

**POTENSI ISOLAT BAKTERI *Burkholderia* PENGHASIL
SENYAWA VOLATIL ORGANIK YANG DIISOLASI
DARI CAIRAN KANTONG SEMAR SEBAGAI AGENS
BIOKONTROL *Fusarium sp. cubense***

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 pada Program Studi Biologi



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Disusun oleh :

Umi Uswatun Hasanah

16640051

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UIN SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2021**

**POTENSI ISOLAT BAKTERI *Burkholderia* PENGHASIL SENYAWA
VOLATIL ORGANIK YANG DIISOLASI DARI KANTONG SEMAR
SEBAGAI AGENS BIOKONTROL *Fusarium* sp. *cubense***

Umi Uswatun Hasanah

16640051

ABSTRAK

Cendawan tular tanah atau *Fusarium* sp. *cubense* merupakan salah satu fungi patogen yang sulit dikendalikan. Dalam 20 tahun terakhir, fungi tersebut mampu menginfeksi perkebunan pisang komersil dan menjadi salah satu faktor menurunnya produktivitas tanaman pisang yang ada di dunia. Baru-baru ini, senyawa volatil organik (VOC) yang dihasilkan oleh *Burkholderia* dilaporkan mampu menekan pertumbuhan *Fusarium*. Tren penelitian baru berbasis biomolekuler dan disertai analisis bioinformatika penting untuk dilakukan dalam mengeksplorasi senyawa bioaktif dari suatu organisme. Penelitian ini bertujuan melakukan penapisan isolat *Burkholderia* serta mengeksplorasi senyawa bioaktif yang berperan dalam aktivitas antifungi. Metode yang dilakukan, yaitu penapisan isolat *Burkholderia*, pengujian senyawa volatil organik yang berperan sebagai antifungi, ekstraksi isolat bakteri terpilih, pengujian ekstrak senyawa antifungi, eksplorasi senyawa dengan GC-MS, deteksi dan perbandingan homologi gen PKS dan NRPS pada *Burkholderia*. Sebanyak 15 isolat *Burkholderia* dapat berperan dalam aktivitas antifungi. Berdasarkan uji senyawa volatil organik diketahui *Burkholderia rinojensis* memiliki kemampuan tertinggi dalam menekan pertumbuhan *Fusarium*. Eksplorasi senyawa bioaktif menggunakan isolat potensial terpilih berdasarkan uji aktivitas ekstrak senyawa antifungi, yaitu *Burkholderia arboris* (KR15-22). Pada kromatogram terdeteksi 23 senyawa kimia, dimana sebanyak 6 senyawa memiliki puncak tertinggi dan sebanyak 4 senyawa diketahui memiliki kemampuan antifungi yang bersifat VOC (*tetradecane*, *pentadecane*, *hexadecane*, dan *cis-10-Heptadecenoic acid*). Analisis *in silico* menunjukkan bahwa sampel bakteri uji terdeteksi memiliki gen PKS dan NRPS yang berperan dalam biosintesis senyawa antifungi. Dengan demikian, isolat *Burkholderia* asal cairan kantong semar diusulkan menjadi praktik manajemen baru yang menjanjikan sebagai agens biokontrol fungi patogen tanaman *Fusarium* sp. *cubense* yang ramah ekologis dan ekonomis.

Kata kunci : *Burkholderia*, antifungi, VOC, *Fusarium*, GC-MS

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Umi Uswatun Hasanah

NIM : 16640051

Program Studi : Biologi

Menyatakan dengan sesungguhnya skripsi saya ini adalah asli hasil karya atau penelitian penulis sendiri dan bukan plagiasi dari hasil karya orang lain kecuali pada bagian yang dirujuki sumbernya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya agar dapat diketahui oleh anggota dewan penguji.

Yogyakarta, 2 Februari 2021

Yang menyatakan,



Umi Uswatun Hasanah

NIM. 16640051

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Umi Uswatun Hasanah
NIM : 16640051
Judul Skripsi : Potensi Isolat Bakteri *Burkholderia* Penghasil Senyawa Volatil Organik yang Diisolasi dari Cairan Kantong Semar sebagai Agens Biokontrol *Fusarium* sp. *cubense*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Biologi.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 08 Februari 2021

Pembimbing II

Siti Meliah, S.Si., M.Si.
NIP. 198703182015022001

Pembimbing I

Jumilatus Solihah, S. Si., M.Si.
NIP. 197606242005012007



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-634/Un.02/DST/PP.00.9/04/2021

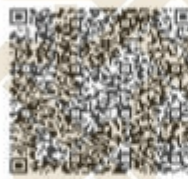
Tugas Akhir dengan judul : POTENSI ISOLAT BAKTERI Burkholderia PENGHASIL SENYAWA VOLATIL ORGANIK YANG DIISOLASI DARI CAIRAN KANTONG SEMAR SEBAGAI AGENS BIOKONTROL Fusarium sp. cubense

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : UMI USWATUN HASANAH
Nomor Induk Mahasiswa : 16640051
Telah diujikan pada : Selasa, 06 April 2021
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

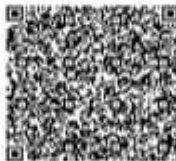
TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Jumatilatus Solihah, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 60753245bdc0d



Penguji I

Siti Meliah, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 607637d35748d2



Penguji II

Dr. Arifah Khusmuryani, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 607534433955e0



Yogyakarta, 06 April 2021
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Drs. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 60769270a495a

MOTTO

Kegagalan bukan berarti berhenti berjuang
Ingatlah, cahaya mimpimu tak kan pernah hilang ditelan kegelapan

(Umi Uswatun Hasanah)



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya ini ku persembahkan teruntuk Bapak dan Ibu

Dan

Almamater tercinta Prodi Biologi

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Indonesian Culture Collection (InaCC)

Pusat Penelitian Biologi

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

STATE ISLAMIC ***** UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan segala nikmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan tugas akhir (skripsi) ini dengan lancar. Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang telah membawa petunjuk dan penerang bagi seluruh umat manusia.

Terselesaikannya skripsi dengan judul **“Potensi Isolat Bakteri *Burkholderia* Penghasil Senyawa Volatil Organik yang Diisolasi dari Cairan Kantong Semar sebagai Agens Biokontrol *Fusarium sp. cubense*”** tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga dengan penuh ketulusan Penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Najda Rifqiyati, M.Si. selaku Ketua Program Studi Biologi.
3. Ibu Jumailatus Solihah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing dan Dosen Penasihat Akademik yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga dan pikiran, membimbing Penulis dengan penuh kesabaran serta memberikan motivasi demi kebaikan Penulis.
4. Ibu Siti Meliah, M.Si. selaku Pembimbing Lapangan yang senantiasa mengajarkan, membimbing serta memberikan begitu banyak pengalaman baru bagi penulis selama proses pelaksanaan penelitian Skripsi.

5. Siti Meliah, S.Si., M.Si. dan Dr. Arifah Khusnuryani, S.Si, M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kebaikan Penulis.
6. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Biologi yang selama ini telah mendidik Penulis dengan baik.
7. Ibu Aisah (Sekretaris Prodi) dan Ibu Lis (TU Biologi) yang telah banyak membantu penulis dalam proses pendaftaran sidang munaqosyah.
8. Ibu Mia Kusmiati, Ibu Miranti, Ibu Yeni, Ibu Ismu Purnaningsih, dan Mbak Maya selaku teknisi yang turut membantu kelancaran penelitian Penulis dengan segala pengertiannya serta kesabarannya.
9. Seluruh pimpinan dan *staff* Kelompok Penelitian Biosistematika dan Evolusi Mikroorganisme, Pusat Penelitian Biologi dan *Indonesian Culture Collection* (InaCC) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah membantu selama Penelitian Skripsi.
10. Dana DIPA untuk Pusat Penelitian Biologi yang telah mendanai penelitian Penulis di Laboratorium Biosistematika Mikroba *Indonesian Culture Collection* (InaCC) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
11. Kedua orang tua penulis, Bapak Ahmad Fauzan dan Ibu Tri Suyanti yang tidak pernah berhenti memberikan doa, semangat, dan harapan-harapan besarnya kepada Penulis untuk menyelesaikan studi S1 di Program Studi Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

12. Mas Rachman selaku kakak yang selalu menjadi semangat Penulis untuk terus menjadi lebih baik.
13. Sahabat yang tak henti-hentinya memberi semangat dan dukungan, Niken, Nanik, Dian, Aninda, Devi, Mbak Tika, Fitri, Sovi, Anis, Khanifah, dan Mbak Ulfa.
14. Rekan seperjuangan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang tak pernah berhenti memberikan semangat untuk terus berjuang dan menjadi teman diskusi, Niam, Elisa, Chelvi, Adril, dan Jasiel.
15. Teman-teman Program Studi Biologi angkatan 2016 yang senantiasa memberikan semangat serta motivasi dalam penyelesaian Skripsi ini.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis demi terselesaikannya Skripsi ini dengan lancar.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan serta jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, Penulis sangat mengharapkan berbagai kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi kebaikan tulisan ini kedepannya. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan wawasan bagi para pembaca.

Yogyakarta, April 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
ABSTRAK	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
A. Fungi Patogen <i>Fusarium</i> sp. <i>cubense</i>	7
1. Sejarah Penyakit Layu <i>Fusarium</i> (<i>Panama Wilt Disease</i>)	7
2. Klasifikasi dan Morfologi <i>Fusarium</i> sp. <i>cubense</i>	9
3. Mekanisme Infeksi <i>Fusarium</i> sp. <i>cubense</i>	13
B. <i>Burkholderia</i> sp.....	16
1. Perkembangan <i>Burkholderia</i> sp.	16
2. Potensi <i>Burkholderia</i>	17
3. Bakteri <i>Burkholderia</i> Asal Cairan Kantong Semar.....	19
C. Gen PKS dan NRPS	20

BAB III METODE PENELITIAN	23
A. Waktu dan Tempat Penelitian	23
B. Subjek dan Objek Penelitian	23
C. Alat dan Bahan.....	23
1. Alat.....	23
2. Bahan	24
D. Prosedur Penelitian.....	24
1. Persiapan Alat dan Bahan Penelitian	24
3. Penapisan <i>Burkholderia</i> Sebagai Agens Antifungi <i>Fusarium</i> sp.....	25
4. Uji Senyawa Volatil Organik Sebagai Agens Antifungi.....	26
5. Ekstraksi Senyawa Antifungi <i>Burkholderia</i>	27
6. Uji Aktivitas Ekstrak Senyawa Antifungi	28
7. Isolasi DNA Genom <i>Burkholderia</i>	29
8. Deteksi Gen NRPS dan PKS.....	31
9. Eksplorasi Senyawa Menggunakan GC-MS.....	32
E. Analisis Data	33
F. Desain Penelitian	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
A. Penapisan Isolat <i>Burkholderia</i>	35
1. Penapisan Isolat <i>Burkholderia</i> Sebagai Agens Antifungi.....	37
2. Uji Senyawa Volatil Organik Sebagai Agens Antifungi.....	41
3. Uji Aktivitas Ekstrak Antifungi	46
B. Eksplorasi Senyawa Bioaktif Menggunakan GC-MS.....	49
C. Deteksi dan Perbandingan Homologi Gen PKS dan NRPS	56
D. Prospek Masa Depan Pengembangan <i>Burkholderia</i>	63
BAB V PENUTUP.....	64
A. Kesimpulan	64
B. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	66
LAMPIRAN.....	76

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Reagen Amplifikasi Gen PKS dan NRPS	31
Tabel 2. Program PCR Gen PKS	31
Tabel 3. Program PCR Gen NRPS.....	32
Tabel 4. Informasi isolat Fusarium yang digunakan.....	35
Tabel 5. Informasi isolat Burkholderia yang digunakan	36
Tabel 6. Indeks penghambat rata-rata penapisan Burkholderia hari ke-3.....	39
Tabel 7. Indeks penghambat uji senyawa volatil organik hari ke-7	43
Tabel 8. Indeks penghambat uji aktivitas ekstrak antifungi hari ke-5.....	47
Tabel 9. Hasil eksplorasi senyawa Burkholderia (KR15-22) menggunakan GC-MS .	52



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Fusarium odoratissimum</i> InaCC F822	10
Gambar 2. <i>Fusarium hexaseptatum</i> InaCC F866	12
Gambar 3. Tanaman pisang yang terinfeksi <i>Fusarium</i>	15
Gambar 4. Skema Uji Penapisan <i>Burkholderia</i> Sebagai Agens Antifungi	25
Gambar 5. Uji Senyawa Volatil Organik	27
Gambar 6. Skema Uji Ekstrak Antifungi	29
Gambar 7. Desain Penelitian.....	34
Gambar 8. Penapisan Isolat <i>Burkholderia</i> Sebagai Agens Antifungi	38
Gambar 9. Penapisan Isolat <i>Burkholderia</i> Sebagai Agens Antifungi	40
Gambar 10. Uji Senyawa Volatil Organik Sebagai Agens Antifungi.....	42
Gambar 11. Indek Penghambat Uji VOC Antifungi Hari Ke-7	44
Gambar 12. Uji Ekstrak Antifungi Hari Ke-5	46
Gambar 13. Indek Penghambat Uji Aktivitas Ekstrak Antifungi Hari Ke-5	48
Gambar 14. Kromatogram Hasil GC-MS dari Isolat <i>Burkholderia</i> (KR15-22).....	50
Gambar 15. Hasil Elektroforesis <i>Burkholderia</i> (KR15-22)	56
Gambar 16. Perbandingan Homologi Gen PKS <i>Burkholderia</i>	60
Gambar 17. Perbandingan Homologi Gen NRPS <i>Burkholderia</i>	61

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Penapisan Burkholderia Sebagai Agens Antifungi	76
Lampiran 2. Hasil Uji Senyawa Volatil Organik Sebagai Agens Antifungi.....	76
Lampiran 3. Hasil Uji Aktivitas Ekstrak Senyawa Antifungi.....	78
Lampiran 4. Pensejajaran Sekuens Gen PKS dan NRPS.....	78
Lampiran 5. Hasil Eksplorasi Senyawa Dengan GC-MS	79
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian.....	80



BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan sentra utama penghasil pisang di Asia Tenggara. Bahkan, Indonesia berhasil menduduki peringkat 10 besar negara penghasil pisang dunia dengan jumlah lebih dari 200 varietas yang tersebar di seluruh Indonesia. Akan tetapi, dalam proses budidayanya terdapat beberapa patogen yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas tanaman pisang (Maryani *et al.*, 2019). Cendawan tular tanah atau yang sering disebut sebagai fungi *Fusarium* sp. *cubense* merupakan salah satu penyakit utama yang menyerang tanaman pisang (Dimiyati *et al.*, 2000). Menurut Meliah *et al.* (2020), dalam kurun waktu kurang dari 20 tahun terakhir penyakit layu yang dihasilkan oleh *Fusarium* berhasil menginfeksi perkebunan pisang komersil yang ada di dunia. Adanya kendala tersebut menyebabkan penurunan produktivitas tanaman pisang dan menjadi salah satu penyebab kerugian ekonomi yang serius di seluruh dunia (Guo *et al.*, 2014). Menurut Soenartiningsih *et al.* (2016) selain menyerang tanaman pisang, *Fusarium* diketahui dapat menyerang hewan dan bahkan manusia.

Fusarium termasuk salah satu organisme pengganggu tanaman (OPT) yang sulit dikendalikan. Hal ini didukung oleh adanya fakta bahwa berbagai upaya telah banyak dilakukan untuk mengendalikan adanya penyakit tersebut, seperti pengelolaan lahan yang baik, penggunaan fungisida, dan juga penggunaan agens

hayati. Akan tetapi, keberadaan transposon yang terdapat pada fungi *Fusarium* dapat meningkatkan plastisitas dan adaptabilitas fungi sehingga sulit dikendalikan (Meliah *et al.*, 2020).

Fungi *Fusarium* memulai aksinya dengan menginfeksi berbagai jaringan tanaman, sehingga menyebabkan pertumbuhan akar dan daun terganggu yang berakibat pada terjadinya pembusukan (Edisaputra, 2005). Tanaman pisang yang telah terinfeksi *Fusarium* akan menunjukkan gejala daun menguning, dalam tingkatan yang lebih parah tanaman akan menjadi layu dan mati (Brown & Ogle, 1997). Biasanya penyakit ini sering dikenal sebagai penyakit layu *Fusarium* atau *panama wilt disease* (Nasir *et al.*, 1999).

Proses infeksi dilatarbelakangi oleh mikotoksin yang dikeluarkan oleh *Fusarium*. Mikotoksin tersebut akan mempengaruhi produktivitas beberapa komoditas pertanian dan diketahui dapat mengkontaminasi berbagai bahan pangan dan pakan yang berakibat terjadinya keracunan (Bhat & Miller, 1991). Beberapa mikotoksin yang dihasilkan oleh *Fusarium*, yaitu trikotesena, fumonisin, moniliformin, dan fusarin. Toksin trikotesena yang dihasilkan oleh *Fusarium* dapat menyebabkan muntah, dermatitis kulit, dan lesi hemoragik pada manusia. Selain itu, kelompok mikotoksin yang dihasilkan oleh *Fusarium* juga dapat memberikan efek samping pada hewan, seperti penurunan glukosa plasma, penurunan jumlah sel darah, dan pengurangan berat badan pada hewan (Meliah *et al.*, 2020).

Maryani *et al.* (2019) berhasil mengisolasi *Fusarium* yang berasal dari tanaman pisang yang selanjutnya diklasifikasikan sebagai *Fusarium odoratissimum*

dan *Fusarium hexaseptatum*. Kedua fungi tersebut digolongkan sebagai *Fusarium* sp. *cubense*. Hal ini diketahui bahwa varian *cubense* merupakan salah satu fungi yang paling sering menginfeksi tanaman pisang. Sampel hasil isolasi tersebut, selanjutnya digunakan sebagai sumber isolat dalam penelitian ini. Pentingnya upaya pengendalian fungi hasil isolasi, menjadi salah satu sumber informasi baru untuk memberantas fungi patogen *Fusarium*.

Keberadaan penyakit yang dihasilkan oleh *Fusarium* mendorong para petani untuk menggunakan fungisida sintetis dalam memberantas fungi tersebut. Penggunaan fungisida yang digunakan secara terus menerus akan berdampak negatif terhadap lingkungan. Sifat racun yang terdapat pada bahan kimia dapat meracuni serangga penyerbuk tanaman, menimbulkan polusi lingkungan, bahkan penggunaan dosis yang tidak tepat dapat membuat hama dan penyakit menjadi resistan terhadap bahan kimia (Suwahyono, 2009).

Pada era sekarang, tren pencarian biofungisida alami yang berasal dari mikroorganisme makin berkembang pesat. Hal ini dilakukan untuk menghindari pencemaran lingkungan akibat penggunaan pestisida sintetis (Elshafie *et al.*, 2012). Salah satu alternatif yang diusulkan untuk mengendalikan fungi patogen dengan metode yang aman terhadap lingkungan, yaitu penggunaan mikroorganisme antagonis yang menghasilkan senyawa bioaktif (Soenartiningasih *et al.*, 2016).

Meliah *et al.* (2020) berhasil mengisolasi bakteri *Burkholderia* yang berasal dari cairan kantong semar. Sampel tersebut diperoleh dari tanaman kantong semar yang berada di sekitar Gunung Betina, Karimun Besar, Kepulauan Riau yang

selanjutnya diklasifikasikan sebagai *Burkholderia rinojensis* dan *Burkholderia arboris*. Bakteri tersebut merupakan salah satu spesies yang kaya akan senyawa bioaktif dan memiliki beberapa aktivitas enzimatis. Hal tersebut menjadi salah satu faktor yang menjanjikan dalam memberantas patogen tanaman. Baru-baru ini, senyawa organik mudah menguap yang berasal dari *Burkholderia* memiliki potensi besar sebagai mikroorganisme antagonis berbagai patogen, baik bakteri maupun fungi (Elshafie *et al.*, 2012). Senyawa organik yang mudah menguap atau sering disebut sebagai *Volatile Organic Compounds* (VOC) merupakan salah satu jenis senyawa yang sering dihasilkan oleh bakteri. Bakteri tersebut akan melepaskan VOC ke lingkungan yang kemudian dapat mempengaruhi pertumbuhan beberapa fungi patogen (Leon *et al.*, 2020). Beberapa VOC yang dihasilkan oleh *Burkholderia* yang berperan dalam aktivitas antifungi yaitu dimetil trisulfen, *indole*, metil antranilat, metil salisilat, benzil asetat, *3,5-di-tert-butylphenol*, dan asam nanonoat (Chen *et al.*, 2020).

Pendekatan molekuler dilakukan untuk mengetahui karakteristik serta keragaman senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme (Taylor *et al.*, 2007). Metode ini disertai dengan analisis bioinformatika yang mampu mendeteksi adanya gen penyandi enzim untuk biosintesis senyawa bioaktif yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme (Zheng *et al.*, 2005). Kelompok senyawa *Polyketida Synthase* (PKS) dan *Non Ribosomal Peptide Synthase* (NRPS) merupakan kelompok enzim yang terlibat dalam jalur biosintesis senyawa bioaktif antibakteri maupun antifungi (Fischbach & Walsh, 2006).

Adanya VOC yang dihasilkan oleh *Burkholderia* diusulkan menjadi salah satu metode biokontrol alternatif dalam pengendalian fungi patogen tanaman. Beberapa penelitian telah banyak melaporkan tentang aktivitas *Burkholderia* sebagai agens biokontrol patogen tanaman, khususnya *Fusarium*. Akan tetapi penelitian tentang *Burkholderia rinojensis* dan *Burkholderia arboris* belum pernah dilakukan untuk menekan pertumbuhan fungi *Fusarium odoratissimum* dan *Fusarium hexaseptatum*. Dengan demikian, penelitian yang berjudul deteksi senyawa volatil organik dan potensi isolat bakteri asal cairan kantong semar *Burkholderia* sebagai agens biokontrol fungi patogen tanaman *Fusarium sp. cubense* penting untuk diteliti. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan isolat potensial, mendeteksi keberadaan gen PKS dan NRPS yang berperan sebagai antifungi pada *Burkholderia*, serta dilakukan GC-MS untuk mengetahui profil keanekaragaman senyawa bioaktif antifungi pada *Burkholderia*.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana potensi isolat bakteri *Burkholderia* penghasil senyawa volatil organik dalam menghambat pertumbuhan fungi patogen tanaman *Fusarium sp. cubense*?
2. Bagaimana profil senyawa VOC yang berperan dalam biosintesis senyawa antifungi pada *Burkholderia*?
3. Bagaimana perbandingan homologi gen PKS dan NRPS yang berperan dalam biosintesis senyawa antifungi pada *Burkholderia*?

C. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah dapat diambil tujuan :

1. Melakukan penapisan isolat *Burkholderia* dalam menghasilkan senyawa volatil organik yang berpotensi menghambat pertumbuhan *Fusarium sp cubense*.
2. Mengeksplorasi senyawa VOC pada *Burkholderia* yang berperan dalam biosintesis senyawa antifungi untuk melawan pertumbuhan fungi *Fusarium sp. cubense*.
3. Melakukan perbandingan homologi gen PKS dan NRPS yang berperan dalam biosintesis senyawa antifungi pada *Burkholderia*.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian dapat dimanfaatkan sebagai pustaka acuan dalam pencarian isolat potensial yang berperan sebagai biokontrol fungi patogen tanaman *Fusarium sp. cubense*. Potensi aplikasi eksplorasi profil senyawa bioaktif digunakan untuk menekan pertumbuhan fungi patogen tanaman dalam upaya mewujudkan *sustainable agriculture system* di Indonesia.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penapisan isolat *Burkholderia*, semua isolat mampu menekan pertumbuhan *Fusarium odoratissimum* (InaCC F822) dan *Fusarium hexaseptatum* (InaCC F866). Sebanyak 3 isolat potensial yang diuji senyawa volatil organik yang berperan dalam antifungi, *Burkholderia rinojensis* menghasilkan penghambatan tertinggi terhadap fungi uji. Eksplorasi profil senyawa menggunakan GC-MS didasarkan pada isolat potensial terpilih dari uji aktivitas antifungi. Data kromatogram menunjukkan ekstrak bakteri KR15-22 (*Burkholderia arboris*) terdeteksi 6 senyawa dengan luas area tertinggi dan 4 senyawa yang mampu berperan dalam uji VOC antifungi (*tetradecane*, *pentadecane*, *hexadecane*, dan *cis-10-Heptadecenoic acid*). Deteksi gen PKS dan NRPS yang dilakukan menunjukkan hasil yang *Blank*, dari analisis *in silico* dapat diketahui bahwa *Burkholderia* memiliki gen PKS dan NRPS yang berperan dalam antifungi. Hasil pensejajaran sekuens menunjukkan bahwa *Burkholderia* memiliki homologi yang tinggi terhadap *Burkholderia cepacia strain* BC16. Dengan demikian, *Burkholderia* memiliki potensi yang menjanjikan sebagai agens biokontrol.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diajukan sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan desain ulang primer untuk mengetahui kecocokan antara primer dengan *template*.
- b. Perlu dilakukan optimasi pada tahap amplifikasi terhadap suhu PCR untuk mengetahui suhu denaturasi dan suhu *annealing* yang sesuai *Burkholderia*.
- c. Perlu dilakukan pemurnian senyawa untuk uji VOC antifungi untuk mengetahui senyawa volatil organik yang dihasilkan benar-benar memiliki aktivitas antifungi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, M. H., Hussain, R. O., Shaheed, D. S., AbuKhader, M., & Khan, S. A. (2019). Gas chromatography-mass spectrometry analysis and in vitro biological studies on fixed oil isolated from the waste pits of two varieties of *Olea europaea* L. *OCL*, 26(28), 2-8.
- Abidin, Z., Aini, L. Q., & Abadi, A. L. (2015). Pengaruh Bakteri *Bacillus* sp. dan *Pseudomonas* sp. terhadap Pertumbuhan Jamur Patogen *Sclerotium rolfsii* Sacc. Penyebab Penyakit Rebah Semai pada Tanaman Kedelai. *Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan*, 3(1), 1-10.
- Adlassnig, W., Peroutka, M., & Lendl, T. (2011). . Traps of Carnivorous Pitcher Plants As A Habitat: Composition of The Fluid, Biodiversity and Mutualistic Activities. *J. Annals of Botany*, 107, 181-194.
- Afzal, M., Shahid, M., Mehmood, Z., Bukhari, S. A., & Talpur, M. M. (2014). Antimicrobial activity of extrac and fraction of different parts and GC-MS profiling of Essential oil of *Cichorium intybus* extracted by super critical fluid extraction. *Asian Journal of Chemistry*, 26(2), 531-536.
- Agrios, G. N. (1996). *Plant Pathology. Penerjemah : Munzir Busnia dalam Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Agustini, N. W., Kusmiati, & Handayani, D. (2017). Aktivitas antibakteri dan identifikasi senyawa kimia asam lemak dari mikroalga *Lyngbya* sp. *Biopropal Industri*, 8(2), 90-107.
- Akhdiya, A. (2014). Karakterisasi Bakteri Endofit Penghasil Volatile Organic Compounds (VOCs) Untuk Meningkatkan Ketahanan Tanaman Kentang Terhadap Penyakit Layu Bakteri. [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Amer, M. S., Barakat, K. M., & Hassanein, A.-E. A. (2019). Phthalate derivatives from marine *Penicillium decumbens* and its synergetic effect against sepsis bacteria. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 9(4), 4070-4076.
- Amos, G. C., Borsetto, C., Laskaris, P., Krsek, M., Berry, A. E., Newsham, K. K., . . . Wellington, E. M. (2015). Designing and Implementing an Assay for the Detection of Rare and Divergent NRPS and PKS Clones in European, Antarctic and Cuban Soils. *Plos One*, 1-15.

- Ansari, M. Z., Yadav, G., Gokhale, R. S., & Moanty, D. (2004). NRPS-PKS: a knowledge-based resource for analysis of NRPS/PKS megasynthases. *Nucleic Acid Research*, 32, 406-407.
- Arora, S., Kumar, G., & Meena, S. (2017). Gas chromatography- mass spectroscopy analysis of root of an economically important plant, *Cenchrus ciliaris* L. from thar desert, Rajasthan (India). *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 10(9), 64-69.
- Asghar, S., Rehman, M. I., Choudahry, & Rahman. (2011). Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) analysis of petroleum ether extract (oil) and bio-assays of crude extract of *Iris germanica*. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*, 3(7), 95-100.
- Babar, A. G., Pande, A., & Kulkarni, B. (2016). Antifungal activity and investigation of bioactive compounds of marine intertidal bivalve *Gafrarium divaricatum* from West coast of India. *International J. Pure Applied Bioscience*, 4(2), 211-217.
- Bhat, R. V., & Miller, J. D. (1991). Mycotoxins and food supply. FAO. *Food, Nutrition and Agriculture*, 1, 27-31.
- Brown, J. F., & Ogle, H. J. (1997). Fungal Diseases and their Control. *Pathogens and Plant Disease*, 443-467.
- Bruno, F., Castelli, G., Migliazzo, A., Piazza, M., Galante, A., Verde, V. L., . . . Vitale, F. (2019). Cytotoxic screening and in vitro evaluation of pentadecane against *Leishmania infantum* Promastigotes and Amastigotes. *Journal of Parasitology*, 101(6), 701-705.
- Chaidir, Z., Rahmi, S., Salim, M., Mardiah, E., & Pardi, H. (2020). Examination of the antibacterial and antifungal properties of fatty acids and fatty acid methyl ester obtained from *Nannochloropsis oculata*. *Rasayan J Chem.*, 13(2), 1134-1143.
- Chan, X.-Y., Hong, K.-W., Yin, W.-F., & Chan, K.-G. (2016). Microbiome and Biocatalytic Bacteria in Monkey Cup (*Nepenthes* Pitcher) Digestive Fluid. *Scientific Report*, 6(1), 1-10.
- Chen, J.-H., Xiang, e., Cao, K.-X., Lu, X., Yao, S.-C., Hung, D., . . . Li, L.-B. (2020). Characterization of Volatile Organic Compounds Emitted from Endophytic *Burkholderia cenocepacia* ETR-B22 by SPME-GC-MS and Their Inhibitory Activity against Various Plant Fungal Pathogens. *Molecules*, 25, 3765.

- Compant, S., Nowak, J., Coenye, T., Clement, C., & Barka, E. A. (2008). Diversity and occurrence of *Burkholderia* spp. in the natural environment. *FEMS Microbiol Rev*, 32, 607-626.
- Cordova-Kreylos, A. L., Fernandez, L. E., Koivunen, M., Yang, A., Flor-Weiler, L., & Morrone, P. G. (2013). Isolation and Characterization of *Burkholderia rinojensis* sp. nov., a Non-*Burkholderia cepacia* Complex Soil Bacterium with Insecticidal and Miticidal Activities. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(24), 7669-7678.
- Daood, U., Matinlinna, J. P., Pichika, M. K., Mak, K. K., Nagendrababu, V., & Fawzy, A. S. (2020). A quaternary ammonium silane antimicrobial triggers bacterial membrane and biofilm destruction. *Scientific report*, 10(1), 10970.
- Depoorter, E., Bull, M. J., Peeters, C., Coenye, T., Vandamme, P., & Mahenthiralingam, E. (2016). *Burkholderia* : an update on taxonomy and biotechnological potential as antibiotic producers. *Appl Microbiol Biotechnol*, 10, 5215-5229.
- Dhankhar, S., Dhankar, S., Kumar, M., Ruhil, S., Balhara, M., & Chhillar, A. K. (2012). Analysis toward innovative herbal antibacterial and antifungal drugs. *Recent patents on anti-infective drug discovery*, 7(3), 242-248.
- Dimiyati, A., Djatnika, I., Hermanto, C., Nasir, N., & Hasyim, A. (2000). Current Research Activities on Banana Disease and Pests in Indonesia. *Proc. At The 10th INIBAP-ASPNET Bangkok*, 110-122.
- Edisaputra, E. K. (2005). Pengendalian penyakit layu (*Fusarium oxysporum*) pada Tanaman Bawang Merah dengan Cendawan Antagonis dan Bahan Organik. *Skripsi*, 2.
- Elshafie, H. S., Camele, I., Racioppi, R., Scrano, L., Iacobellis, N. S., & Bufo, S. A. (2012). In Vitro Antifungal Activity of *Burkholderia gladioli* pv. *agaricicola* against Some Phytopathogenic Fungi. *International Journal Molecular Science*, 13, 16291-16302.
- Esmaeel, Q., Pupin, M., Jacques, P., & Leclere, V. (2018). Nonribosomal peptides and polyketides of *Burkholderia*: new compounds potentially implicated in biocontrol and pharmaceuticals. *Environmental Science and Pollutan Research*, 25(30), 29794-29807.
- Esmaeel, Q., Pupin, M., Kieu, N. P., Chataigne, G., Bechet, M., Deravel, J., . . . Leclere, V. (2016). *Burkholderia* genome mining for nonribosomal peptide synthetases reveals a great potential for novel siderophores and lipopeptides synthesis. *MicrobiologyOpen*, 5(3), 512-526.

- Fernando, W. G., Ramarathnam, M., Krishnamoorthy, A. S., & Savchuk, S. V. (2005). Identification and use of potential bacterial organic antifungal volatiles in biocontrol. *Soil Biol Biochem*, 37, 955-964.
- Fischbach, M. A., & Walsh, C. T. (2006). Assembly-line enzymology for polyketide and nonribosomal Peptide antibiotics: logic, machinery, and mechanisms. *Chem Rev*, 106, 3468-3496.
- Godara, P., Dulara, B. K., Barwer, N., & Chaundhary, N. S. (2019). Comparative GC–MS Analysis of Bioactive Phytochemicals from Different Plant Parts and Callus of *Leptadenia reticulata* Wight and Arn. *Pharmacognosy Journal*, 11(1), 129-140.
- Guo, L., Han, L., Yang, L., Zeng, H., Fan, D., Zhu, Y., & Feng, Y. (2014). Genome and Transcriptome Analysis of the Fungal Pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* Causing Banana Vascular Wilt Disease. *Plos One*, 9(4), 1-2.
- Guo, L., Wu, J., Han, T., Cao, T., Rahman, K., & Qin, L. (2008). Chemical composition, antifungal and antitumor properties of Ether Extract of *Scapania verrucosa* Heeg. and its endophytic fungus *Chaetomium fusiforme*. *Molecules*, 13(9), 2114-2125.
- Hidayat, Y. (2015). Isolasi Bakteri Penghasil Antibiotika dari Cairan Kantong Tumbuhan Kantong Semar (*Nepenthes* Spp.) Cagar Alam Lembah Harau Sumatera Barat. *Bioconcetta*, 1(1), 20-31.
- Huda, M. (2010). *Pengendalian Layu Fusarium pada Tanaman Pisang (Musa paradisiaca L.) secara Kultur Teknis dan Hayati*. Bogor: Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Hui, K., H. (2018). Potential anticancer compounds of marine endophytes with inhibitory effects against nasopharyngeal cancer. Australia : Swinburne University of Technology.
- Jackels, S. C., Marshall, E. E., Omaiye, A. G., Gianan, R. L., Lee, F. T., & Jackels, C. F. (2014). GCMS investigations of volatile compounds in green coffee affected by potato taste defect and the Antestia bug. *J Agric Food Chem*, 62(42), 10222-10229.
- Kaddes, A., Fauconnier, M., Sassi, K., Nasraoui B., Jijakli, M., (2019). Endophytic Fungal Volatile Compounds as Solution for Sustainable Agriculture. 24 (1065), 2-16.

- Kalpna, D. V., Shanmugasundaram, R., & Mohan, V. R. (2012). GC-MS analysis of ethanol extracts of *Entada pursaetha* Dc. seed. *Bioscience discovery*, 3(1), 30-33.
- Komaki, H., Fudou, R., Iizuka, T., Nakajima, D., Okazaki, K., Shibata, D., . . . Harayama, S. (2008). PCR detection of type I polyketide synthase genes in myxobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(17), 5571-5574.
- Leon , D. C., Guio, L. C., & Hernandez, L. C. (2020). Fungicidal activity of volatile organic compounds from *Paenibacillus* bacteria against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Rev. Colomb. Quim.*, 49(1), 20-25.
- Li, R., Mock, R., Huang, Q., Abad, J., Hartung, J., & KinardG. (2008). A reliable and inexpensive method of nucleid acid extraction for the PCR based detection of diverse plant pathogen. *J. Viol Methods*, 154(2-3), 55-58.
- Li, X., Quan, C. S., & Fan, S. D. (2007). Antifungal activity of a novel compound from *Burkholderia cepacia* against plant pathogenic fungi. *Lett Appl Microbiol*, 45, 508-514.
- Li, X., Yu, H.-Y., Lin, Y.-F., Teng, H.-M., Du, L., & Ma, G.-G. (2010). Morphological changes of *Fusarium oxysporum* induced by CF66I, an antifungal compound from *Burkholderia cepacia*. *Biotechnol Lett*, 32, 1487-1495.
- Mahenthiralingam, E., Baldwin, A., & Dowson, C. G. (2008). *Burkholderia cepacia* complex bacteria: opportunistic pathogens with important natural biology. *Journal of Applied Microbiology*, 104, 1539-1551.
- Mahenthiralingam, E., Urban, T. A., & Goldberg, J. B. (2005). The multifarious, multireplicon *Burkholderia cepacia* complex. *Nat. Rev. Microbiol*, 3, 144-156.
- Mansur, M. (2013). Tinjauan tentang *Nepenthes* (Nepenthaceae) di Indonesia. *Berita Biologi*, 12(1), 1-7.
- Maryani, N., Lombard, L., Poerba, Y. S., Subandiyah, S., Crous, P. W., & Kema, G. H. (2019). Phylogeny and genetic diversity of the banana *Fusarium* wilt pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* in the Indonesian centre of origin. *Studies in Mycology*, 92, 155-194.
- Maryani, N., Sandoval-Denis, M., Lombard, L., Crous, P. W., & Kema, G. H. (2019). New endemic *Fusarium* species hitch-hiking with pathogenic *Fusarium* strains causing Panama disease in small-holder banana plots in Indonesia. *Persoonia*, 43, 48-69.

- Masrukhin, Putri, A. L., Sulistiyani, T. R., Ilyas, M., Purwaningsih, I., Saskiawan, I., & Niam, M. Y. (2021). Antifungal activity of bacterial isolates from straw mushroom cultivation medium against phytopatogenic fungi. *Journal of Tropical Biodiversity and Biotechnology*, 6(1), 1-9.
- Maymon, M., Shpatz, U., Harel, Y. M., Levy, E., Elkind, G., Teverovsky, E., . . . Freeman, S. (2018). First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 causing Fusarium wilt of Cavendish bananas in Israel. *Plant Disease*, 102, 2655.
- Meliah, S., Hardiyanti, A. W., Haida, N., Putri, G. A., & Ainy, E. Q. (2020). Penapisan Bakteri Penghambat *Fusarium* yang diisolasi dari Cairan Kantung Semar (*Nepenthes* sp.). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 24(4), 627-635.
- Meliah, S., Kusumawati, D. I., & Ilyas, M. (2020). Preliminary study of myxobacteria as biocontrol agents for panama disease pathogen, tropical race 4 *Fusarium odoratissimum*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (pp. 1-8). Britania raya: IOP Publishing.
- Mihardjo, A., & Majid, A. (2008). Pengendalian Penyakit Layu pada Pisang dengan Bakteri Antagonis *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis*. *Jurnal Pengendalian Hayati*, 1(12), 26-31.
- Mongalo, N., Soyengebe, O. S., & Makhafola, T. J. (2019). Antimicrobial, cytotoxicity, anticancer and antioxidant activities of *Jatropha zeyheri* Sond. roots (Euphorbiaceae). *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 9(7), 307-314.
- Muller, C. A., Oberauner-Wappis, L., Peyman, A., Amos, G. C., Wellington, E. M., & Berg, G. (2015). Mining for Nonribosomal Peptide Synthetase and Polyketide Synthase Genes Revealed a High Level of Diversity in the Sphagnum Bog Metagenome. *Applied and Environmental Microbiology*, 8(15), 5064-5072.
- Murhadi. (2009). Senyawa dan AKtivitas Antimikroba Golongan Asam Lemak dan Esternya dari Tanaman. *Jurnal Teknologi Industri dan Hasil Pertanian Volume*, 14(1), 97-105.
- Narayanasamy, P. (2013). Mechanisms of action of bacterial biological control agents. *Springer*, 15, 295-429.
- Nasir, N., Pittaway, P. A., Pegg, K. G., & Leisle, A. T. (1999). A pilot study investigating the complexity of fusarium wilt of bananas in West Sumatra, Indonesia. *Aust J. Agric. Res*, 50, 1279-1283.

- Nimbeshaho, F., Mwangi, C. N., Orina, F., Chacha, M., Adipo, N., Moody, J. O., & Kigundu, E. M. (2020). Antymicobacterial activities, cytotoxicity and phytochemical screening of extract for three medical plant growing in Kenya. *Journal of Medical Plant Research*, 14(4), 129-143.
- Pinto, M. E., Araujo, S. G., Morais, M. I., Sa, N. P., Lima, C. M., Rosa, C. A., . . . Lima, L. A. (2017). Antifungal and Antioxidant Activity of Fatty Acid Methyl Esters from Vegetable Oil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 89(3), 1671-1687.
- Pitcher, D. G., Saunders, N. A., & Owen, R. J. (1989). Rapid Extraction of Bacterial Genomic DNA with Guanidium Thiocyanate. *Lett Appl Microbiol*, 8, 151-156.
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium Wilt of Banana. *Phytopathology Review*, 105(12), 1512-1521.
- Prapagdee, B., Kuekulvong, C., & Mongkolsuk, S. (2008). Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygrosopicus* against phytopathogenic fungi. *International Journal of Biological Sciences*, 4(5), 330-337.
- Rahbar, N., Shafagha, A., & Salimi, F. (2012). Antimicrobial activity constituents of the hexane extract from leaf and stem of *Origanum vulgare* L. so. *Viride* (Boss.) Hayek. growing wild in Northwest Iran. *Journal of Medical Plant Research*, 6(13), 2681-2685.
- Rhetso, T., Shubharani, R., Roopa, M. S., & Sivaram, V. (2020). Chemical constituents, antioxidant, and antimicrobial activity of *Allium chinense* G. Don. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, 6(102), 1-9.
- Roy, R. N. (2020). Bioactive natural derivatives of phthalate ester. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40(2), 1-17.
- Sari, W., Wiyono, S., Nurmansyah, A., Munif, A., & Poerwanto, R. (2017). Keanekaragaman dan Patogenisitas *Fusarium* spp. Asal Beberapa Kultivar Pisang. *Jurnal Patologi Indonesia*, 13(6), 219.
- Schulz-Bohm, K., Martin-Sanchez, L., & Garbeva, P. (2017). Microbial Volatiles : Small Molecules with an Important Role in Intra- and Inter- Kingdom Interactions. *Frontiers in Microbiology*, 8, 1-10.
- Semangun, H. (1994). *Penyakit-Penyakit Tanaman Hortikultura di Indonesia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

- Semangun, H. (2001). *Pengantar Penyakit Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Semwal, P., Painuli, S., & Badoni, H. (2019). Chemical Composition and Antimicrobial Profiling of *Myrica sapida* Wall.: An Important Wild Fruit Species of Uttarakhand Himalaya. *Science and Culture*, 85(5-6), 205-208.
- Seragih, S. D. (2009). Jenis-jenis Fungi pada Beberapa Tingkat Kematangan Gambut. *Skripsi*, 219.
- Shanab, S. M., Shalaby, E. A., Lightfoot, D. A., & El-Shemy, H. (2010). Allelopathic Effects of Water Hyacinth [*Eichhornia crassipes*]. *Plos One*, 5(10), 1-8.
- Sheoran, N., Nadakkakath, A. V., Munjal, V., Kundu, A., Subaharan, K., Venugopal, V., . . . Kumar, A. (2015). Genetic analysis of plant endophytic *Pseudomonas putida* BP25 and chemo-profiling of its antimicrobial volatile organic compounds. *Microbiological Research*, 3(9), 857-866.
- Sinaga, M. S. (2006). *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Tumbuhan*. Jakarta : Penebar Swadaya.
- Soenartiningih, Aqil, M., & Andayani, N. N. (2016). Strategi Pengendalian Cendawan *Fusarium* sp. dan Kontaminasi Mikotoksin pada Jagung. *Iptek Tanaman Pangan*, 11(1), 86-90.
- Sulistiyani, T. R., Meliah, S., & Damayanti. (2020). Bakteri Endofit yang Diisolasi dari Akar *Eurycoma longifolia* dan Potensinya sebagai Pengendali Jamur Patogen Tanaman. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia*, 7(1), 37-47.
- Sunarjono. (1990). *Ilmu Produksi Tanaman Buah-Buahan*. Bandung: Sinar Buku.
- Sunyoto, Djatnika, & Eliza. (2003). Peranan *Pseudomonas fluorescens* MR 96 pada Penyakit Layu *Fusarium* Tanaman Pisang. *Jurnal Hortikultura*, 13(3), 212-218.
- Susetyo, A. P. (2010). Hubungan Keanekaragaman Cendawan Rizosfer Tanaman Pisang (*Musa* spp. dan Penyakit layu *Fusarium*. [Skripsi]. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Suwahyono. (2009). *Biopestisida*. Jakarta: PT. Niaga Swadaya.
- Tavares, M., Kozak, M., Balola, A., & Sa-Correia, I. (2020). *Burkholderia cepacia* Complex Bacteria: a Feared Contamination Risk in Water-Based Pharmaceutical Products. *Clinical Microbiology Reviews*, 33(3), 1-25.

- Taylor, M. W., Radax, R., Steger, D., & Wagner, M. (2007). Sponge-associated microorganisms: evolution, ecology. *Microbiol Mol Biol*, 71, 295-347.
- Tilocca, B., Cao, A., & Migheli, Q. (2020). Scent of a Killer : Microbial Volatilome and Its Role in the Biological Control of Plant Pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 11(41), 1-13.
- Vandamme, P., & Dawyndt, P. (2011). Classification and identification of the Burkholderia cepacia complex: past, present, and future. *Systematic and Applied Microbiology*, 34, 87-95.
- Vanlaere, E., LiPuma, J. L., Baldwin, A., Henry, D., Brandt, E. D., Mahenthiralingam, E., . . . Vandame, P. (2008). Burkholderia latens sp. nov., Burkholderia diffusa sp. nov., Burkholderia arboris sp. nov., Burkholderia seminalis sp. nov. and Burkholderia metallica sp. nov., novel species within the Burkholderia cepacia complex. *Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58, 1580-1590.
- Wallner, A., King, E., Ngonkeu, E. L., Mouling, L., & Bena, G. (2019). Genomic analyses of Burkholderia cenocepacia reveal multiple species with differential host-adaptation to plants and humans. *BMC Genomic*, 20(803), 1-15.
- Wang, H., Fewer, D. P., Holm, L., Rouhiainen, L., & Sivonen, K. (2014). Atlas of nonribosomal peptide and polyketide biosynthetic pathways reveals common occurrence of nonmodular enzymes. *PNAS*, 111(25), 9259-9264.
- Wardhani, L. K., & Sulistyani, N. (2012). Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etil Asetat Daun Binahong (Anredera scandens (L.) Moq.) Terhadap Shigella Flexneri Beserta Kromatografi Lapis Tipis. *Jurnal Ilmiah Kefarmasian*, 2(1), 1-16.
- Warsinah, Kusumawati, E., & Sunarto. (2011). Identifikasi senyawa antifungi dari kulit batang kecap (Sandoricum koetjape) dan aktivitasnya terhadap Candida albicans. *Majalah Obat Tradisional*, 16(3), 170-178.
- Weinig, S., Hecht, H. J., Mahmud, T., & Muller, R. (2003). Melithiazol Biosynthesis: Further Insights into Myxobacterial PKS/NRPS Systems and Evidence for a New Subclass of Methyl Transferases. *Chemistry & Biology*, 10(1), 939-952.
- Wenzel, C. S., & Muller, R. (2009). Myxobacteria—‘microbial factories’ for the production of bioactive secondary metabolites. *Molecular BioSystems*, 5, 567-574.
- Xu, Z., Wang, M., Du, J., Huang, T., Liu, J., Dong, T., & Chen, Y. (2020). Isolation of Burkholderia sp. HQB-1 A Promising Biocontrol Bacteria to Protect Banana

Agains Fusarium Wilt Through Phenazine-1-Carboxylic Acid Secretion. *Frontiers Microbiology*, 11, 1-12.

- Yabuuchi, E., Kosaka, Y., Oyaizu, H., Yano, I., Hotta, H., Hashimoto, Y., . . . Arakawa, M. (1992). Proposal of Burkholderia a gen. nov. and Transfer of Seven Species of the Genus Pseudomonas Homology Group II to the New Genus, with the Type Species Burkholderia cepacia (Palleroni and Holmes 1981) comb. nov. *Microbiol Immunol*, 36(12), 1251-1275.
- Yelli, F. (2013). Induksi Pembentukan Kantong dan Pertumbuhan Dua Spesies Tanaman Kantong Semar (Nepenthes spp.) pada Berbagai Konsentrasi Media MS secara In Vitro. *Jurnal Agrotropika*, 18(2), 56-62.
- Yuan, J., Raza, W., Shen, Q., & Huang, Q. (2012). Antifungal activity of Bacillus amyloliquefaciens NJN-6 volatile compounds against Fusarium oxysporum f. sp. cubense. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(16), 5942.
- Zhang, X., Li, B., Wang, Y., Guo, Q., Lu, X., Li, S., & Ma, P. (2013). Lipopeptides, a novel protein, and volatile compounds contribute to the antifungal activity of the biocontrol agent Bacillus atrophaeus CAB-1. *Applied Microbial and Cell Physiology*, 97(21), 9525-9534.
- Zheng, L., Chen, H., Han, X., & Yan, X. (2005). Antimicrobial screening and active compound isolation from marine bacterium NJ6-3-1 associated with the sponge Hymeniacidon perleve. *World J Microbiol Biotechnol*, 21, 201-206.
- Zheng, L., Situ, J.-j., Zhu, Q. F., Xi, P.-g., Zheng, Y., Liu, H.-x., . . . Jiang, Z.-d. (2019). Dataset on collecting volatile compounds produced by three bacteria and testing their efficacy against the pathogen Peronophythora litchii. *Data in brief*, 155, 37-46.