochar</i> Sekam Padi	17
2.4 Pengaruh <i>Biochar</i> Terhadap Sifat Fisik, Kimia, dan Biologi	21
2.5 Pupuk Hayati Konsorsium	24
2.6 Hipotesis	28
2.7 Kerangka Konseptual	29
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Tempat dan Waktu	30
3.2 Alat dan Bahan	30
3.3 Metode Penelitian.....	30
3.4 Pelaksanaan Penelitian	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1. Hasil	42
4.2. Pembahasan.....	64
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	78
5.1. Kesimpulan	78
5.2. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
1.	Hasil Analisis <i>Biochar</i> Sekam Padi	34
2.	Rumus dan Konstanta Kadar Klorofil	38
3.	Indikator Kesuburan Tanah	39
4.	Rata-rata <i>Leaf Mass per Area</i> (g.cm^{-2}) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	42
5.	Rata-rata Luas Bukaan Stomata (μm^2) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	45
6.	Kadar Klorofil a ($\mu\text{mol/m}^2$) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	46
7.	Kadar Klorofil b ($\mu\text{mol/m}^2$) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	47
8.	Kadar Klorofil total ($\mu\text{mol/m}^2$) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	48
9.	Rata-rata Pertambahan Jumlah <i>Flush</i> Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	50
10.	Rata-rata Jumlah Bunga yang Muncul Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	51
11.	Rata-rata Persentase Bunga Gugur (%) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	52
12.	Rata-rata Jumlah Pentil yang Terbentuk Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	53
13.	Rata-rata Persentase Pentil Gugur (%) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	55
14.	Rata-rata Jumlah Buah Bertahan Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium.....	56
15.	Rata-rata Jumlah Buah Panen Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium.....	57

16. Rata-rata Jumlah Biji per Buah (biji) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	58
17. Rata-rata Bobot 100 Biji Kering (g) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium.....	60
18. Rata-rata Produksi per Pohon (g) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium.....	61
19. Rata-rata Produksi per Hektar (kg/ha) Pada Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	63

Lampiran

No.	Halaman
1. Komposisi Pupuk Hayati Konsorsium “ <i>Agrodyke Mikrobat</i> ”	89
2. Hasil Analisis <i>Biochar</i> Sekam Padi	89
3. Hasil Analisis Tanah Sebelum Aplikasi	89
4. Hasil Analisis Tanah Setelah Aplikasi	90
5. Rekapitulasi Hasil Analisis Sidik Ragam Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kakao	91
6a. Rata-rata <i>Leaf Mass per Area</i> (g.cm ⁻²).....	92
6b. Sidik Ragam <i>Leaf Mass per Area</i>	92
7a. Rata-rata Kerapatan Stomata (mm ²).....	93
7b. Sidik Ragam Kerapatan Stomata	93
8a. Rata-rata Luas Bukaan Stomata (μm ²)	94
8b. Sidik Ragam Luas Bukaan Stomata.....	94
9a. Rata-rata Klorofil a (μmol/m ²)	95
9b. Sidik Ragam Klorofil a.....	95
10a. Rata-rata Klorofil b(μmol/m ²)	96
10b. Sidik Ragam Klorofil b.....	96
11a. Rata-rata Klorofil total (μmol/m ²)	97
11b. Sidik Ragam Klorofil total.....	97

12a. Rata-rata Pertambahan Jumlah <i>Flush</i> Terbentuk.....	98
12b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah <i>Flush</i> Terbentuk	98
13a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Bunga yang Muncul.....	99
13b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Bunga yang Muncul	99
14a. Rata-rata Pertambahan Persentase Bunga Gugur (%).....	100
14b. Sidik Ragam Pertambahan Persentase Bunga Gugur	100
15a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Pentil yang Terbentuk	101
15b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Pentil yang Terbentuk.....	101
16a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Persentase Pentil Gugur (%)	102
16b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Persentase Pentil Gugur.....	102
17a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Buah Bertahan.....	103
17b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Buah Bertahan	103
18a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Buah Panen	104
18b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Buah Panen.....	104
19a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Biji per Buah	105
19b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Biji per Buah	105
20a. Rata-rata Pertambahan Jumlah Bobot (g) 100 biji Kering.....	106
20b. Sidik Ragam Pertambahan Jumlah Bobot 100 biji Kering.....	106
21a. Rata-rata Produksi per Pohon (g) Sebelum Transformasi	107
21b. Sidik Ragam Produksi per Pohon Sebelum Transformasi	107
21c. Rata-rata Produksi per Pohon (g) Setelah Transformasi	108
21d. Sidik Ragam Produksi per Pohon Setelah Transformasi	108
22a. Rata-rata Produksi per Hektar (kg/ha) Sebelum Transformasi	109
22b. Sidik Ragam Produksi per Hektar Sebelum Transformasi	109
22c. Rata-rata Produksi per Hektar (kg/ha) Setelah Transformasi	110
22d. Sidik Ragam Produksi per Hektar Setelah Transformasi	110

DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
1.	Siklus Nutrisi Mineral dalam Ekosistem Tanaman Kakao	14
2.	Pemanfaatan <i>Biochar</i>	18
3.	Kerangka Konseptual.....	29
4.	Proses Pembuatan <i>Biochar</i> Sekam Padi	33
5.	Alat <i>Apogee</i>	38
6.	Rata-Rata Kerapatan Stomata pada Tanaman Kakao Terhadap Aplikasi <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	44

Lampiran

No.	Halaman	
1.	Denah Percobaan di Lapangan..... 88	
2.	Grafik Intensitas Curah Hujan..... 111	
3.	Pelaksanaan Penelitian	112
4.	Parameter Pengamatan.....	113
5.	Biji Kering Kakao Pada Perlakuan <i>Biochar</i> Sekam Padi dan Pupuk Hayati Konsorsium	114

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan salah satu hasil pertanian yang berperan penting dalam mewujudkan sistem pembangunan pertanian dikarenakan tergolong ke dalam komoditas yang diutamakan (Darwis, 2021). Perkembangan kakao terus diperhatikan sebab tanaman kakao merupakan tanaman hasil perkebunan yang memiliki peran penting dalam aspek perekonomian yang mampu menunjang ekspor serta beberapa industri yang terdapat di Indonesia yang menghasilkan produk berbahan dasar buah kakao (Murni, 2019). Ketersediaan sumber daya alam di Indonesia yang melimpah dan teknologi yang dikembangkan oleh pusat-pusat penelitian yang berfokus pada komoditas kakao sehingga menjadikan kakao akan terus dikembangkan sebagai produk ekspor yang bersifat unggul setelah tanaman karet dan sawit (Ithriah, 2016).

Produksi kakao yang tinggi menjadi salah satu alasan Indonesia dijadikan sebagai negara penghasil dan eksportir biji kakao terbesar di dunia. Hal ini sesuai dengan data ICCO (*International Cocoa Organization*) pada tahun 2022 diketahui bahwa secara global produksi kakao tercatat mencapai 4,82 juta ton pada tahun 2021/2022 tetapi hasil tersebut berkurang 7,99% dibandingkan dengan tahun sebelumnya yang sebanyak 5,24 juta ton, sehingga sesuai dengan data ICCO memberi gambaran bahwa negara Indonesia tergolong ke dalam salah satu negara yang

penghasil kakao terbesar dengan urutan ketujuh dengan total produksi kakao mencapai 180.000 ton pada tahun 2021/2022 setelah Pantai Ghading dan Ghana sebagai produsen kakao terbesar di dunia (ICCO, 2022). Berdasarkan data statistik, produksi kakao di Sulawesi Selatan pada tahun 2022 merupakan salah satu sentra penghasil kakao terbesar ketiga setelah Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara dengan luas areal sebesar 181,10 ribu ha dengan produksi sebesar 665,40 ribu (BPS, 2023).

Penurunan produksi kakao di Indonesia pada kurun waktu tertentu disebabkan karena sentra-sentra pertanaman kakao yang ada di Indonesia sudah tidak produktif diakibatkan oleh usia tanaman yang tua. Selain itu, kurangnya kandungan hara pada lahan pertanaman, dan tanaman terserang hama dan penyakit. Sentra pertanaman kakao yang ada di Indonesia, salah satu diantaranya yaitu Pulau Sulawesi. Pulau Sulawesi tergolong ke dalam sentra perkebunan kakao terbesar di Indonesia yang memiliki kontribusi cukup besar dalam mengembangkan tanaman kakao yang tersebar di beberapa Provinsi diantaranya Sulawesi Tenggara dengan luas 254,811 ha, Sulawesi Tengah dengan luas 283,626 ha, Sulawesi Barat dengan luas 144,971 ha, dan Sulawesi Selatan 217,169 ha (BPS, 2020).

Penyebab penurunan produksi kakao dan mutu produksi disebabkan oleh degradasi lahan dan penurunan kualitas ekosistem lahan, tanaman tua yang tidak diikuti oleh peremajaan dan rehabilitasi tanaman (Asrul, 2013). Upaya yang dapat dilakukan untuk memperbaiki kualitas ekosistem lahan dan kesuburan tanah lahan kakao adalah pemanfaatan *biochar* sekam padi

dan pemanfaatan teknologi mikrobat. Kualitas dan kesuburan tanah dapat meningkat apabila pengelolaan tanah dilakukan dengan baik. Kondisi fisik tanah yang baik dapat memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil produksi pada tanaman. Hal ini dikarenakan nutrisi yang terdapat di dalam tanah mampu memperbaiki pertumbuhan kakao serta mampu meningkatkan produksi (Arifai, 2022). Sesuai dengan hasil penelitian Nisak & Supriyadi (2019) diperoleh hasil bahwa pengaplikasian *biochar* sekam padi pada tanah grumusol yang tergolong salin dengan dosis 10 ton/ha diketahui dapat membenahi kesuburan tanah sehingga sifat fisikokimia tanah dan pertumbuhan tanaman mengalami peningkatan. Terjadi peningkatan pada nilai KTK tanah, kandungan K-tersedia, C-organik tanah namun pada nilai P-tersedia tanah dan salinitas tanah mengalami penurunan.

Negara tropis seperti Indonesia memiliki laju dekomposisi biomassa tergolong tinggi yang dapat menyebabkan bahan amelioran tanah yang digunakan akan mengalami pelapukan secara cepat dan efektivitasnya hanya bersifat sementara (*temporary*) (Nurjaya et. al., 2015). Penggunaan *biochar* atau arang dari limbah pertanian telah berkembang dikarenakan *biochar* memiliki sifat yang sukar terdekomposisi sehingga memiliki efek yang relatif lama di dalam tanah. Selain itu, bahan bakunya juga mudah ditemukan seperti: sekam padi, tempurung kelapa, kulit buah kakao, kulit kelapa sawit dan lain-lain.

Biochar dibuat dengan menggunakan limbah biomassa (utamanya limbah pertanian) melalui proses pemanasan tanpa membutuhkan udara sama sekali atau membutuhkan udara yang sedikit (*pyrolysis*). Manfaat penggunaan *biochar* sudah terbukti sebagai bahan pembenah tanah dan mampu meningkatkan kualitas pada lahan pertanian serta mampu menaikkan pH tanah atau menurunkan tingkat kemasaman pada tanah. Pengaplikasian *biochar* pada lahan pertanian juga mampu meningkatkan produktivitas sehingga pendapatan petani juga meningkat, serta dapat mengurangi pencemaran pada tanah dan air yang diakibatkan pencucian oleh pupuk di dalam tanah (Abidin, 2021).

Penambahan *biochar* ke dalam tanah mampu meningkatkan nilai Kapasitas Tukar Kation (KTK) dan pH pada tanah hingga 40%. Ketersediaan hara yang tinggi bagi tanaman merupakan hasil dari penambahan nutrisi secara langsung yang diperoleh dari *biochar* dan terjadinya peningkatan retensi hara (Zulfita et. al., 2019). Residu tanaman yang memiliki potensial dalam pembuatan *biochar* pada saat ini yaitu sekam padi, namun pemanfaatan limbah sekam padi sebagai *biochar* ini belum maksimal, padahal sekam sebagai limbah penggilingan padi memiliki jumlah 20 - 23% dari gabah. Pemanfaatan *biochar* sekam padi digunakan sebagai salah satu pembenah tanah yang bersifat alternatif dengan bahan baku dari limbah pertanian yang sukar mengalami dekomposisi sehingga diharapkan dapat memperbaiki lahan kering yang mengalami degradasi (Widyantika & Prijono, 2019).

Pengaplikasian *biochar* di lahan pertanian yang bersifat lahan kering dan basah mampu meningkatkan kapasitas tanah dalam menyerap air dan kandungan hara, mengurangi terjadinya evaporasi air dalam tanah, mampu menggemburkan tanah, menekan hama dan penyakit tanaman, dan membentuk habitat baik bagi mikroorganisme yang bersifat simbiotik (Nuridah et. al., 2015). Hasil penelitian Nurida et. al. (2013) menunjukkan hasil bahwa pemberian *biochar* 15ton/ha memberikan pengaruh secara konsisten terhadap tinggi tanaman padi selama tiga musim tanam.

Penambahan *biochar* pada tanah tidak mampu mengatasi kebutuhan nutrisi tanaman secara signifikan sebab *biochar* tidak mempunyai kandungan hara. Penambahan kandungan hara dalam tanah guna meningkatkan hasil produksi tanaman kakao dapat diterapkan dengan cara menambahkan konsorsium mikroba dalam bentuk pupuk hayati konsorsium. Ketersediaan bahan organik dalam *biochar* sekam padi dapat diperkaya dengan penggunaan pupuk hayati konsorsium.

Pupuk hayati konsorsium didefinisikan sebagai pupuk yang tidak mengandung beberapa unsur hara seperti hara N, P dan K. Pupuk hayati konsorsium memiliki kandungan mikroorganisme yang berperan positif bagi pertumbuhan tanaman antara lain dapat membantu dalam menyediakan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Selain itu, juga dapat membantu dalam proses dekomposisi bahan organik yang diperoleh dari pemberian *biochar* sekam padi (Karim et. al., 2019).

Terdapat kelompok mikroorganisme dalam pupuk hayati konsorsium yang mampu mengikat N yang berada di udara serta melarutkan unsur P dan K yang semula tidak diserap oleh tanaman menjadi mampu diserap oleh tanaman (Yakub, 2021). Selain bakteri penambat N (*Azotobacter* sp.) dan pelarut K (*Paenibacillus polymixa*), pupuk hayati konsorsium juga mengandung beberapa bakteri seperti bakteri penghasil ZPT (*Pseudomonas* sp.), bakteri pengendali hayati (*Streptomyces* sp.), dan bakteri pendegradasi selulosa (*Pseudomonas* sp.). Sekelompok bakteri yang memiliki manfaat bagi pertumbuhan tanaman secara langsung yaitu kelompok bakteri yang dapat memproduksi hormon pertumbuhan misalnya, sitokinin, giberelin, dan auksin (Karim et. al., 2019).

Hasil penelitian Karim et. al. (2019) diperoleh hasil yaitu perlakuan pupuk mikrobat 20 ml/L air (C2) berpengaruh signifikan terhadap parameter panjang daun, jumlah daun, jumlah anakan, berat segar dan berat kering pada tanaman bawang merah dan berbeda sangat nyata dengan perlakuan pupuk mikrobat 0 ml/L air (C0) dan pupuk mikrobat 10 ml/L air (C1). Selain itu, hasil penelitian Yakub (2021) menunjukkan hasil bahwa perlakuan mikrobat dengan konsentrasi 40 ml/L diperoleh rata-rata laju tumbuh per tanaman berbeda sangat nyata dengan perlakuan lainnya pada bibit tanaman kopi.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian terkait aplikasi *biochar* sekam padi dan pupuk hayati konsorsium dalam rangka meningkatkan produktivitas tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Bagaimana interaksi antara pemberian *biochar* sekam padi dan pupuk hayati konsorsium dalam memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao?
2. Bagaimana pengaruh *biochar* sekam padi terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao?
3. Bagaimana pengaruh pupuk hayati konsorsium terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui dan mempelajari interaksi antara pemberian *biochar* sekam padi dan pupuk hayati konsorsium terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.
2. Mengetahui dan mempelajari pengaruh aplikasi *biochar* sekam padi terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.
3. Mengetahui pengaruh aplikasi pupuk hayati konsorsium terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi atau referensi bagi peneliti yang berkecimpung di bidang pertanian terkait pengaruh

aplikasi *biochar* sekam padi sebagai bahan pembenah tanah dan pupuk hayati konsorsium terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.

2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai informasi atau referensi tambahan bagi masyarakat khususnya petani kakao agar memanfaatkan *biochar* sekam padi sebagai bahan pembenah tanah dan pupuk hayati konsorsium untuk meningkatkan produktivitas tanaman kakao.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Tanaman kakao termasuk ke dalam tanaman yang melakukan perkawinan silang (hibridisasi) oleh karena itu dihasilkan tingkat keragaman genotipe, utamanya keragaman morfologi misalnya pada batang, daun, bunga, buah (bentuk, ukuran, dan warna), ukuran biji, dan ketahanan tanaman terhadap hama dan penyakit (Farhandi & Indah, 2022). Menurut Sahardi dan Djufry (2015) kakao di Sulawesi Selatan memiliki variabilitas yang tinggi yaitu sebanyak 30 kultivar. Terdapat beberapa kultivar yang banyak dibudidayakan oleh petani seperti kultivar M01 (MCC-01), M45 (MCC-02), AP, RB, Kambala, ACC, BRT, BB (Buntu Batu), dan Gene-J.

Sifat genetik dan interaksi dengan lingkungan sekitar dapat menjadi tolak ukur terhadap pertumbuhan dan produktivitas yang baik pada tanaman kakao. Syarat tumbuh kakao menjadi penunjang dalam meningkatkan produksi, salah satunya kondisi tanah yang gembur dan saluran drainase yang mendukung. Kadar kemasaman tanah juga berpengaruh terhadap produktivitas tanaman sehingga pH yang ideal berada pada kisaran pH 6 - 7. Tanaman kakao dapat tumbuh dengan baik di ketinggian 0 - 600 meter di atas permukaan laut (mdpl) dan curah hujan berada pada kisaran 1.500 hingga 2.000 mm per tahun dengan sebaran curah hujan yang merata sepanjang tahun. Temperatur dan intensitas cahaya juga menjadi syarat tumbuh bagi kakao. Temperatur yang optimal

berkisar pada 25° hingga 27°C dengan lonjakan yang tidak terlalu tinggi, sedangkan intensitas cahaya idealnya berada pada kisaran 50 - 70% (Ilham dkk., 2018).

Tingginya temperatur akan mempercepat proses pembungaan kakao tetapi juga akan mempercepat proses pengguguran bunga. Tinggi rendahnya temperatur juga sangat berpengaruh pada perkembangan buah. Buah kakao yang berada pada daerah dengan temperatur rendah akan membutuhkan waktu yang relatif lama dalam proses pematangan buah dibandingkan dengan buah kakao yang berada pada daerah dengan temperatur tinggi. Menurut Asrul (2013) temperatur yang lebih rendah 10°C dari yang diperlukan oleh kakao akan menyebabkan gugurnya daun dan keringnya bunga sehingga mengakibatkan laju pertumbuhan kakao menjadi lambat. Curah hujan juga mempengaruhi pola pertunasan pada kakao (*flush*). Curah hujan yang tinggi dan sebaran yang tidak merata akan mengakibatkan gangguan pada *flush* sehingga akan mempengaruhi tingkat produksi kakao.

Lahan pertanaman kakao umumnya memiliki kelembaban yang cukup tinggi sebagai pemacu pertumbuhan kakao, jika tanaman kakao berada dalam kondisi kelembaban yang tinggi maka kakao dapat tahan terhadap musim kering. Namun, kelembaban yang tinggi secara berkepanjangan akan menyebabkan mudahnya tanaman terserang oleh hama dan penyakit (Asrul, 2013).

2.2 Sumber dan Siklus Nutrisi dalam Ekosistem Kakao

a. Sumber Nutrisi dalam Eksosistem Kakao

Ekosistem kakao memiliki sumber nutrisi yang berasal dari biomassa pada bagian atas dan bawah tanah. Jumlah biomassa dan status kesuburan tanah dapat mempengaruhi kelimpahan persediaan nutrisi mineral pada ekosistem kakao. Biomassa total pada ekosistem kakao memiliki jumlah yang bervariasi, biomassa pada pertanaman kakao yang memiliki usia 7,5 tahun di Malaysia terdapat biomassa dengan kisaran 60 ton bahan kering. Wachjar and Kadarisman (2007), sedangkan pada pertanaman kakao yang berusia 10 tahun di Costa Rica dengan kisaran 8,5 - 11 ton bahan kering ha^{-1} (Hartemink, 2005). Menurut Nasaruddin (2010), setiap pohon kakao normal tanpa naungan dapat memperoleh biomassa daun dan ranting yang gugur, dan hasil pangkasan dengan kisaran 6,23 kg perpohon dalam setahun atau setara dengan 6,85 ton ha^{-1} pertahun dengan populasi 1.100 ha^{-1} sedangkan tanaman kakao yang memiliki naungan memperoleh biomassa sekitar 10,80 kg perpohon dalam setahun atau setara dengan 11,88 ton ha^{-1} pertahun.

Eksistensi naungan pada pertanaman kakao memiliki peran penting dalam memberikan sumbangan bahan kering terhadap ekosistem tanaman kakao. Pohon yang bersifat sebagai penabung di Costa Rica memperoleh biomassa terakumulasi sebanyak 23 hingga 35 ton bahan kering ha^{-1} . Biomassa akar tanaman merupakan bagian terpenting dari produksi primer pada sistem budidaya tanaman tahunan yang terdiri dari 25 - 43% total

biomassa pohon (Hartemink, 2005). Sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan di Costa Rica (CATIE), biomassa akar halus pada tanaman kakao di bawah naungan pohon *Erythrina poeppigiana* atau *Cordia alliodora* berkisar $1,0 \text{ ton ha}^{-1}$, namun biomassa maksimum diperoleh pada akhir musim penghujan (Munoz and Beer, 2001).

Pertanaman kakao memiliki cadangan nutrisi yang terdapat di dalam tanah dengan batasan kedalaman 30 cm dari permukaan tanah. Sistem perakaran pada tanaman kakao terdiri atas akar utama (*tap root*) dan akar lateral (*lateral root*) yang terkonsentrasi dengan kedalaman 20 cm dari permukaan tanah (Wood and Lass, 2001). Sesuai dengan Hertemink (2006), 85% dari akar terkonsentrasi pada kedalaman 0 hingga 30 cm di permukaan tanah. Menurut Hartemink (2005) akar lateral pada tanaman kakao sering dijumpai dikedalaman 0 - 30 cm pada lapisan permukaan tanah. Kedalaman 0 - 30 cm pada tanah tropis biasanya terdapat mineral nutrisi tanaman.

Nitrogen (N) dalam biomassa tanaman kakao yang terdapat di dalam dan permukaan tanah terakumulasi sekitar 100 hingga $>400 \text{ kg ha}^{-1}$ sesuai dengan usia tanaman, kultivar, dan kondisi lingkungan. Akumulasi N pada tanaman penaung diperoleh lebih besar dua kali lipat dari tanaman kakao yang terdapat di Costa Rica dan Brazil (Stephenson and Raison, 1987). Rata-rata kandungan N tanaman penaung pada ekosistem kakao berkisar 260 kg N ha^{-1} . Kandungan N total yang terdapat pada lapisan tanah 0 - 30 cm dari permukaan tanah memiliki hasil yang bervariasi antara $4.800 -$

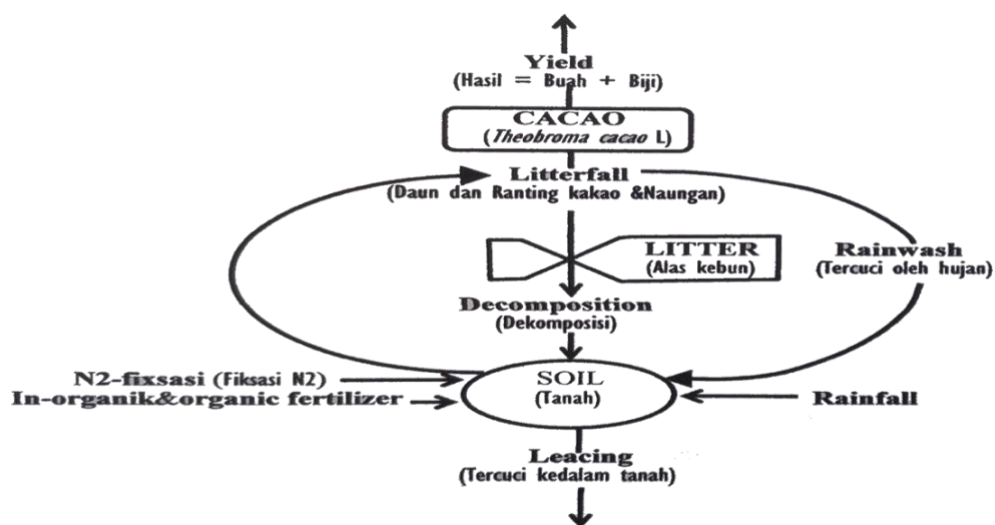
18.750 kg ha⁻¹. Tanah yang memiliki pH 3,8 dan kelarutan Al yang tinggi dapat menyebabkan kemungkinan terjadinya fiksasi fosfor (P). Sehingga akan mengakibatkan pengaruh negatif terhadap pembentukan nodul pada tanaman penayang dari jenis legum (Hartemink, 2005).

Akumulasi P pada ekosistem kakao terbilang relatif rendah. Total P pada biomassa sebanding dengan kandungan P tersedia di dalam tanah. Kandungan P di lahan kakao yang terdapat di Malaysia berkisar 55 kg ha⁻¹ sedangkan di Costa Rica dan Brazil berkisar 12 kg ha⁻¹. Kandungan P yang berasal dari tanaman penayang sekitar 25 kg ha⁻¹. Kakao dan tanaman penayang di Costa Rica memiliki kandungan P lebih tinggi jika berada di bawah naungan pohon non legum. Hal ini dikarenakan bakteri *Rhizobium* yang bersimbiosis dengan akar tanaman legum membutuhkan P yang relatif tinggi pada tanaman kakao dengan penayang dari jenis tanaman legum.

Kalium (K) merupakan nutrisi utama pada tanaman kakao dewasa, sumbangan K tertukar dari humus tanah memiliki hasil yang bervariasi antara 100 - 500 kg ha⁻¹. Kandungan K yang terdapat pada tanaman kakao dewasa di Malaysia lebih dari 600 kg ha⁻¹ sedangkan hasil penelitian lain, kandungan K tanah di lahan pertanaman kakao diperoleh sebesar 10 - 15% dari kandungan K tertinggi dari tanah dan kandungan K biomassa yang tersedia dalam bentuk serasah (Hartemink, 2005).

b. Siklus Nutrisi dalam Ekosistem Kakao

Sumber utama ketersediaan cadangan nutrisi mineral pada ekosistem kakao berasal dari serasah daun, ranting tanaman kakao dan penaung yang gugur, dan sisa hasil pemangkasan sebagai media tumbuh pada tanaman. Ekosistem kakao memiliki siklus nutrisi yang digambarkan dalam bentuk bagan sederhana seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Nutrisi Mineral Secara Sederhana dalam Ekosistem Tanaman Kakao dimodifikasi dari (Hartemink, 2005 dalam Nasaruddin, 20112)

Penambahan cadangan nutrisi ke dalam ekosistem kakao dapat berasal dari fiksasi N_2 di udara, pemberian pupuk anorganik dan organik, nutrisi yang terdisposisi oleh air hujan (*rainfall*). Serasah daun, ranting tanaman kakao dan penaung, dan sisa hasil pemangkasan (*litterfall*) dapat dijadikan sebagai alas kebun (*litter*) dan akan mengalami proses dekomposisi bersama dengan nutrisi yang tercuci dari tanaman kakao dan penaung yang akan menjadi cadangan utama bagi ekosistem tanaman

kakao. Nutrisi yang terdapat dalam ekosistem kakao akan hilang melalui panen, imobilisasi dalam batang dan cabang, pencucian dan erosi.

Hilangnya nutrisi pada ekosistem lahan pertanaman paling banyak terjadi melalui panen. Sesuai dengan data hasil panen di Venezuela menunjukkan bahwa hasil panen yang diperoleh setiap kali panen 1.000 kg biji kering ha^{-1} , maka mineral nutrisi yang terangkut sebanyak 20 kg N, 4 kg P, dan 10 kg K tetapi jika kulit buah yang dipanen tidak dikembalikan ke lahan perkebunan maka total nutrisi yang diangkut mengalami peningkatan menjadi 35 kg N, 6 kg P, dan 60 kg K per 1.000 kg biji (Hartemink, 2005). Wessel and Aikpodion (2010), melaporkan bahwa setiap 1.000 kg biji kakao kering memiliki kadar air 7%, sehingga nutrisi makro utama yang terangkut berkisar 20 kg N, 41 kg P, dan 10 kg K yang berasal dari dalam tanah. Menurut Gusli dan Nasaruddin (2002) N, P, dan K total pada kulit buah kakao di daerah-daerah sentra pertanaman kakao di Sulawesi Selatan dan Sulawesi Barat sebesar 2,59 g N 100 g^{-1} , 0,09 g P 100 g^{-1} , dan 1,06 g K 100 g^{-1} . Pengangkutan nutrisi pada biji kakao yang telah dipanen tidak menunjukkan pengaruh perbedaan yang berarti, namun pengangkutan nutrisi dari kulit buah menunjukkan variasi yang cukup besar. Hal ini dikarenakan ukuran buah sangat berpengaruh terhadap lingkungan dan jenis klon (Wessel, 1985).

Pencucian (*leaching*) merupakan salah satu proses kehilangan nutrisi yang terdapat dalam tanah pada ekosistem kakao di kawasan tropis yang lembab (Buresh and Tian, 1997). Salah satu penelitian yang dilakukan

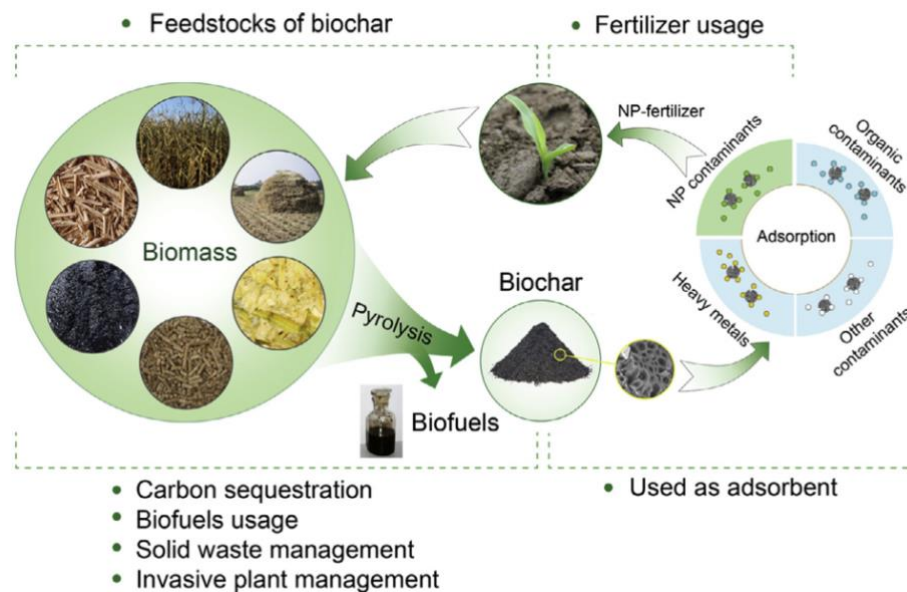
di Costa Rica (CATIE) dengan dua sistem tanam yaitu campuran dan *monocropping*. Sistem tanam campuran dari *Cordia alliodora* (jenis kayu-kayuan), kakao, dan pisang, sedangkan, sistem tanam *monocropping* jagung untuk mengamati kehilangan nutrisi akibat pencucian (Seyfried and Rao, 1991). Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kehilangan nutrisi calcium (Ca), magnesium (Mg), dan kalium (K) signifikan 2-15 kali lebih besar pada sistem tanam *monocropping*, dan NO_3 yang tercuci sebesar 56 kg ha^{-1} dari plot perlakuan dibandingkan dengan plot tanaman kakao dengan sistem tanam campuran yang hanya $1,0 \text{ kg NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ (Hartemink, 2005). Hasil penelitian lain oleh Imbach et. al. (1989) diperoleh bahwa kerugian akibat *leaching* nutrisi pada ekosistem kakao jauh lebih rendah dibanding di bawah tanaman semusim. Hal ini dibuktikan bahwa teori tanaman tahunan merupakan “jaring pengaman (*safety net*)” nutrisi yang tercuci ke dalam tanah yang lebih dalam dikarenakan dapat dijangkau oleh akar tanaman pada tanah yang lebih dalam.

Erosi tanah dapat diatasi secara cepat dengan pengaturan dan sistem pembukaan lahan yang tepat, dan segera dilakukan penanaman tanaman penutup tanah (Lai, 1986). Saat tajuk tanaman sudah saling menutup, kerugian yang ditimbulkan oleh erosi pada lahan pertanaman kakao kemungkinan akan mengalami penurunan kecuali tanaman kakao masih muda dan berada pada lokasi lereng yang curam tanpa pohon penangung. Sistem tanam *monocropping* pada tanaman kakao di Malaysia menimbulkan kerugian sebesar 11 mg ha^{-1} pertahun akibat erosi tanah,

tetapi kerugian yang disebabkan oleh erosi tanah dapat menurun apabila tanaman penutup tanah seperti *Indigofera spicata* ditanam sebagai tanaman penayang bersifat sementara (Hashim et. al., 1995), sedangkan apabila kakao ditumpangsari dengan pisang kemudian dilakukan pengendalian gulma menggunakan herbisida maka kerugian yang disebabkan oleh erosi tanah akan mengalami peningkatan hingga 70 mg ha⁻¹ pertahun.

2.3 Biochar Sekam Padi

Biochar didefinisikan sebagai salah satu bahan alternatif dalam memperbaiki kualitas dan kesuburan tanah. *Biochar* dikenal dengan istilah residu pirolisis yang berbentuk seperti arang dan memiliki kandungan carbon (C) yang tinggi. *Biochar* dapat digunakan dalam memperbaiki lingkungan tanah yang rusak yang bersifat ramah lingkungan. *Biochar* memiliki kemampuan dalam memperbaiki tanah melalui proses peningkatan pH, merentensi air dan hara, dan aktivitas biota dalam tanah ditingkatkan serta menurunkan pencemaran (Sukarno, 2019). Skema pemanfaatan *biochar* disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemanfaatan *Biochar* (Tan et. al., 2015).

Biochar mampu membenahi sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Aplikasi *biochar* dalam tanah sebaiknya diolah dengan cara mencampur *biochar* hingga merata ke dalam lapisan tanah atau diletakkan pada permukaan tanah dekat daerah perakaran tanaman sebagai tempat berlangsungnya proses penyerapan unsur hara oleh tanaman (Situmeang, 2017). Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Zulputra (2018) menunjukkan bahwa pemberian perlakuan *biochar* sekam padi dengan dosis 7,5 ton/ha terjadi peningkatan secara signifikan pada bobot segar tanaman kacang panjang dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Bobot segar tanaman kacang mengalami kenaikan sekitar 7,56% hingga 22,22% dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Bobot segar tanaman terjadi peningkatan setelah diberi *biochar* sekam padi disebabkan karena *biochar* sekam padi dapat memperbaiki sifat fisik tanah sehingga tanah menjadi gembur, oleh karena itu, penyerapan hara pada tanaman menjadi lebih baik

sehingga dapat membantu dalam pertumbuhan tanaman. *Biochar* sekam padi mengandung C yang relatif tinggi yang dapat menjadikan tanah lebih gembur, sehingga penggunaan *biochar* sekam padi sebagai media tanam tanpa harus dilakukan sterilisasi kembali dikarenakan mikroorganisme yang bersifat patogen telah mati ketika proses pembakaran berlangsung.

Pemanfaatan *biochar* di dalam bidang pertanian berkaitan erat dengan keterikatan (afinitas) hara yang tinggi. Afinitas hara yang tinggi pada *biochar* disebabkan karena bahan ini mempunyai kapasitas dalam mempertahankan retensi hara dalam tanah sehingga kesuburan tanah dapat bertahan lebih lama. Hasil penelitian *biochar* pada tanaman jagung menunjukkan bahwa *biochar* dapat menyebabkan peningkatan biomassa pada tanaman jagung dan peningkatan serapan N pada daun jagung (Rahman, 2021).

Aktivitas dari mikroba dan biomassa dalam tanah sangat dipengaruhi oleh *biochar* sehingga mampu merubah bakteri dan aktivitas enzim yang terdapat dalam tanah serta membuat kembali struktur populasi pada mikroba (Zhu et. al., 2014). *Biochar* memiliki banyak benefit tidak hanya memperbaiki struktur tanah tetapi juga dapat meningkatkan hasil produksi tanaman. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Widyantika & Prijono, (2019), produksi biomassa yang meliputi biomassa basah dan biomassa kering pada tanaman jagung selama 9 minggu setelah tanam (MST) memberikan pengaruh yang sangat nyata dan mengalami peningkatan seiring bertambahnya dosis *biochar* sekam padi yang diaplikasikan.

Pemberian *biochar* yang berbahan dasar dari limbah tanaman mampu meningkatkan berat basah dan kering pada biomassa tanaman jagung pada usia 4 pekan. Hasil penelitian lain yang telah dilakukan oleh Yurika (2022) diperoleh hasil bahwa perlakuan dosis *biochar* sekam padi memberikan pengaruh nyata terhadap parameter jumlah daun pada usia 34 hari setelah tanam (HST) dan berpengaruh sangat nyata pada parameter jumlah daun usia 44 HST. Jumlah daun tertinggi pada usia 34 HST terdapat pada perlakuan *biochar* sekam padi dengan dosis 10 t ha^{-1} yang berbeda nyata terhadap dosis 30 t ha^{-1} , sedangkan pada jumlah daun usia 44 HST terdapat pada dosis 10 t ha^{-1} berbeda nyata dengan perlakuan dosis 20 t ha^{-1} dan dosis 30 t ha^{-1} . Hal ini dikarenakan efek pemberian *biochar* sekam padi dengan dosis 10 t ha^{-1} terurai dengan baik sehingga menyebabkan pertumbuhan vegetatif pada daun mengalami pertumbuhan yang optimal.

Pembuatan *biochar* dengan suhu $>400^{\circ}\text{C}$ lebih efektif dalam penyerapan kontaminan organik dikarenakan memiliki luas permukaan yang tinggi dan terjadinya peningkatan mikropori, namun jika pembuatan *biochar* menggunakan suhu $>500^{\circ}\text{C}$ akan menyebabkan permukaan *biochar* kurang mengalami kepolaran dan bersifat lebih aromatik disebabkan hilangnya gugus dalam *biochar* yang memiliki kandungan O dan H sehingga dapat berpengaruh pada kontaminan organik (Sukarno, 2019).

2.4 Pengaruh *Biochar* terhadap Sifat Fisik, Kimia, dan Biologi Tanah

Biochar yang ditambahkan ke dalam tanah mampu menaikkan ketersediaan kation utama, fosfat (P) dan konsentrasi nitrogen (N) yang terdapat dalam tanah. KTK dan pH tanah juga dapat mengalami peningkatan mencapai 40% (Arifai, 2022), bahkan *biochar* mampu membenahi kondisi tanah khususnya pada tanah yang kurang subur sehingga akan menyebabkan peningkatan pada produksi tanaman (BPTP Aceh, 2011). *Biochar* juga memiliki kemampuan dalam mengikat air dan unsur hara pada tanah sehingga mampu menghindari terjadinya kehilangan pupuk yang disebabkan adanya erosi permukaan (*run off*) dan pencucian (*leaching*). Proses ini akan membantu dalam menghemat penggunaan pupuk dan mengurangi pencemaran dari sisa pemupukan di lingkungan sekitar.

Kemampuan *biochar* yang memiliki manfaat dalam mempertahankan kelembaban mampu menyokong tanaman ketika berada pada fase kekeringan dalam memacu pertumbuhan dan menekan nutrisi di dalam tanah agar tidak mudah hilang pada saat proses *leaching* tanah yang akan berdampak pada hasil panen (Lehman and Joseph, 2009). Penambahan *biochar* di lahan pertanaman dapat meningkatkan nilai KTK dan pH tanah. KTK tanah yang mengalami peningkatan yang disebabkan oleh penambahan *biochar* akan meminimalisir dampak terhadap pencucian kation seperti K^+ dan NH_4^+ (Novak et. al., 2009).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk pengujian terhadap kemampuan *biochar* sekam padi, jerami, kotoran hewan, kulit buah kakao, tongkol jagung dalam meningkatkan nilai KTK dan pH tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian *biochar* dapat membenahi struktur kimia tanah misalnya meningkatkan pH pada air (H₂O) dan KTK tanah di berbagai tekstur tanah berpasir. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Nisak & Supriyadi (2019) diperoleh hasil bahwa pemberian *biochar* sekam padi dengan dosis 10 ton/ha pada tanah salin mampu memperbaiki beberapa sifat kimia tanah, sehingga dalam penelitian ini, beberapa parameter seperti C-organik, kandungan K tersedia, dan KTK tanah mengalami peningkatan sedangkan pada parameter P tersedia dan salinitas tanah mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pemberian *biochar* sekam padi dengan dosis 10 hingga 50 ton/ha mampu meningkatkan sifat fisikokimia pada tanah sehingga pertumbuhan tanaman mengalami peningkatan. Sifat kimia tanah mengalami perubahan dikarenakan kandungan yang terdapat dalam *biochar* mampu menurunkan kadar garam dalam tanah dengan cara meningkatkan KTK tanah dan C-organik.

Efek pemberian *biochar* di lahan kering diperoleh hasil yang signifikan dalam meningkatkan pH tanah (Zhu et. al., 2014) tetapi tidak berpengaruh nyata pada tanah non masam (Nurida et. al., 2013). Penelitian Haefele et. al. (2011) diperoleh hasil yang sebaliknya yaitu pemberian *biochar* sekam padi sebanyak 43 ton/ha tidak berpengaruh pada pH dan

KTK tanah. Hal ini disebabkan karena kualitas tanah di area tersebut masih terbilang relatif baik, sedangkan, hasil penelitian Sukartono dan Utomo (2012) menunjukkan bahwa pemberian *biochar* dapat menaikkan pH dan KTK tanah pada jenis tanah lempung berpasir di daerah Nusa Tenggara Barat.

Jenis tanah di Indonesia yang sering dijumpai di lahan kering pertanian yaitu jenis tanah Ultisol dan Oxisol dengan kisaran 41,99% dari total luas lahan kering yang tersedia. Hasil penelitian Zhu et. al. (2014) terkait jenis tanah Ultisol dan Oxisol diinformasikan bahwa kemasaman tanah dapat diatasi dengan pengaplikasian *biochar* di lahan pertanian. *Biochar* memiliki sifat basah (ketika dilakukan proses sintesis dengan kondisi yang baik) dan juga kaya akan komponen basa seperti Ca, Mg, dan K yang mampu berkontribusi dalam menetralsir kemasaman pada tanah dan mengurangi kelarutan pada logam beracun misalnya aluminium (Al) yang terkandung dalam tanah (Gruba dan Mulder, 2008).

Biochar dapat dijadikan sebagai bahan ameliorasi tanah guna mengurangi konsentrasi Al di lahan kering masam yang terdapat di Indonesia, tetapi kemampuan *biochar* untuk mengurangi kadar Al dalam tanah juga tetap memperhatikan jenis *biochar* yang digunakan. Penambahan *biochar* terhadap perbaikan kualitas tanah juga berpengaruh pada peningkatan produktivitas tanaman. Produktivitas pada tanaman yang tergolong ke dalam tanaman pangan seperti padi gogo dan jagung telah dibuktikan mengalami peningkatan setelah diberikan *biochar*.

Peningkatan produktivitas tanaman yang diberi *biochar* ini sangat bervariasi dibandingkan dengan tanaman yang tidak diberikan perlakuan *biochar*. Di tanah Ulfisol yang memiliki kondisi relatif baik, peningkatan produktivitas pada padi gogo hanya berkisar 6,27% (Haefele et. al., 2011), tetapi hasil penelitian Asai et. al. (2009) justru mengalami peningkatan pada produktivitas padi gogo sekitar 14,29% – 32,14%. Tidak hanya pada komoditi padi gogo, efektifitas *biochar* terhadap produktivitas jagung juga mengalami peningkatan yang sangat signifikan dengan kisaran 524,32% (Nurida et. al., 2014) sementara pada lahan kering dengan iklim kering berkisar 57,55 – 95,20% (Dariah dan Sutono, 2013). Dengan demikian, efek pemberian *biochar* dengan karakteristik, dosis, dan kemampuan *biochar* dalam menangani hambatan utama pada tanah sangat berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas tanaman.

2.5 Pupuk Hayati Konsorsium

Pupuk hayati konsorsium didefinisikan sebagai kombinasi pupuk hayati dengan fungisida hayati yang diformulasikan dalam sediaan cair yang diproduksi melalui tahap bioteknologi guna memenuhi kebutuhan pertanian di bidang organik. Penggunaan pupuk hayati konsorsium dalam mengurangi penggunaan bahan kimia sintetik harus dikembangkan, sehingga pengaplikasian pupuk hayati di bidang pertanian menjadi salah satu pelengkap yang baik dikarenakan mampu meningkatkan kesuburan tanah dan juga mempercepat pertumbuhan tanaman. Pupuk hayati konsorsium memiliki peran dalam memudahkan penyediaan unsur hara

bagi tanah, membantu penguraian bahan organik, dan menyuplai lingkungan rizosfer lebih baik sehingga mampu mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produktivitas tanaman. Penggunaan pupuk hayati diharapkan mampu memperbaiki pertumbuhan tanaman menjadi lebih sehat, resisten terhadap hama dan penyakit, dan memenuhi kebutuhan hara dalam tanah (Jamil dkk., 2020).

Pengaplikasian pupuk hayati konsorsium terbilang lebih efektif jika diaplikasikan ke bagian jaringan meristem pada tanaman. Organ tanaman muda seperti tunas, daun muda atau pucuk mempunyai kontribusi besar dalam penyerapan unsur hara, sehingga dengan pemberian pupuk mikrobat dalam sediaan cair dengan cara disemprot pada bagian tanaman muda secara tidak langsung akan memudahkan penyerapan pupuk oleh tanaman. Tahap pengenceran yang dilakukan pada pupuk hayati konsorsium dilaksanakan sebelum dilakukan pengaplikasian ke tanaman agar seluruh unsur hara yang terkandung dalam pupuk hayati konsorsium mampu diterima oleh tanaman sehingga dengan dilakukan pengenceran perpindahan unsur hara pada tanaman dapat berjalan dengan baik (Jamil dkk., 2020).

Sejumlah mikroba berperan penting dalam tanah yang normal. Mikroba yang terdapat dalam tanah memiliki peran sebagai pengurai bahan organik, melepaskan nutrisi ke dalam bentuk yang tersedia untuk tanaman dan membantu proses degradasi residu yang bersifat toksik. Mikroba sebagai agen pertumbuhan tanaman yang sering dikenal sebagai PGPR

(*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*) mampu menghasilkan hormon pertumbuhan, vitamin, dan asam-asam organik yang memiliki peran dalam membantu merangsang pertumbuhan bulu-bulu pada akar tanaman (Nasaruddin, 2018). Akar tanaman merupakan salah satu habitat bagi mikroba dalam melangsungkan kehidupan, sedangkan PGPR merupakan sekelompok bakteri yang hidup di daerah sekitar akar tanaman, sehingga PGPR berperan penting bagi tanaman dikarenakan dapat dijadikan sebagai agen pengendali biologi, meningkatkan ketersediaan hara dalam tanah melalui proses fiksasi N, melarutkan unsur hara dalam tanah sehingga dapat digunakan oleh tanaman, dan memproduksi fitohormon (Wulandari et. al., 2019).

Kemampuan bakteri PGPR sebagai penyuplai hara disebabkan karena mampu melarutkan mineral yang tersedia dalam bentuk senyawa kompleks yang diubah menjadi ion sehingga mampu diserap oleh perakaran tanaman. Jenis bakteri PGPR tersebut ialah dari golongan *Bacillus*, *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, dan *Azospirillum*. Beberapa jenis bakteri yang memiliki peran sebagai penambat N₂ di udara diantaranya *Azotobacter* dan *Azospirillum*. Bakteri ini ketika berasosiasi dengan akar tanaman akan membantu tanaman dalam menghasilkan N melalui tahap fiksasi N (Jeksen, 2014). PGPR tidak hanya mengandung mikroorganisme sebagai penambat N tetapi juga mengandung mikroorganisme sebagai agens hayati seperti *Bacillus subtilis*.

Bacillus subtilis tergolong ke dalam jenis mikroorganisme bersifat antagonis dengan cakupan yang luas terhadap beragam jenis patogen baik dari golongan cendawan ataupun bakteri. Mekanisme bakteri sebagai agens hayati dapat dilakukan dengan cara memproduksi antibiotik, siderofor, enzim, dan perangsang pertumbuhan tanaman. *B. subtilis* secara efektif mampu menghambat pertumbuhan cendawan *Phytophthora palmivora* sebagai penyebab penyakit busuk buah kakao secara *in vitro* dengan persentase penghambatan sebesar 72,8% (Umamah et. al., 2019). Selain itu, *Pseudomonas flourescens* juga tergolong ke dalam jenis bakteri antagonis dikarenakan mempunyai kemampuan dalam pertahanan sistemik. *P. flourescens* merupakan strain bakteri antagonis dengan kemampuan mengendalikan beberapa patogen tanaman terutama pada patogen tular tanah baik dilakukan secara *in vitro*, *in planta* atau *in vivo*. *P. flourescens* bersifat PGPR dengan menghasilkan antibiotik 2,4-Diasetilfloroglusinol dan siderofor sehingga dapat mengkolonisasi akar tanaman (Probowati dkk., 2020).

Hasil penelitian Bachtiar et. al. (2017) menunjukkan bahwa pupuk mikrobat pada tanaman jagung jika dibandingkan dengan kontrol dapat meningkatkan kadar N total sekitar 22,93%, serapan P sekitar 55,26%, tinggi tanaman sekitar 14,62%, berat kering tanaman sekitar 122,58%, dan berat kering tongkol sekitar 83,52%. Sedangkan hasil penelitian Syamsiah (2013) menunjukkan bahwa pengaplikasian pupuk mikrobat terhadap

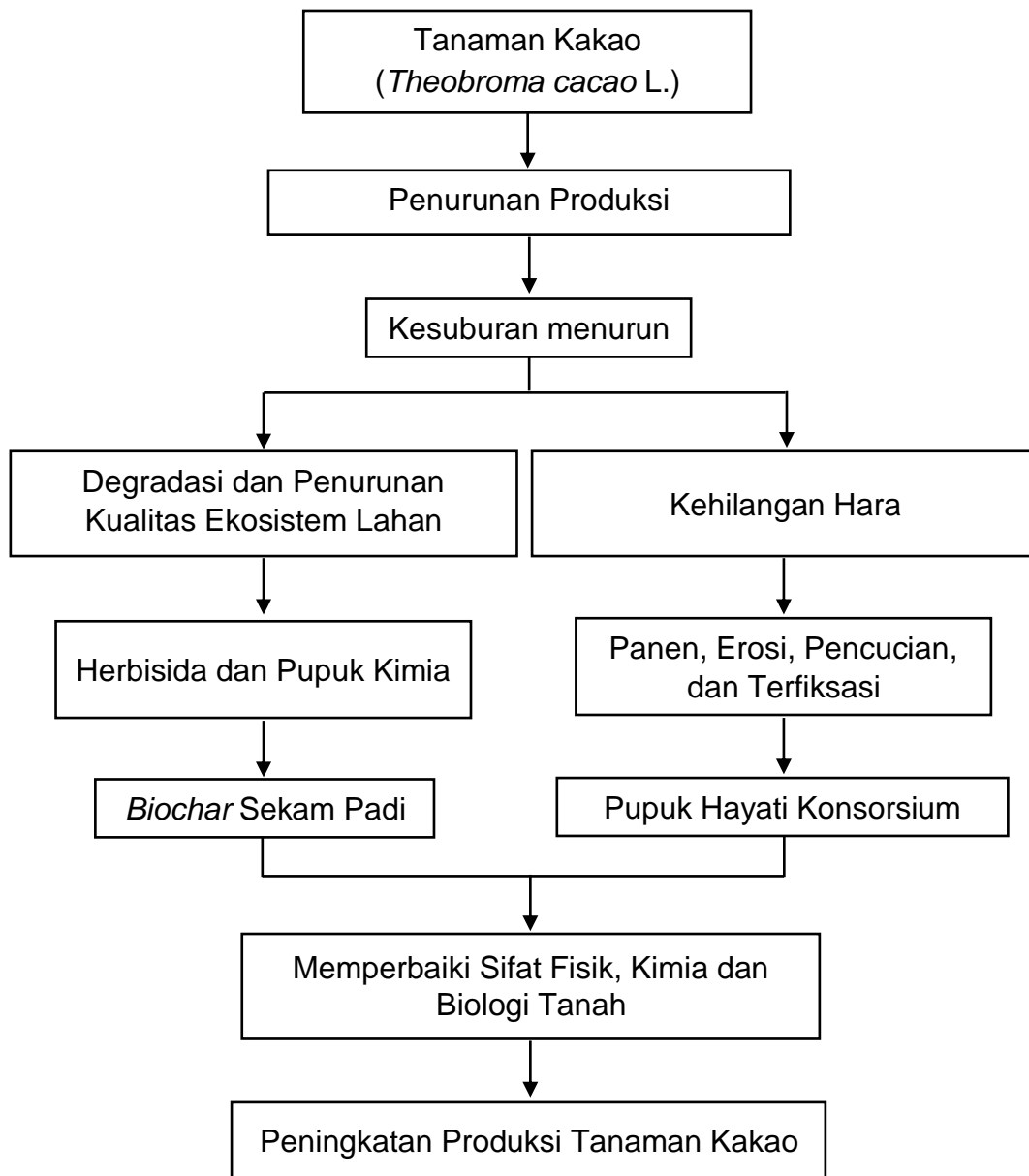
tanaman kedelai diperoleh hasil yaitu berpengaruh nyata terhadap seluruh parameter seperti panjang akar, jumlah bintil akar, dan berat bintil akar.

2.6 Hipotesis

Adapun hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. Terdapat interaksi antara *biochar* sekam padi dengan pupuk hayati konsorsium yang memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.
2. Terdapat satu dosis atau lebih *biochar* yang memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.
3. Terdapat satu dosis atau lebih pupuk hayati konsorsium yang memberikan pengaruh terbaik terhadap peningkatan produktivitas tanaman kakao.

2.7 Kerangka Konseptual



Gambar 3. Kerangka Konseptual