

SKRIPSI

**PENGAPLIKASIAN BIOCHAR DAN *Pseudomonas ssp.* DALAM
BIOREMEDIASI RESIDU KLORFENAPIR PADA PERTANAMAN
BAWANG MERAH**

ANDI HABIBAH NURANNISSYAH YUSRAN

G111 17 360



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

2022

SKRIPSI

**PENGAPLIKASIAN BIOCHAR DAN *Pseudomonas ssp.* DALAM
BIOREMEDIASI RESIDU KLORFENAPIR PADA PERTANAMAN
BAWANG MERAH**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI HABIBAH NURANNISSYAH YUSRAN

G111 17 360



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

2022

**PENGAPLIKASIAN BIOCHAR DAN *Pseudomonas ssp.* DALAM
BIOREMEDIASI RESIDU KLORFENAPIR PADA PERTANAMAN
BAWANG MERAH**

ANDI HABIBAH NURANNISSYAH YUSRAN

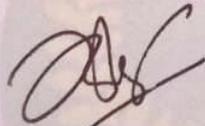
G011 171 360

**Skripsi Sarjana Lengkap
Disusun sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Sarjana**

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

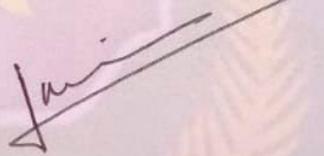
**Makassar, Februari 2022
Menyetujui :**

Pembimbing I



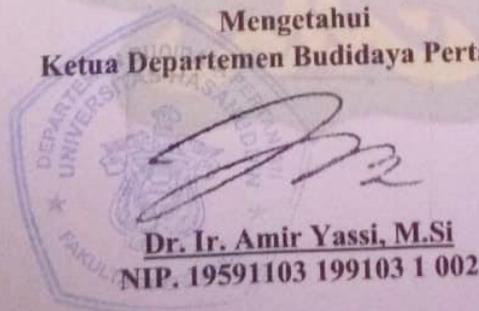
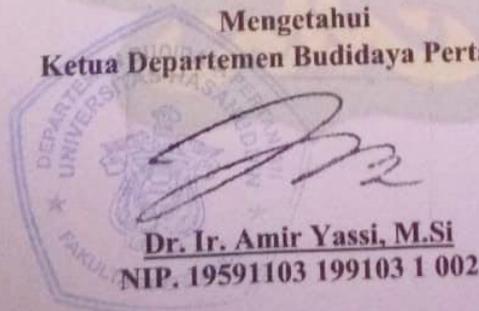
**Dr. Ifayanti Ridwan Saleh, SP.MP.
NIP. 19740907 201212 1 001**

Pembimbing II



**Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, MSi.
NIP. 1900512 198903 1 003**

**Mengetahui
Ketua Departemen Budidaya Pertanian**



**Dr. Ir. Amir Yassi, M.Si
NIP. 19591103 199103 1 002**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGAPLIKASIAN BIOCHAR DAN *Pseudomonas* ssp. DALAM
BIOREMEDIASI RESIDU KLORFENAPIR PADA PERTANAMAN
BAWANG MERAH**

Disusun dan Diajukan oleh

ANDI HABIBAH NURANNISSYAH YUSRAN

G011 171 360

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Masa Studi Program Sarjana, Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin pada bulan Februari 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

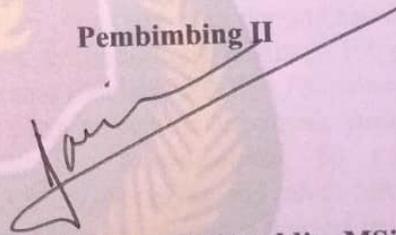
Menyetujui,

Pembimbing I



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

Pembimbing II



Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, MSi.
NIP. 1900512 198903 1 003

Ketua Program Studi



Dr. Ar. Abd Haris B., MSi.
NIP. 19670811 199403 1 003

ABSTRAK

**ANDI HABIBAH NURANNISSYAH YUSRAN (G011171360).
Pengaplikasian Biochar dan *Pseudomonas* ssp. Dalam Bioremediasi Residu
Klorfenapir pada Pertanaman Bawang Merah. Dibimbing oleh IFAYANTI
RIDWAN SALEH dan KAIMUDDIN.**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui interaksi terbaik antara biochar dan konsentrasi bakteri *Pseudomonas* ssp dalam mereduksi kadar residu pestisida klorfenapir pada lahan budidaya bawang merah dan pengaruhnya terhadap produksi bawang merah. Penelitian ini dilaksanakan di Green House Exfarm Universitas Hasanuddin, Makassar, Sulawesi Selatan, berlangsung mulai dari bulan Februari hingga Agustus 2021. Tanah yang digunakan pada penelitian ini diambil dari sentra pertanaman Bawang Merah di Kabupaten Enrekang, Provinsi Sulawesi Selatan, dengan tingkat pengaplikasian pestisida yang intensif. Percobaan disusun dengan menggunakan percobaan faktorial 2 faktor dalam rancangan acak kelompok (RAK). Faktor pertama adalah biochar tongkol jagung yang terdiri dari empat taraf yaitu 0% (Kontrol), 25%, 50%, dan 75%. Faktor kedua adalah konsentrasi *Pseudomonas* yang terdiri dari 4 taraf yaitu 0 mL.L⁻¹ (Kontrol), 20 mL.L⁻¹, 25 0 mL.L⁻¹, dan 30 mL.L⁻¹. Hasil percobaan menunjukkan bahwa interaksi biochar dan *Pseudomonas* mampu berperan optimal terhadap pertumbuhan populasi bakteri dan penurunan kadar klorfenapir pada tanah. Hal ini didukung juga dengan resistensi *Pseudomonas* ssp untuk tumbuh pada media NA terkontaminasi pestisida 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm pada hari ketiga. Interaksi biochar 25% dan *Pseudomonas* ssp 25 mL.L⁻¹ mempengaruhi jumlah umbi yang terbentuk terbanyak yaitu 5,5 umbi, sedangkan perlakuan biochar 75% dan *Pseudomonas* 30 mL.L⁻¹ menghasilkan diameter umbi terbesar yaitu 3,5 cm, kenaikan pH tanah tertinggi menjadi 7,4, kadar C-Organik tanah menjadi 3,14%, dan populasi bakteri menjadi $3,8 \times 10^5$ CFU/g.

Kata kunci : *Bawang Merah, Biochar, Pseudomonas*

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andi Habibah Nurannissyah Yusran

NIM : G011171360

Program Studi : Agroteknologi

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa tulisan saya berjudul:

“Pengaplikasian Biochar dan *Pseudomonas* ssp. Dalam Bioremediasi Residu Klorfenapir pada Pertanaman Bawang Merah”

Adalah karya tulisan saya sendiri dan benar bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, Februari 2022



Andi Habibah Nurannissyah

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Azza Wa Jalla karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul “Pengaplikasian Biochar dan *Pseudomonas* ssp. dalam Bioremediasi Residu Klorfenapir pada Pertanaman Bawang Merah” sebagai tahap awal untuk menyelesaikan studi di Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak jarang penulis menemukan kesulitan dan hambatan, namun berkat dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, walaupun masih terdapat banyak kekurangan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkannya.

Penulis pun menyadari bahwa tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penelitian hingga penyusunan skripsi ini tidak dapat terlaksana dengan baik. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua Ibu Rahmayani dan Bapak A.Muh Yusran atas segala kasih sayang, dukungan, bantuan dan doanya yang tulus diberikan kepada penulis.

Terima kasih pula kepada Ibu Dr. Ifayanti Ridwan Saleh, SP.MP selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ir. Kaimuddin, MSi selaku pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, banyak arahan, masukan, dukungan dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Elkawakib Syam'un, MP., Ibu Dr. Ir. Feranita Haring, MP., dan Ibu Dr. Ir. Fachirah Ulfa, MP., selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Amir Yassi, M.Si selaku ketua Departemen Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin, beserta seluruh dosen dan staf pegawai atas segala bantuan dan perhatian yang telah diberikan.
3. Terkhususnya kepada Ibu Astina Tambung, S.Si. yang mendampingi, memberikan dukungan, bantuan dan motivasi tanpa henti selama keberlangsungan penelitian.
4. Teman-teman yang saya sayangi yang senantiasa memberikan semangat, motivasi, dukungan, bantuan serta telah menghibur hari-hari saya selama masa kuliah terkhususnya Khumairah Alya Aqilah, Siti Ainun Rahmawati, Kakak Nadhila Aulia Nur Rahmat, Wafanni Firza Zanora, Rufaidah, Nur Hikmah Ilham, Nursafitrah dan yang tak kalah pentingnya sensei-sensei saya yang selalu ada selama pengerjaan skripsi yaitu Reynaldi Laurenze, Hasriani Nurainun, Reski Anugaeni, dan Jordan dll.
5. Saudara-saudara saya Fadyllah, Nurzamraini, Syafiah, Fatimah, Winda Putri Pradini, Isratilla Natasya, Ainun Rezky Aussyanna, Pawelli Taufan, Yustika DJ, Alivio Maulidya Romifa, Farah Yodhia, dan Muslimat 3 atas dukungan secara fisik, mental dan doa yang diberikan.

6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih atas segala partisipasi dan bantuan yang diberikan, semoga Allah SWT dapat membalas kebaikannya. Aamiin.

Makassar, Februari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan	4
1.3 Hipotesis.....	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Tanaman Bawang Merah	5
2.2 Dampak Residu Pestisida Klorfenapir	6
2.3 Biodegradasi Petisida	8
2.4 Biochar	9
2.5 <i>Pseudomonas</i> ssp.	14
2.6 Faktor yang Mempengaruhi Degradasi Pestisida.....	15
2.7 Pengaruh Kombinasi Biochar dan <i>Pseudomonas</i> ssp sebagai agen bioremediasi	16
BAB III. METODOLOGI	17
3.1 Tempat dan Waktu	18
3.2 Alat dan Bahan.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.4 Pelaksanaan Penelitian	19
3.6 Parameter Pengamatan	26

3.7 Analisis Data	28
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengamatan Laboratorium	29
4.1 Uji Analisis Tanah.....	29
4.1 Pertumbuhan dan Produksi Tanaman.....	36
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran.....	54
LAMPIRAN.....	62

DAFTAR TABEL

No	Teks	Hal
Tabel 1.	Hasil Uji Identifikasi secara Makroskopik	29
Tabel 2.	Hasil Uji Identifikasi Secara Mikroskopik.	29
Tabel 3.	pH Tanah Pertanaman Bawang Merah Pada Berbagai Dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> ssp.....	32
Tabel 4	Kadar C-Organik tanah bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> ssp.....	35
Tabel 5	Populasi Bakteri Tanah (CFU gr ⁻¹) Pertanaman tanah bawang merah pada perlakuan Biochar 75% + <i>Pseudomonas</i> ssp 30 mL.L ⁻¹	38
Tabel 6.	Rata-rata tinggi tanaman (cm) bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> ssp.....	39
Tabel 7	Rata-rata jumlah daun (helai) bawang merah bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp.	41
Tabel 8	Rata-rata jumlah umbi (buah) bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp.	43
Tabel 9	Rata-rata diameter umbi (cm) bawang merah bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp.	44
Tabel 10	Rata-Rata Berat Segar Brangkasan Bawang Merah Per Polybag (gr) bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp.	46
Tabel 11	Rata-rata berat kering brangkas bawang merah per polybag (gr) bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp.	48
Tabel 12	Hasil Chromatogram Tanah tanah bawang merah pada berbagai dosis Biochar dan Konsentrasi <i>Pseudomonas</i> sp sebelum perlakuan	48

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Hal
Gambar 1	Isolasi bakteri pada pengenceran 10^{-3}	29
Gambar 2.	Hasil pengamatan bentuk sel isolat hasil pengenceran 10^{-3}	30
Gambar 3	Grafik hasil regresi perlakuan konsentrasi <i>Pseudomonas</i> dan biochar perhadap pH tanah	34
Gambar 4	Grafik hasil regresi perlakuan konsentrasi <i>Pseudomonas</i> dan biochar perhadap kadar C-Organik tanah.	37

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Hal
Lampiran 1a	Data Tinggi Tanaman (cm) tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 1b	Sidik ragam Tinggi Tanaman Bawang Merah 90 HST	30
Lampiran 2a	Rata-Rata Pertambahan Jumlah Daun (helai) Hasil Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 2b	Sidik ragam Jumlah Daun Bawang Merah 90 HST	30
Lampiran 2c	Rata-Rata Pertambahan Jumlah Daun (helai) Sebelum Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 2d	Sidik ragam Tinggi Tanaman Bawang Merah 90 HST Sebelum Transformasi	30
Lampiran 3a	Rata-Rata Pertambahan Jumlah Umbi (Buah) Hasil Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 3b	Sidik ragam Jumlah Umbi (Buah) Bawang Merah 90 HST	30
Lampiran 3c	Rata-Rata Pertambahan Jumlah Umbi (Buah) Sebelum Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 3d	Sidik ragam Jumlah Umbi (Buah) Bawang Merah 90 HST Sebelum Transformasi	30
Lampiran 4a	Rata-Rata Pertambahan Diameter Umbi (cm) Hasil Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 4b	Sidik ragam Diameter Umbi (cm) Bawang Merah 90 HST	30
Lampiran 4c	Rata-Rata Pertambahan Diameter Umbi (cm) Sebelum Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29

Lampiran 4d Sidik ragam Diameter Umbi (cm) Bawang Merah 90 HST Sebelum Transformasi	30
Lampiran 5a Rata-Rata Pertambahan Berat Segar Brangkasan (g) per Polybag Hasil Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	29
Lampiran 5b Sidik ragam Berat Segar Brangkasan (g) per Polybag Bawang Merah 90 HST	30
Lampiran 5c Rata-Rata Pertambahan Berat Segar Brangkasan (g) per Polybag Sebelum Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	70
Lampiran 5d Sidik ragam Berat Segar Brangkasan (g) per Polybag Bawang Merah 90 HST Sebelum Transformasi.....	70
Lampiran 6a Rata-Rata Pertambahan Berat Kering Brangkasan (g) per Polybag Hasil Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	71
Lampiran 6b Sidik ragam Berat Kering Brangkasan (g) per Polybag Bawang Merah 90 HST	71
Lampiran 6c Rata-Rata Pertambahan Berat Kering Brangkasan (g) per Polybag Sebelum Transformasi Tanaman Bawang Merah 90 HST	72
Lampiran 6d Sidik ragam Berat Kering Brangkasan (g) per Polybag Bawang Merah 90 HST Sebelum Transformasi.....	72
Lampiran 7a Data Uji Analisis pH dan C-Organik Tanah Sebelum Pengaplikasian Perlakuan	73
Lampiran 7b Data Uji Analisis pH Tanah Setelah Pengaplikasian.....	74
Lampiran 8a Data Uji Analisis C-Organik Tanah Setelah Pengaplikasian	75
Lampiran 8b Data Uji Analisis C-Organik (%) Tanah Setelah Pengaplikasian ...	76

Lampiran 8c Sidik ragam C-Organik Tanah Setelah Pengaplikasian	76
Lampiran 9a Data Uji Analisis Populasi Bakteri Setelah Pengaplikasian	77
Lampiran 10a Data Uji Analisis Kadar Residu Pestisida di Tanah Sebelum Pengaplikasian	78
Lampiran 10b Data Uji Analisis Kadar Residu Pestisida di Tanah Setelah Pengaplikasian	79
Lampiran 11a Denah Penelitian Di Lapangan	82
Gambar Lampiran 1 Proses pembuatan Biochar (kiri) dan Biochar tongkol jagung (Kanan)	83
Gambar Lampiran 2 Bahan umbi tanaman bawang merah yang akan ditanam (kiri). Tanaman bawang merah umur 14 HST (Kanan)	83
Gambar Lampiran 3 Green House CoE Teaching Farm Fakultas Pertanian Unhas (kiri). Tanaman bawang merah yang telah dipanen (kanan)	83
Gambar Lampiran 4 Pembuatan Media <i>Pseudomonas</i> Cetrimide Agar (kiri). Isolasi Bakteri <i>Pseudomonas</i> di Laminar Air Flow (kanan).....	84
Gambar Lampiran 5 Hasil Isolasi Bakteri <i>Pseudomonas</i> ssp (kiri). Pengamatan Bentuk Sel Bakteri <i>Pseudomonas</i> ssp (kanan).....	84
Gambar Lampiran 6 Hasil Perbanyakan bakteri <i>Pseudomonas</i> ssp pada Media NB (kiri). Proses pengamatan pH Tanah (kanan)	84

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berbagai upaya dilakukan demi mendorong produktivitas pertanian, beberapa diantaranya yaitu penggunaan pestisida untuk menekan populasi organisme pengganggu tanaman (OPT). Salah satu penyebab penolakan produk hortikultura Indonesia oleh pihak internasional adalah karena tingginya residu pestisida pada produknya. Hal ini dapat terjadi karena penggunaan pestisida secara terus menerus tanpa memperhatikan dosis dan anjuran pemakaian resmi. Penggunaan pestisida yang tidak sesuai dengan anjuran pemakaian dalam jangka panjang juga dapat meninggalkan residu yang dapat merusak keragaman mikroorganisme tanah sehingga dapat mengganggu kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan karena populasi mikroorganisme juga dipengaruhi oleh komposisi bahan kimia ditanah. Terganggunya kesuburan tanah dapat menyebabkan kondisi pH tanah yang tidak stabil. pH tanah berperan dalam proses mobilitas ketersediaan unsur hara ditanah bagi tanaman. Sehingga pH dapat dijadikan sebagai parameter dalam mengukur kondisi toksitas dan kesuburan tanah.

Penggunaan insektisida pada lahan produksi sayuran, khususnya di daerah Sulawesi Selatan cukup tinggi. Menurut Dewi (2017), budidaya komoditi bawang merah, yang merupakan produk unggulan di daerah kabupaten Enrekang, juga disertai dengan penggunaan pestisida yang tinggi di kawasan tersebut. Penggunaan pestisida sebagian besar petani yaitu 82,85% di Desa Saruran dan 66,67% di Kelurahan Mataran, Kabupaten Enrekang menggunakan pestisida berbahan aktif klorfenapir yang merupakan pestisida yang cukup berbahaya menurut klasifikasi toksisitas WHO (Zulkifli, 2019). Konsekuensinya, kandungan senyawa kimia pestisida berpotensi menjadi residu di tanah dan dapat diserap oleh tanaman. Tingkat penyerapan klorfenapir oleh kubis adalah 1,3% sampai 1,5% dari konsentrasi klorfenapir di tanah. Pada tanaman selada, klorfenapir diserap sebanyak 0,6-3,4% dari konsentrasi awal di tanah. Klorfenapir tergolong senyawa kimia yang bersifat *immobile* dan memiliki keterikatan yang kuat dengan tanah. Namun, disamping persistensinya di tanah, klorfenapir tidak menjadi residu yang berpotensi didalam *ground water* karena sifat *immobile* dari senyawa tersebut didalam tanah

(Al- Oran, 2018). Paruh waktu klorfenapir didalam tanah adalah 1,4 tahun, hal memungkinkan akumulasi residu di dalam tanah budidaya dan penggunaannya yang berulang dalam aktifitas budidaya (Romeh, 2020).

Persistensi klorfenapir yang lebih lama dibandingkan dengan waktu budidaya tanaman bawang merah yang dipanen pada 57-65 hari setelah tanam (Susilo, 2016; Fatmawaty, 2015), dapat berpotensi merusak kesuburan tanah, menjadi senyawa kimia berbahaya yang terserap oleh jaringan tanaman bawang selama waktu budidaya sedang berlangsung. Apabila penggunaan berkepanjangan dapat menjadi residu yang bersifat *Persistent Organic Pollutants* yang dapat mengalami bioakumulasi di rantai makanan, dan memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan pertanian (Indratin, 2016). Klorfenapir diketahui memiliki sifat neurotoksik dan imunotoksik, dan telah terbukti dapat menjadi berbahaya bagi hewan dan manusia. Klorfenapir juga telah dilaporkan menyebabkan berkurangnya populasi bakteri, jamur, dan diketahui menghambat mineralisasi nitrogen dalam tanah (Akbar, 2016).

Berbagai upaya dapat dilakukan untuk mereduksi dampak dari residu pestisida, salah satunya adalah bioremediasi pada lahan tercemar. Mikroba dapat mendegradasi, mentransformasi dan menyerap senyawa pencemar untuk dijadikan bahan metabolisme selnya, sehingga kadar residu bahan agrokimia ditanah dapat berkurang seiring berjalannya waktu. Mikroba yang dapat digunakan dapat berasal dari golongan fungi, bakteri, dan mikroalga.

Biochar merupakan biomassa organik yang mengalami proses termolisis dan dapat digunakan untuk perbaikan kesuburan tanah serta peningkatan populasi mikroba yang berhubungan erat dengan penurunan residu pestisida dalam tanaman. Biochar tongkol jagung memiliki bahan yang lebih muda terurai oleh suhu pirolisis 300-400°C. Hal ini terlihat dari kandungan karbon yang lebih tinggi yakni 71,62%, dengan zat volatil terendah yakni 19,22%. Biochar tongkol jagung juga menghasilkan luas permukaan yang lebih luas (167 cm²/g) dan pori-pori yang melimpah, sehingga selain dapat digunakan sebagai sumber nutrisi untuk mikroba tanah juga dapat dijadikan sebagai tempat menempel bagi mikroba (Tu, 2020). Semakin tinggi mikroba yang ada didalam tanah, semakin rendah kadar pestisida pada tanaman (Setyanto, 2016).

Demikian pula, mikroorganisme dapat mengubah polutan anorganik, tidak harus seluruhnya, tetapi menjadi senyawa dengan penurunan kelarutan, mobilitas, dan toksisitas. Pengaplikasian *Pseudomonas* ssp sebagai pendegradasi pestisida juga dapat dimanfaatkan. Matsumura (1976) pertama kali melaporkan degradasi aerobik HCH, pestisida persisten, oleh strain *Pseudomonas* ssp. Bakteri dari genus *Pseudomonas* ssp tergolong sangat aktif dalam melakukan metabolisme pestisida. Seperti *Pseudomonas aeruginosa* mampu menggunakan lebih dari 75 macam organik sebagai sumber karbon dan sumber energi, mampu menggunakan respirasi aerobik (dengan oksigen) dan anaerob pada nitrat atau akseptor elektron alternatif lainnya juga mampu tumbuh pada nutrisi dalam jumlah sedikit. Dalam Sariwati (2018), penambahan 10 mL *Pseudomonas aeruginosa* mampu mendegradasi residu DDT sebanyak 67%.

Pseudomonas ssp dapat menggunakan golongan organofosfat seperti klorpirifos sebagai sumber karbon sehingga dapat terdegradasi. Dilaporkan oleh Farhan (2012), pH tinggi (8) dan kepadatan inokulum tinggi (10^8 CFU.mL⁻¹) menunjukkan hasil paling efisien dalam biodegradasi. Degradasi maksimum klorpirifos adalah 78% dan dicapai dalam 18 hari inkubasi. *Pseudomonas* ssp adaptif terbaik pada konsentrasi rendah, degradasi klorpirifos menurun dengan peningkatan konsentrasi. Konsentrasi insektisida klorpirifos sebesar 100-200 mg.L⁻¹ merupakan konsentrasi optimum, akan tetapi pada konsentrasi lebih dari 200 mg.L⁻¹, pertumbuhan menurun drastis (Bhagobaty dan Malik, 2008). Oleh karena itu diharapkan dengan kombinasi perlakuan biochar sebagai sumber karbon dan tempat melekat bagi *Pseudomonas* ssp dapat mendorong pertumbuhan *Pseudomonas* ssp dan biodegradasi residu pestisida.

Bioremediasi dilahan tercemar pestisida sebenarnya dapat terjadi secara alami, namun cenderung membutuhkan waktu yang sangat lama. Sedangkan kebutuhan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian semakin bertambah. Oleh karena itu, melalui penelitian ini kombinasi biochar dan bakteri *Pseudomonas* ssp diharapkan dapat menjadi upaya terbaik dalam mereduksi kadar residu pestisida pada lahan tercemar dalam jangka waktu yang lebih singkat.

1.2 Hipotesis

Berdasarkan uraian pada latar belakang penelitian, maka hipotesis penelitian ini yaitu:

1. Terdapat satu interaksi terbaik antara kombinasi pemberian biochar dengan konsentrasi *Pseudomonas ssp* dalam mereduksi kadar residu pestisida pada tanah tercemar dan dapat menghasilkan produksi tanaman bawang merah yang lebih baik.
2. Terdapat satu dosis terbaik perlakuan biochar yang menghasilkan pertumbuhan dan produksi tanaman bawang merah yang lebih baik.
3. Terdapat satu konsentrasi terbaik pemberian *Pseudomonas ssp* yang memberikan pertumbuhan dan produksi tanaman bawang merah lebih baik.

1.3 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mempelajari interaksi terbaik antara biochar dan konsentrasi bakteri *Pseudomonas ssp* dalam mereduksi kadar residu pestisida pada tanah budidaya bawang merah dan pengaruhnya terhadap produksi bawang merah.

Kegunaan dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi terhadap ilmu pengetahuan khususnya pada bidang ilmu pertanian dalam memanfaatkan bahan organik seperti biochar dan mikroorganisme *Pseudomonas ssp* dalam mereduksi kadar pestisida pada lahan budidaya, sehingga diharapkan dapat menghasilkan produk pertanian dengan kadar residu pestisida yang serendah-rendahnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Bawang Merah

Tanaman bawang merah tergolong tanaman yang peka terhadap curah hujan dan intensitas hujan yang tinggi. Oleh karena itu tanaman bawang merah cenderung tumbuh lebih baik didataran rendah yang beriklim kering. Tanaman ini membutuhkan intensitas sinar matahari yang maksimal (minimal 70%), suhu udara 25-32°C, dan kelembaban nisbi 50-70% (Sumarni, 2005). Bawang merah membentuk umbi pada suhu minimal 22°C, dan akan menghasilkan umbi lebih besar apabila ditanam pada daerah dengan lama penyinaran lebih dari 12 jam. Ketinggian tempat yang optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan bawang merah adalah 0-450 m di atas permukaan laut (Sutarya dan Grubben 1995). Oleh karena itu tanaman bawang merah cenderung lebih cocok ditanam di dataran rendah.

Tanaman bawang memerlukan tanah dengan tekstur remah, tekstur sedang sampai liat, memiliki bahan organik yang cukup, dan reaksi tanah tidak masam (pH tanah: 5,6 – 6,5). Tanah yang cocok untuk ditanami oleh bawang merah adalah tanah Aluvial atau kombinasinya dengan tanah Glei-Humus atau Latosol (Sutarya dan Grubben 1995). Tanah yang cukup lembab dan air tidak menggenang disukai oleh tanaman bawang merah (Rismunandar 1986).

Tanaman bawang merah seringkali dibudidayakan menggunakan umbi. Namun, penggunaan umbi secara terus menerus tanpa melalui proses seleksi dapat menyebabkan penyakit degeneratif, yaitu penyakit yang muncul dari pertanaman sebelumnya seperti penyakit layu (*Fusarium sp.*), antraknosa (*Colletotrichum sp.*), bakteri, dan virus (Sumarni, Soopha & Gaswanto 2012). Hal ini dapat mendorong penggunaan pestisida yang lebih tinggi. Berdasarkan Puspitasari (2017) hasil penelitian KLH Brebes terhadap 7 kecamatan sentra bawang merah dalam dua tahun terakhir, yakni Kecamatan Wanasari, Jatibarang, Tanjung, Larangan, Brebes, Bulakamba, dan Songgom, menunjukkan bahwa lahan pertanian di sebagian besar sentra produksi bawang merah sudah rusak akibat terpengaruh pestisida, pada akhirnya hal ini bisa mempengaruhi kualitas bawang merah.

Penggunaan pestisida tertinggi terjadi pada tanaman hortikultura. Frekuensi penggunaan pestisida pada budidaya tanaman bawang bisa mencapai 3-5 kali dalam seminggu dengan menggunakan dua jenis pestisida (Andrawinata, 2008). Hal ini dapat menyebabkan residu pestisida yang tinggi pada tanah dan bawang merah. Kadar residu klorpirifos pada produk bawang merah dari lahan intensif produksi bawang merah di Srabahan berkisar 0,0153-0,0900573 ppm dimana kadar ini telah melawati BMR (0,05 ppm) yang ditetapkan SKB Menkes dan Mentan tahun 1997 (Harsanti, 2015). Hasil penelitian Nining (2019), menyatakan bahwa residu klorpirifos pada kecamatan Kersana, Yogyakarta mencapai 0,555 mg.kg⁻¹. Tingginya residu pestisida juga ditemukan pada contoh bawang merah dari Kecamatan Kersana, yaitu mencapai 0.392 mg/kg. Sedangkan, BMR klorpirifos (0.2 mg.kg⁻¹) menurut SNI 7313 (BSN 2008) dan Codex (FAO-WHO 2016).

2.2 Dampak Residu Pestisida Klorfenapir

Penggunaan pestisida sebagai bahan pengendali OPT menjadi alternatif yang senang digunakan oleh petani. Namun, penggunaan pestisida secara berlebihan dapat berdampak negatif bagi ekosistem. Sebagian besar pestisida yang digunakan secara umum dilapangan dapat merusak keragaman fungsional mikroba tanah sehingga dapat menurunkan kesuburan tanah dan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Dalam situasi yang lebih kompleks, residu pestisida dan metabolitnya dapat meresap kedalam permukaan tanah ke air tanah dan dapat menyebabkan kontaminasi secara meluas pada sistem ekosistem air (Lu, 2013). Hilangnya kesuburan tanah dapat menyebabkan pH tanah tidak stabil, sedangkan nilai pH tanah sangat menentukan mobilitas dan ketersediaan hara bagi tanaman serta merupakan indikator tingkat toksisitas tanah. Rendahnya nilai kesuburan tanah dapat disebabkan karena rendahnya unsur hara, akumulasi unsur yang bersifat racun, dan rendahnya aktifitas organisme yang rendah (Chalim, 2010; Widyatmoko 2011).

Penerapan pestisida dapat berefek lebih awal dari perkecambahan hingga pertumbuhan tanaman, menyebabkan perubahan biokimia, fisiologis, dan perbedaan antioksidan enzimatik dan non-enzimatik yang pada akhirnya mempengaruhi hasil dan menghasilkan residu pada tanaman, sayuran, buah-buahan,

dan organisme non-target yang berbeda. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa akumulasi pestisida oleh tanaman mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan menyebabkan gangguan metabolisme. Sebagai contoh, *chlorotoluron* memblokir transportasi elektron fotosintetik tumbuhan (Parween, 2016). Tingkat dan kecepatan perkecambahan biji gandum berkurang sebagai akibat dari perlakuan benih dengan insektisida organofosfat (Ahmad, 2014 dalam Dhungana, 2020).

Klorfenapir adalah insektisida dengan spektrum luas (*4-bromo-2-(4-chlorophenyl)-1-ethoxymethyl-5-(trifluoromethyl) pyrrole-3-carbonitrile*), yang digunakan untuk mengendalikan berbagai hama serangga dan tungau yang mempengaruhi kapas, tanaman hias, dan sejumlah tanaman sayuran dan buah. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) telah mengklasifikasikan klorfenapir sebagai insektisida yang relatif berbahaya yang menyebabkan risiko besar terhadap kemampuan reproduksi burung serta stabilitas lingkungan. Klorfenapir adalah pestisida non-polar dengan koefisien partisi karbon organik (*K_{oc}*) sekitar 12.000 dan koefisien partisi oktanol/air (*Log K_{ow}*) sebesar 4.83. Sifat-sifat ini menunjukkan bahwa insektisida tidak dapat bergerak dalam tanah. Klorfenapir memiliki waktu paruh yang agak lama 1,4 tahun di tanah aerobik yang menunjukkan kapasitas untuk beberapa akumulasi lingkungan dengan penggunaan berulang, berpotensi menjadi racun tingkat tinggi (Ou, 2006).

Waktu paruh biodegradasi klorfenapir adalah 230-250 hari di tanah (Ou, 2006). Kelarutan airnya yang rendah (0,13 mg.L⁻¹) menunjukkan potensi pencucian yang rendah tetapi juga menyiratkan berpotesinya senyawa ini menempel pada koloid tanah. Klorfenapir tidak dapat menguap dari permukaan tanah kering, karena perkiraan tekanan uapnya 7.4×10^{-8} mm Hg (Romeh, 2020). Hal dibuktikan pada penelitian Widowati (2019), yang mendapatkan senyawa klorfenapir pada tanah pertanaman *caisim* sebanyak 76,723335 (ng.g⁻¹), atau 142,09 kali lebih banyak dibandingkan senyawa klorfenapir yang ditemukan di jaringan tanaman *caisim* yaitu 0,54079 (ng.g⁻¹). Dilanjutkan dalam penelitian tersebut juga ditemukan residu senyawa klorfenapir pada air pertanaman *caisim* hanya sebanyak 10,35838 (ng/g) atau 19,17 kali lebih banyak dibandingkan yang ditemukan di jaringan tanaman *caisim*.

2.3 Biodegradasi Pesticida

Peruraian pestisida dalam tanah berlangsung secara abiotik dan biotik atau secara reaksi kimia dan biokimia (Rahayuningsih, 2009). Transformasi secara abiotik terdiri atas reaksi hidrolisis dan fotolisis. Reaksi fotolisis hanya terjadi pada permukaan tanah sedangkan reaksi hidrolisis dapat berlangsung pada seluruh fase dan pada berbagai posisi. Pada reaksi hidrolisis pada media asam, proton H^+ bersifat sebagai katalis proses pemutusan dan penggantian ikatan. Oleh karena proton tidak dikonsumsi dalam reaksi atau bukan merupakan reaktan. (Rahayuningsih, 2009). Untuk reaksi hidrolisis pada media basa, gugus hidroksil OH^- bersifat sebagai reaktan atau ikut bereaksi. Reaksi yang ketiga adalah hidrolisis netral, yang mana reaksi ini tidak bergantung pada pH. Hidrolisis pada suasana basa menyebabkan putusnya ikatan P-O, sedangkan pada kondisi netral reaksi hidrolisis menyebabkan pemutusan ikatan C-O. Reaksi-reaksi tersebut menghasilkan asam fosfat atau asam tiosulfat dan senyawa alkohol. Sedangkan secara fotolisis sinar ultraviolet sinar matahari akan menyebabkan peruraian pestisida selama berada di lingkungan (Rahayuningsih, 2009).

Laju transformasi secara biotik dalam tanah dipengaruhi oleh kelembaban tanah, kandungan bahan organik dalam tanah, pH, suhu, dan posisi lapisan tanah (Chen, 1990). Proses yang menyangkut degradasi pestisida oleh mikroba yaitu pestisida merupakan substrat untuk pertumbuhan mikroba (bioremediasi), pestisida diubah dengan reaksi metabolik tetapi bukan sebagai sumber energi untuk mikroba (kometabolisme), molekul pestisida berikatan dengan molekul pestisida yang lain atau dengan senyawa yang lain (polimerasi dan konjugasi), pestisida terakumulasi dalam mikroba (akumulasi), dan pestisida berubah karena perubahan pH, kondisi redoks, dan karena terbentuknya hasil yang reaktif (efek sekunder dari aktifitas mikroba) (Rahayuningsih, 2009).

Diversitas alur metabolisme dalam lingkungan konsorsia mikroba di tanah menjadi proses kunci degradasi (Rahmansyah, 2009). Berbagai mikroorganisme seperti *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Rhodococcus*, *Gliocladium*, *Trichoderma* dan *Penicillium* dilaporkan menggunakan pestisida sebagai sumber karbon (Aislabie dan Lloyd-jones, 1995).

Beberapa faktor kondisi tanah seperti kadar air, suhu, aerasi, tingkat keasaman (pH), dan kandungan organik tanah secara keseluruhan mempengaruhi pertumbuhan dan aktivitas mikroba tanah, yang pada akhirnya berefek terhadap kemampuan dan kecepatan proses degradasi pestisida (Rahmansyah, 2009). Konsentrasi pestisida dan karakter bahan aktif pestisida merupakan salah dua faktor utama yang menentukan biodegradasi. Konsentrasi yang sangat tinggi biasanya menyebabkan kegagalan biodegradasi sebagai mikroba tidak tahan terhadap itu. Di sisi lain konsentrasi pestisida yang sangat rendah menunjukkan kuat afinitas dengan partikel tanah dengan demikian menjadi tidak tersedia untuk mikroba. Sedangkan karakter bahan aktif pestisida menentukan probabilitasnya untuk tereduksi. Seperti senyawa klorfenapir yang bersifat non-polar, sifat ini menunjukkan bahwa insektisida tidak dapat bergerak dalam tanah (*Immobile*) sehingga senyawa ini tidak mudah tercuci oleh aliran air dan berpotensi terikat oleh partikel tanah dan menjadi residu (Romeh, 2020).

Menurut Widowati (2019), meskipun residu bahan pestisida yang ditemukan masih dibawah ambang batas yang diizinkan yaitu 0,1 ppm atau 0,1 mg.kg⁻¹, namun sekecil atau serendah apapun kadar residu aktif yang sulit terdegradasi dan bersifat akumulatif, maka menjadi penting dan mutlak untuk di waspadai. Oleh karena itu dibutuhkan bioremediator yang dapat mereduksi jumlah residu ditanah agar tidak menjadi senyawa berbahaya yang diserap oleh tanaman budidaya.

2.4 Biochar

Biochar merupakan substansi arang organik berpori (*porous*) yang merupakan hasil pembakaran tanpa oksigen limbah pertanian dan kehutanan seperti potongan kayu, tempurung kelapa, tandan kosong kelapa sawit, tongkol jagung sekam padi, kulit biji kacang-kacangan, kulit kayu, sisa usaha perkayuan, dan bahan organik lainnya (Saputra, 2012). Setiap bahan dasar pembuatan biochar mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman. Berdasarkan penelitian Shareef (2018), perkakuan pengaplikasian biochar berbahan dasar tongkol jagung dan jerami jagung dapat meningkatkan jumlah daun, biomassa tanaman, kandungan klorofil dan meningkatkan laju fotosintesis dibandingkan

dengan perlakuan kontrol. Sedangkan, pengaruh biochar pada tanah selain dapat menaikkan pH tanah dan memperbaiki mobilisasi kation atau anion tanah, pengaplikasian biochar dapat meningkatkan aktivitas katalase dan urease sesuai dengan tarif aplikasi biochar dan suhu pirolisis (Shareef, 2018).

2.4.1 Manfaat Biochar

Biochar sebagai bahan ramah lingkungan dan berbiaya rendah dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan meningkatkan ketersediaan air di dalam tanah, juga dilaporkan sebagai bahan yang sangat efisien untuk menghilangkan berbagai kontaminan, termasuk organisme patogen, dan bahan anorganik seperti logam berat. Kemampuan biochar untuk menghilangkan polutan organik dan anorganik dari air limbah secara langsung terkait dengan kapasitas adsorpsi, yang bergantung pada karakteristik fisika-kimiawinya seperti komposisi unsur, luas permukaan, distribusi ukuran pori, gugus fungsi permukaan, dan kapasitas pertukaran kation atau anion. Sifat fisika-kimiawi ini bervariasi dengan sifat bahan baku dan metode pembuatannya (Nurida, 2015). Sehingga metode ini dapat digunakan di tanah yang terkontaminasi pestisida dengan cara: (1) mengikat pestisida untuk mengurangi potensi motilitasnya ke dalam air sumber daya dan organisme hidup, dan (2) menyediakan nutrisi untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman dan merangsang pemulihan ekologi (Enaime, 2020).

Kualitas dan manfaat dari biochar sendiri tergantung oleh bahan baku biochar tersebut, karena karena sifat-sifatnya dipengaruhi oleh biomasnya. Pemanfaatan tongkol jagung sebagai biochar merupakan bentuk pemanfaatan limbah tongkol jagung yang melimpah. Biochar tongkol jagung juga memiliki permukaan yang luas an jumlah pori yang melimpah (Naeem, 2017). Biochar dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung memiliki pH tergolong alkali, masing-masing 7,3, 7,2, dan 7,3 dengan kapasitas tukar kation (KTK) tergolong sangat tinggi (>40 me/100 g). Kandungan C-organik semua biochar, tergolong sangat tinggi, karena melebihi dari 5%, dan rasio C/N yang sangat tinggi (>20). Akan tetapi, biochar tongkol jagung memiliki kandungan C-organik tertinggi dibandingkan biochar cangkang kelapa sawit dan tandankosong kelapa sawit (Sukmawati, 2020).

2.4.2 Metode Pembuatan Biochar

Proses pembuatan biochar dapat dilakukan dengan metode Karbonisasi Pirolisis (KP). Pada sistem pirolisis, biochar diproses tanpa oksigen dan menggunakan sumber panas dari luar. Secara umum, pirolisis melibatkan pemanasan bahan organik hingga suhu lebih dari 400 °C di bawah atmosfer inert oleh pemanas listrik atau suhu tinggi medium. Ada banyak parameter yang mempengaruhi sifat fisikokimia biochar, seperti bahan baku, suhu reaksi, laju pemanasan, waktu tinggal, dan atmosfer reaksi. Peningkatan suhu pirolisis (> 500°C) juga menghasilkan hasil hidrofobisitas yang lebih besar dan luas permukaan yang lebih tinggi serta volume mikropori, hal tersebut menghasilkan produk biochar yang cocok untuk menghilangkan polutan organik. Sedangkan, suhu pirolisis lebih rendah (<500°C), memungkinkan untuk biochar dengan ukuran pori yang lebih kecil, luas permukaan yang lebih rendah, dan kandungan oksigen yang lebih tinggi maka lebih cocok untuk menghilangkan polutan anorganik (Enaime, 2020). Peningkatan suhu pirolisis juga meningkatkan pH biochar karena pengayaan kadar abu. Secara umum, dengan meningkatnya suhu pirolisis, hasil biochar dan jumlah gugus fungsi asam (-COOH, -OH) menurun, sedangkan gugus fungsi basa, kadar abu, dan pH meningkat. Selain itu, pengaruh suhu pirolisis terhadap luas permukaan dan volume pori sangat signifikan. Enaime (2020) menunjukkan bahwa luas permukaan spesifik dan total volume pori biochar jerami wijen meningkat dari 46,9 menjadi 289,2 m²g⁻¹.

Enaime (2020) membandingkan sifat fisikokimia biochar diolah dari berbagai bahan baku (jerami kanola, jagung, kedelai, dan kacang tanah). Kandungan abu biochar dari jerami jagung yang disiapkan pada suhu 700°C adalah yang tertinggi (73,30%), dibandingkan dengan kanola, kedelai, dan biochar jerami kacang tanah (masing-masing 28,55%, 23,70%, 38,50%). Berdasarkan Shareef (2018), idealnya biochar memiliki struktur yang sangat berpori, dan biochar yang diproduksi pada suhu tinggi (600°C) menghasilkan lebih banyak pori yang saling berhubungan. Luas permukaan biochar juga berkorelasi langsung dengan suhu pirolisis (Shareef, 2018).

2.4.3 Mekanisme Penyerapan Polutan oleh Biochar

Mekanisme remediasi pencemaran tanah oleh biochar meliputi pertukaran ion, adsorpsi fisik, interaksi elektrostatis, presipitasi, dan kompleksasi (Yang, 2019):

1. Pertukaran ion

Pertukaran ion berarti proses dimana asam yang mengandung gugus fungsional di permukaannya biochar, seperti gugus karboksil, gugus karbonil, dan gugus hidroksil, dapat mengionisasi H^+ atau permukaan ion basa seperti Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dll., Untuk ditukar dengan ion logam berat atau kation polutan organik.

2. Adsorpsi Fisik

Adsorpsi fisik artinya biochar memanfaatkan karakteristik permukaannya yaitu porositas dan luas permukaan spesifik yang besar, sehingga polutan seperti logam berat atau zat organik bisa jadi teradsorpsi di permukaannya atau menyebar ke pori-pori mikro. Diameter ion logam berat lebih kecil dari diameter pori rata-rata biochar. Umumnya semakin kecil diameter logam berat, semakin banyak absorbet yang menembus ke dalam pori-pori biochar, sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi. Intensitas adsorpsi fisik berkaitan erat dengan sifat dan luas permukaan spesifik biochar, sifat dan konsentrasi bahan pencemar, dan suhu selama proses adsorpsi.

3. Interaksi Elektrostatis

Interaksi elektrostatis mengacu pada adsorpsi elektrostatis antara muatan permukaan biochar dan ion logam berat. Ketika nilai pH larutan lebih besar dari titik pengisian biochar (pH_{pzc}), maka muatan negatif pada permukaan biochar dengan muatan positif logam berat menyebabkan adsorpsi elektrostatis. Ion logam berat dengan muatan positif pada permukaan biochar bergabung dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen seperti karboksil, karbonil, dan hidroksil.

4. Pengendapan

Komponen mineral dalam biochar seperti CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{4-} , Cl^- , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , dan OH^- , bergabung dengan ion logam berat untuk membentuk zat yang tidak larut dalam air seperti oksida logam, logam fosfat, dan logam karbonat, yang mendorong adsorpsi dan imobilisasi logam berat. Xu (2013) dalam Yang (2019)

percaya bahwa adsorpsi Cu, Zn, dan Cd oleh pupuk biochar terutama dikaitkan dengan presipitasi CO_3^{2-} dan PO_4^{3-} , sedangkan kompleksasi permukaan elektron melalui gugus OH^- atau π terdelokalisasi lebih sedikit.

5. Kompleksasi

Kompleksasi mengacu pada interaksi antara gugus fungsi yang mengandung oksigen di permukaan biochar dan logam berat membentuk bentuk kompleks yang dapat diperbaiki. Qian (2013) dalam Yang (2019) belajar fitotoksisitas aluminium biochar kotoran sapi terhadap gandum dan disimpulkan bahwa adsorpsi aluminium oleh biochar terutama melalui kompleksasi gugus karboksil dengan $[\text{Al}(\text{OH})]^{2+}$ dan permukaan monomernya, bukan melalui tarikan elektrostatis Al^{3+} dengan situs muatan negatif.

2.4.4 Degradasi Residu Pestisida Menggunakan Biochar

Biochar memiliki kemampuan penyerapan polutan bahan organik yang baik (Yang, 2019). Hasil penelitian Kurniawati (2010), bahwa tanah dengan kandungan bahan organik yang semakin tinggi penyerapan *Deltametrin* akan semakin meningkat. Aktivitas mikroba tampak mendominasi dalam proses ini, karena bahan organik tanah seringkali menyediakan karbon yang baik dan sumber energi bagi mikroba tanah untuk tumbuh dan berfungsi dengan baik. Menurut Hanafiah (2014). Bahan organik berpengaruh secara langsung terhadap perkembangan dan pertumbuhan mikrobia yaitu sebagai sumber energi.

Berdasarkan penelitian Yang Yu (2009), Hilangnya residu pestisida karena degradasi atau penyerapan ditanah menurun secara signifikan sejalan dengan peningkatan jumlah biochar dalam tanah. Selama 35 hari, 51% residu karbofuran dan 44% residu klorpirifos hilang dari tanah terkontaminasi. Meskipun residu pestisida dalam tanah yang diaplikasikan biochar lebih banyak bertahan, serapan pestisida oleh tanaman menurun drastis dengan meningkatnya kandungan biochar tanah, total sisa residu klorpirifos dan karbofuran pada tanaman menurun masing-masing menjadi 10% dan 25% dari perlakuan kontrol. Berdasarkan Wang (2015), percobaan adsorpsi menunjukkan bahwa biochar yang diturunkan dari jerami gandum pada suhu 750°C dapat secara efektif menyerap klorpirifos dan kuantitas adsorpsi terbesar adalah 16 mg.g^{-1} .

Penggunaan pestisida secara bebas tanpa melakukan perawatan yang tepat dapat menimbulkan dampak ancaman yang signifikan bagi kesehatan masyarakat karena persistensi, biomagnifikasi, dan akumulasi dalam rantai makanan. Pemanfaatan mikroorganisme untuk detoksifikasi polutan pada tanah dan air yang dapat merugikan kesehatan makhluk hidup disebut bioremediasi (Wasi, 2011).

Mikroorganisme cenderung menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi senyawa polutan diluar selnya dan/atau menggunakan karbon dari senyawa polutan sebagai sumber energi untuk pertumbuhan dan perbanyakannya dan menghasilkan senyawa *non-toxic* seperti CO₂ dan H₂O (Nawaz, 2011). Demikian pula, mikroorganisme dapat mengubah polutan anorganik, meskipun tapi dapat menurunkan tingkat kelarutan, mobilitas, dan toksisitas polutan tersebut dalam tanah dan air (Wasi, 2013).

2.5 *Pseudomonas* ssp.

Terdapat berbagai macam teknik yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar polutan pada tanah, salah satu diantaranya adalah bioremediasi. Bioremediasi adalah upaya pemulihan daerah tercemar dengan mengurangi atau menghilangkan kadar polutan hingga pada standar minimum dengan menggunakan mikroba (Santosa, 2008). Mikroba tersebut diaplikasikan pada bahan yang berasal dari limbah organik sebagai media yang disebut bioremediator.

Pseudomonas ssp diidentifikasi memiliki gram negatif, berbentuk batang, motil, aerobik, dan menunjukkan positif pada uji katalase (Farhan, 2012). Banyak gen pendegradasi pestisida ditemukan pada bagian plasmid bakteri tanah (Wasi, 2013). Plasmid ini dikenal sebagai plasmid katabolik; organisme, yang mengandung mereka memiliki kemampuan untuk menurunkan senyawa tertentu. Banyak plasmid katabolik telah terbentuk ditemukan pada spesies *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Actinobacter*, *Flavobacterium*, *Klebsiella*, *Moraxella* dan *Arthrobacter* (Saylor, 1990).

Bakteri dari genus *Pseudomonas* juga diketahui sangat aktif dalam melakukan metabolisme pestisida. Bakteri ini dapat menggunakan organokimia yang mengkontaminasi tanah sebagai sumber karbon untuk keberlangsungan metabolismenya (Puspitasari, 2016). Hal ini dibuktikan dengan keberhasilan Farhan (2012), dalam menurunkan kadar klorpirifos menggunakan *Pseudomonas* ssp

sebanyak 10^8 CFU. Strain WW5 yang diidentifikasi sebagai *Pseudomonas* ssp menunjukkan 94% degradasi klorpirifos (400 mg.L^{-1}) dalam 18 hari inkubasi.

2.6 Faktor yang Mempengaruhi Degradasi Pestisida

1. Parameter Lingkungan

Degradasi oleh mikroba tidak hanya bergantung pada keberadaan enzim degradatif, tetapi juga melibatkan parameter lingkungan. Suhu, pH, potensi air, unsur hara dan jumlah pestisida atau metabolit dalam tanah juga dapat bertindak sebagai faktor pembatas mikroorganisme dalam mengurai pestisida. Sehingga dibutuhkan eksplorasi lebih lanjut terkait dengan total populasi mikroba dan aktivitas biokimia mereka (Singh, 2008).

2. Kometabolisme

Kometabolisme berarti penambahan bahan organik yang mudah dimetabolisme seperti glukosa meningkatkan biodegradasi senyawa polutan yang biasanya tidak digunakan sebagai degradasi karbon dan sumber energi oleh mikroorganisme (Prescot, 2002) penggunaan glukosa sebagai co-substrat meningkatkan laju biodegradasi (Nawaz, 2011).

3. Konsentrasi Polutan

Dalam isolasi mikroorganisme pendegradasi pestisida, cenderung ditemukan mikroba yang dapat bertahan dalam kondisi toksisitas yang tinggi yang juga berperan sebagai agen pendegradasi. Oleh karena itu situs tersebut adalah relung ekologi yang paling sesuai untuk isolasi strain yang mampu mendegradasi senyawa *toxic* pada daerah tersebut (Oshiro, 2996; Ortiz-Henandez, 2001; Horne, 2002). Namun konsentrasi pestisida yang tinggi biasanya menyebabkan kegagalan dalam biodegradasi disebabkan mikroba yang tidak resisten untuk hidup di kondisi tersebut. Konsentrasi pestisida yang sangat rendah menunjukkan kuat afinitas dengan partikel tanah dengan demikian menjadi tidak tersedia untuk mikroba. Berdasarkan Farhan (2012), degradasi maksimum 78% adalah dicapai dalam 18 hari inkubasi.

Pseudomonas adaptif terbaik pada konsentrasi rendah, degradasi klorpirifos menurun dengan peningkatan konsentrasi. Pada konsentrasi $100\text{-}300 \text{ mg.L}^{-1}$ degradasi menurun secara bertahap tetapi dari 300 mg.L^{-1} dan seterusnya penurunan

degradasi cukup tajam (Farhan, 2012). Hasil ini sesuai dengan hasil dari Singh, (2004), yang melaporkan biodegradasi maksimum klorpirifos pada 250 mg.L^{-1} .

2.7 Pengaruh Kombinasi Biochar dan *Pseudomonas ssp* sebagai agen bioremediasi

Pengaplikasian mikroorganisme pada tanah terpolusi biasanya dilakukan dengan inokulasi mikroba secara langsung atau menggunakan mikroba *immobile* yang memanfaatkan media tertentu sebagai agen pembawanya. Bahan pembawa yang digunakan untuk imobilisasi sel mikroba umumnya terdiri dari bahan alami (misalnya aktif sludge, zeolite, dan diatomite), bahan makromolekul sintetik (misalnya, polivinil alkohol, poliuretan, dan akrilamida), bahan anorganik buatan (misalnya, keramik berpori dan karbon aktif), dan bahan komposit (misalnya, mikrokapsul alginat-kitosan-karbon) (Chen, 2020).

Biochar dilaporkan dapat menjadi *carrier* yang menguntungkan untuk mikroba pemacu pertumbuhan tanaman, dan peningkatan biomassa tanaman. Mekanisme interaksi potensial antara biochar dan mikroba asli tanah telah dikemukakan oleh beberapa tinjauan, termasuk (1) biochar dapat bertindak sebagai tempat berlindung mikroba; (2) biochar dapat membantu untuk memberikan nutrisi untuk mikroba; (3) biochar dapat mengubah sifat tanah, aktivitas enzim tanah dan komunitas mikroba; (4) biochar dapat meningkatkan transformasi dan degradasi polutan melalui penyerapan, transfer elektron dan radikal bebas (Bandara, 2019; Zhu, 2017 dalam Chen, 2020). Pada penelitian Farhan (2012), pengaplikasian glukosa mampu meningkatkan laju pertumbuhan *Pseudomonas ssp* dan presentase degradasi pestisida, hal ini diduga karena glukosa dapat dijadikan sebagai sumber tambahan karbon tambahan oleh *Pseudomonas ssp* untuk pertumbuhan dan perbanyakannya. Penambahan glukosa dan galaktosa mampu meningkatkan proses degradasi sebanyak 21 dan 18% secara berturut-turut. Berdasarkan teori tersebut, diharapkan biochar sebagai sumber carbon yang melimpah juga dapat mendorong pertumbuhan *Pseudomonas ssp* sebagai agen bioremediasi residu klorpirifos.

Kolonisasi mikroorganisme di permukaan dan di pori-pori biochar tergantung pada ciri fisiologis dan sifat biochar. Pada saat induksi strain mikroba di biochar, mikroorganisme akan melekat pada permukaan biochar. Pada penelitian Chen (2020), strain *Pseudomonas ssp* melekat dan tersebar dengan baik pada

permukaan biochar; juga ditemukan beberapa strain yang masuk kedalam pori-pori biochar mengingat ukurannya yang kecil ($<2 \mu\text{m}$).