

**PENGENDALIAN *Penicillium* sp. PENYEBAB BUSUK BUAH PADA
JERUK PASCAPANEN MENGGUNAKAN SENYAWA ANTIFUNGI DAN
MIKROORGANISME ANTAGONIS**

SKRIPSI

Oleh:

DEWI FATIMAH ALFAIZAH

NIM. 17620096



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2021**

**PENGENDALIAN *Penicillium* sp. PENYEBAB BUSUK BUAH PADA
JERUK PASCAPANEN MENGGUNAKAN SENYAWA ANTIFUNGI DAN
MIKROORGANISME ANTAGONIS**

SKRIPSI

Oleh:

DEWI FATIMAH ALFAIZAH

NIM. 17620096

Ditujukan Kepada:

Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam

Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

PROGRAM STUDI BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2021

**PENGENDALIAN *Penicillium* sp. PENYEBAB BUSUK BUAH PADA JERUK
PASCAPANEN MENGGUNAKAN SENYAWA ANTIFUNGI DAN
MIKROORGANISME ANTAGONIS**

SKRIPSI

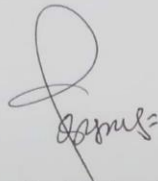
Oleh:

DEWI FATIMAH ALFAIZAH

NIM. 17620096

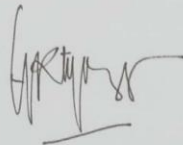
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
tanggal: 5 November 2021

Dosen Pembimbing I



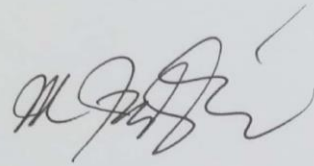
Prilya Dewi Fitriani, M.Sc
NIP. 19900428 2016080 1 2062

Dosen Pembimbing II



Ir. Mutia Erti Dwiastuti, M.S
NIP. 1958092419830 3 2001

Dosen Pembimbing III



Dr. M. Imamuddin, Lc., M.A
NIP. 197406022009011010

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi



Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

PENGENDALIAN *Penicillium* sp. PENYEBAB BUSUK BUAH PADA
JERUK PASCAPANEN MENGGUNAKAN SENYAWA ANTIFUNGI DAN
MIKROORGANISME ANTAGONIS

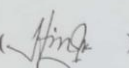
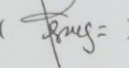
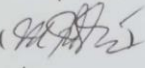
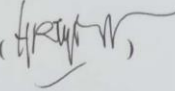
SKRIPSI

Oleh:

DEWI FATIMAH ALFAIZAH

NIM. 17620096

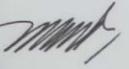
telah dipertahankan
di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 9 Desember 2021

Penguji Utama	: <u>Prof. Dr. Hj. Ulfah Utami, M.Si</u> () NIP. 19650509 199903 2 002
Ketua Penguji	: <u>Ir. Hj. Liliek Harianie A.R., M.P</u> () NIP. 19620901 199803 2 001
Sekretaris Penguji	: <u>Prilya Dewi Fitriyanti, M.Sc</u> () NIP. 199004282016080 1 2062
Anggota Penguji	: <u>Dr. H. M. Imamuddin, Lc., M.A</u> () NIP. 19740602 200901 1 010
Anggota Penguji	: <u>Ir. Mutia Erti Dwiastuti, M.S</u> () NIP. 19580924 19830 3 2001

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Biologi




Dr. Evika Sandi Savitri, M.P

NIP. 19741018 200312 2 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan kepada semua orang dan kerabat yang telah hadir dan berpengaruh banyak dalam kehidupan penulis, khususnya:

1. Bapak Tisno (Alm.) dan Ibu Hj. Maidah, kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan baik doa, semangat, dan materiil demi memberikan penulis ilmu yang berharga untuk dunia dan akhirat.
2. Mujahidin Ahmad, M.Sc selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dari awal hingga akhir studi.
3. Prilya Dewi Fitriarsi, M.Sc selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, pikiran, dan segala hal dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi.
4. Dr. M. Imamuddin, Lc., MA selaku dosen pembimbing agama yang telah banyak memberikan bimbingan kepada penulis terkait integrasi sains dan islam.
5. Ir. Mutia Erti Dwiastuti, MS selaku dosen pembimbing di Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika (Balitjestro) yang telah mengarahkan metode penelitian, perlakuan, pelaksanaan penelitian di laboratorium, dan memberi pendampingan pada perlakuan penelitian, serta adviser dalam penggunaan peralatan Laboratorium Pengujian Balitjestro.
6. Seluruh dosen Biologi UIN Malang beserta staf dan guru-guru penulis selama menempuh pendidikan yang telah memberikan banyak ilmu yang berharga untuk dunia dan akhirat.
7. Saudara dan saudari penulis serta seluruh kerabat yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama masa perkuliahan sampai proses penyelesaian skripsi.
8. Teman-teman Biologi 2017, Biologi C, dan juga teman-teman seperbimbingan skripsi yang selalu memberikan semangat serta bantuan kepada penulis untuk menyelesaikan studi dan skripsi ini dengan baik di tengah pandemi Covid-19.
9. Asisten laboratorium terpadu Balitjestro Kota Batu: Mbak Azizah, Mbak Nur, Mas Yogi, Ilmi serta seluruh staf yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

10. *Last but not least, I wanna thank me, I wanna thank me for believing in me, I wanna thank me for doing all this hard work, I wanna thank me for having no days off, I wanna thank me for never quitting, I wanna thank me for just being met at all times.*

Semoga Allah *Subhanahu WaTa'alla* memberikan balasan kebaikan yang berlimpah. Aamin.

MOTTO

“Berpikirlah positif, tidak peduli seberapa keras kehidupanmu.”

-Ali bin Abi Thalib

“وَأَعْلَمْ أَنَّ النَّصْرَ مَعَ الصَّبْرِ، وَأَنَّ الْفَرْجَ مَعَ الْكَرْبِ، وَأَنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا”

(HR. Tirmidzi)

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dewi Fatimah Alfaizah
NIM : 17620096
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengendalian *Penicillium* sp. Penyebab Busuk Buah pada
Jeruk Pascapanen menggunakan Senyawa Antifungi dan
Mikroorganisme Antagonis

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang, 5 November 2021

Yang membuat pernyataan,

Dewi Fatimah Alfaizah

NIM. 17620096

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar pustaka diperkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipannya hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

Pengendalian *Penicillium* sp. Penyebab Busuk Buah pada Jeruk Pascapanen Menggunakan Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis

Dewi Fatimah Alfaizah¹, Prilya Dewi Fitriasari¹, Mutia Erti Dwiastuti², M.

Imamuddin¹

¹Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang; ²Balai Penelitian Jeruk dan Buah Subtropika, Jl. Raya Tlekung No. 1, Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara tropis dikenal menjadi tempat yang baik bagi tumbuhnya berbagai jenis jeruk seperti jeruk manis dan lemon. Tingkat produksi dan konsumsi jeruk juga tinggi karena manfaatnya seperti kandungan vitamin C. Namun, buah jeruk mudah mengalami kerusakan khususnya akibat jamur jenis *Penicillium* sp. yang dapat menginfeksi melalui luka pada jeruk. Pengendalian jamur tersebut dapat dilakukan menggunakan fungisida sintetis namun terdapat masalah berupa residu pada buah yang membahayakan konsumen maupun lingkungan. Alternatif yang dapat dilakukan adalah menggunakan senyawa antifungi dan mikroorganisme bersifat antagonis terhadap *Penicillium* sp. karena dinilai lebih aman. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis yang paling efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. serta pengaruhnya terhadap kualitas buah jeruk manis dan lemon. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium. Metode yang digunakan meliputi uji *in-vitro* dan *in-vivo* serta pengukuran kualitas buah seperti kandungan gula, vitamin C, total asam, diameter, susut bobot, kekerasan, dan warna buah. Senyawa antifungi yang digunakan yaitu kitosan, asam salisilat, minyak sereh, sodium karbonat, dan bikarbonat. Mikroorganisme antagonis yang digunakan yaitu *Candida oleophila*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*, dan *T. asperellum*. Hasil uji *in-vitro* menunjukkan penghambatan *Penicillium* sp. paling baik terdapat pada asam salisilat dan *T. asperellum*. Hasil terbaik uji *in-vivo* pada jeruk manis terdapat pada perlakuan asam salisilat, minyak sereh, sodium karbonat, sodium bikarbonat, dan *C. oleophila*; pada jeruk lemon terdapat pada perlakuan minyak sereh dan *C. oleophila*. Hasil uji kualitas buah menunjukkan bahwa senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis berpengaruh terhadap semua parameter kualitas buah jeruk kecuali tingkat kekerasan dan warna buah.

Kata kunci: jeruk, mikroorganisme antagonis, *Penicillium* sp., senyawa antifungi

Control of *Penicillium* sp. Causes of Fruit Rot in Postharvest Citrus Using Antifungal Compounds and Antagonist Microorganisms

Dewi Fatimah Alfaizah¹, Prilya Dewi Fitriasari¹, Mutia Erti Dwiastuti², M.

Imamuddin¹

¹Biology Study Program, Faculty of Science and Technology, State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang; ²Indonesian Citrus and Subtropical Fruit Research Institute, Jl. Raya Tlekung No. 1, Junrejo, Batu City, East Java

ABSTRACT

Indonesia as a tropical country is known to be a good place for the growth of various types of oranges such as sweet oranges and lemons. The level of production and consumption of oranges is also high because of its benefits such as vitamin C content. However, citrus fruits are easily damaged, especially due to the fungus *Penicillium* sp. which can infect through wounds on oranges. Control of the fungus can be done using synthetic fungicides, but there are problems in the form of residues on the fruit that harm consumers and the environment. An alternative that can be done is to use antifungal compounds and microorganisms that are antagonistic to *Penicillium* sp. because it is considered safer. This study aims to determine the most effective antifungal compounds and antagonistic microorganisms in controlling *Penicillium* sp. and its effect on the quality of sweet oranges and lemons. This research is a laboratory experimental research. The methods used include in-vitro and in-vivo tests and measurements of fruit quality such as sugar content, vitamin C, total acid, diameter, weight loss, hardness, and fruit color. The antifungal compounds used are chitosan, salicylic acid, citronella oil, sodium carbonate, and sodium bicarbonate. The antagonist microorganisms used were *Candida oleophila*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*, and *T. asperellum*. The in-vitro test results showed the best inhibition of *Penicillium* sp. is from salicylic acid and *T. asperellum*. The best results of the in-vivo test on sweet oranges were found in the treatment of salicylic acid, lemongrass oil, sodium carbonate, sodium bicarbonate, and *C. oleophila*; in lemons were found in the treatment of citronella oil and *C. oleophila*. The results of the fruit quality test showed that antifungal compounds and antagonistic microorganisms affected all citrus fruit quality parameters except the level of hardness and fruit color.

Keywords: *antagonistic microorganisms, antifungal compounds, citrus, Penicillium* sp.

سيطرة على *Penicillium sp.* المسبب عفن الفاكهة في البرتقال بعد الحصاد باستخدام مركبات المضادة للفطريات والكائنات الدقيقة المضادة

ديوي فاطمة الفائزة، بريليا ديوي فطريا ساري، مطبعة أيرتي دوي أستوتي، محمد إمام الدين

الملخص

اشتهر إندونيسيا كدولة استوائية بأنها مكان جيد لنمو أنواع مختلفة من البرتقال مثل برتقال حلو وليمون كما يعد أن مستوى الإنتاج واستهلاك البرتقال مرتفع لفوائد منه مثل محتوى فيتامين سي. للأسف، يتلف البرتقال بسهولة خاصة بسبب الفطريات هي *Penicillium sp.* التي تستطيع أن تلتهم البرتقال من خلال جرح الفطريات. سيطرة الفطريات باستخدام مبيدات الفطريات الاصطناعية ولكن هناك مشكلة بأن توجد البقية فيها وهي تضر المستهلكين والبيئة حولها. والبديل الممكن هو استخدام المركبات المضادة للفطريات والكائنات الدقيقة المضادة للفطريات على *Penicillium sp.* لأنه يظن أكثر أمانا. وتهدف هذا البحث لمعرفة أي المركبات المضادة للفطريات والكائنات الدقيقة المضادة للفطريات التي أكثر فعالية لسيطرة *Penicillium sp.* وتأثيره على جودة برتقال حلو وليمون. هذا البحث هو من نوع البحث التجريبي العملي. والطريقة المستخدمة هي باختبار *in-vitro* و *in-vivo* و بقياس جودة الثمرة مثل محتوى السكر وفيتامين سي ومجموع الحمضية وقطر الدائرة وفقدان الوزن والصلابة ولون الفاكهة. وكانت المركبات المضادة للفطريات المستخدمة هي الشيتوزان وحمض الساليسيليك وزيت السترونيلا وكربونات الصوديوم والبيكربونات. وكانت الكائنات الدقيقة المضادة المستخدمة هي *Candida oleophila* و *Bacillus subtilis* و *Pseudomonas fluorescens* و *Trichoderma harzianum* و *T. asperellum*. وتدل نتائج اختبار *in-vitro* إلى وجود منع *Penicillium sp.* الأفضل في *T. asperellum*. وخير نتائج اختبار *in-vivo* على البرتقال الحلو هو في معالجة حمض الساليسيليك وزيت السترونيلا وكربونات الصوديوم وبيكربونات الصوديوم، و *C. oleophila*. وعلى الليمون هو في معالجة زيت السترونيلا و *C. oleophila*. وتدل نتائج اختبار جودة الثمرة إلى أن المركبات المضادة للفطريات والكائنات الدقيقة المضادة لها تأثير على جميع معايير جودة البرتقال إلا مستوى الصلابة ولون الثمرة.

الكلمات المفتاحية: البرتقال، الكائنات الدقيقة المضادة، *Penicillium sp.*، المركبات المضادة للفطريات

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW karena berkat Beliau yang telah menuntun umat manusia keluar dari zaman jahiliyyah menuju zaman yang terang benderang.

Selanjutnya penulis ucapkan terimakasih seiring do'a dan harapan kepada semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P., selaku Ketua Program Studi Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Mujahidin Ahmad, M.Sc, selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan kepada penulis dari awal hingga akhir studi.
5. Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan banyak waktu, tenaga, pikiran, dan segala hal dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi.
6. Dr. M. Imamuddin, Lc., M.A., selaku dosen pembimbing agama yang telah banyak memberikan bimbingan terkait integrasi sains dan islam.
7. Ir. Mutia Erti Dwiastuti, MS selaku dosen pembimbing di Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika (Balitjestro) yang telah mengarahkan metode penelitian, perlakuan, pelaksanaan penelitian di laboratorium, dan memberi pendampingan pada perlakuan penelitian, serta adviser dalam penggunaan peralatan Laboratorium Pengujian Balitjestro.

8. Prof. Dr. Ulfah Utami, M.Si. dan Ir. Liliek Harianie AR, M.P. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
9. Kedua orang tua penulis, Bapak Tisno (Alm.) dan Ibu Hj. Maidah yang selalu memberikan do'a dan dukungan baik moril maupun materiil dalam proses menuntut ilmu.
10. Saudara dan saudari penulis serta seluruh kerabat yang telah mendukung dan mendoakan penulis selama masa perkuliahan sehingga dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.
11. Seluruh teman-teman penulis khususnya Biologi 2017 dan Biologi C yang selalu memberikan dukungannya kepada penulis selama masa perkuliahan sehingga dapat menyelesaikan studi ini dengan baik.

Penulis menyadari dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Akhirul kalam. Wassalamua'laikum Wr. Wb.*

Malang, Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
المُلخَص.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Hipotesis.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kajian Islam Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis.....	8
2.2 Jeruk	10
2.2.1 Jeruk Manis	10
2.2.2 Jeruk Lemon.....	11
2.3 <i>Penicillium</i> sp.	12
2.3.1 <i>Penicillium digitatum</i>	13
2.3.2 <i>Penicillium italicum</i>	15
2.4 Infeksi <i>Penicillium</i> sp. pada Jeruk Pascapanen	16
2.5 Standar Kualitas Jeruk Pascapanen	17

2.6 Perawatan Buah Jeruk Pascapanen.....	19
2.7 Senyawa Antifungi	20
2.7.1 Kitosan	21
2.7.2 Asam Salisilat	21
2.7.3 Minyak Sereh	22
2.7.4 Sodium Karbonat dan Sodium Bikarbonat	23
2.8 Mikroorganisme Antagonis	24
2.8.1 <i>Candida oleophila</i>	24
2.8.2 <i>Bacillus subtilis</i>	25
2.8.3 <i>Pseudomonas fluorescens</i>	26
2.8.4 <i>Trichoderma harzianum</i> dan <i>T. asperellum</i>	26
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1 Rancangan Penelitian	29
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	29
3.3 Alat dan Bahan	29
3.3.1 Alat.....	29
3.3.2 Bahan	30
3.4 Prosedur Penelitian.....	30
3.4.1 Isolasi dan Karakterisasi <i>Penicillium</i> sp.	30
3.4.2 Pembuatan Suspensi <i>Penicillium</i> sp.....	31
3.4.3 Pembuatan Larutan Senyawa Antifungi.....	31
3.4.4 Pembuatan Suspensi Mikroorganisme Antagonis.....	31
3.4.5 Uji Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. menggunakan Senyawa Antifungi.....	32
3.4.5.1 Uji pengendalian <i>Penicillium</i> sp. secara <i>in-vitro</i>	32
3.4.5.2 Uji Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. secara <i>in-vivo</i>	33
3.4.6 Uji Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. menggunakan Mikroorganisme Antagonis.	34
3.4.6.1 Uji pengendalian <i>Penicillium</i> sp. secara <i>in-vitro</i>	34
3.4.6.2 Uji Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. secara <i>in-vivo</i>	35
3.4.7 Pengaruh Pengendalian Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antgonis terhadap Kualitas Buah	36
3.5 Analisis Data	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. pada Jeruk Pascapanen menggunakan Senyawa Antifungi	39

4.1.1 Persentase penghambatan <i>Penicillium</i> sp. oleh senyawa antifungi secara <i>in-vitro</i>	39
4.1.2 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. menggunakan senyawa antifungi secara <i>in-vivo</i>	42
4.2 Pengendalian <i>Penicillium</i> sp. pada Jeruk Pascapanen Menggunakan Mikroorganisme Antagonis	46
4.2.1 Persentase penghambatan <i>Penicillium</i> sp. oleh mikroorganisme antagonis secara <i>in-vitro</i>	46
4.2.2 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. menggunakan mikroorganisme antagonis secara <i>in-vivo</i>	50
4.3 Pengaruh pengendalian <i>Penicillium</i> sp. dengan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis terhadap kualitas buah jeruk	54
4.3.1 Pengaruh pemberian senyawa antifungi terhadap kualitas buah jeruk	54
4.3.2 Pengaruh pemberian mikroorganisme antagonis terhadap kualitas buah jeruk	65
BAB V PENUTUP	75
5.1 Kesimpulan	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	77
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Struktur buah <i>Citrus sinensis</i>	10
2.2 Tipe konidiofor <i>Penicillium</i>	12
2.3 Gejala <i>green mold</i> akibat <i>P. digitatum</i>	13
2.4 Gejala <i>blue mold</i> akibat <i>P. italicum</i>	14
2.5 Segitiga penyakit akibat <i>P. digitatum</i> dan <i>P. italicum</i> pada jeruk pascapanen	16
3.1 Diagram uji <i>in-vitro</i>	31
4.1 Persentase penghambatan <i>Penicillium</i> sp. menggunakan senyawa antifungi..	37
4.2 Pengamatan mikroskopis <i>Penicillium</i> sp. dengan perlakuan menggunakan senyawa antifungi	39
4.3 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. pada jeruk manis menggunakan senyawa antifungi	40
4.4 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. pada jeruk lemon menggunakan senyawa antifungi	40
4.5 Hasil uji senyawa antifungi pada jeruk manis secara <i>in-vivo</i>	42
4.6 Hasil uji senyawa antifungi pada jeruk lemon secara <i>in-vivo</i>	43
4.7 Persentase penghambatan <i>Penicillium</i> sp. menggunakan mikroorganisme antagonis	44
4.8 Pengamatan mikroskopis <i>Penicillium</i> sp. dengan perlakuan menggunakan mikroorganisme antagonis	46
4.9 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. pada jeruk manis menggunakan mikroorganisme antagonis	47
4.10 Intensitas serangan <i>Penicillium</i> sp. pada jeruk lemon menggunakan mikroorganisme antagonis	48
4.11 Hasil uji mikroorganisme antagonis pada jeruk manis secara <i>in-vivo</i>	49
4.12 Hasil uji mikroorganisme antagonis pada jeruk lemon secara <i>in-vivo</i>	50
4.13 Kadar gula jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi.....	51
4.14 Kadar gula jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi.....	52
4.15 Kandungan total asam jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi...52	
4.16 Kandungan total asam jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi...53	
4.17 Kandungan vitamin C jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi...54	
4.18 Kandungan vitamin C jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi...54	
4.19 Susut bobot buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi.....55	
4.20 Susut bobot buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi.....55	
4.21 Perbedaan diameter buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi56	
4.22 Perbedaan diameter buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi57	
4.23 Tingkat kekerasan buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi.58	
4.24 Tingkat kekerasan buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi.58	
4.25 Kandungan gula buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	61
4.26 Kandungan gula buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis	62
4.27 Kandungan total asam buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	63

4.28 Kandungan total asam buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	63
4.29 Kandungan vitamin C buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	64
4.30 Kandungan vitamin C buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis	64
4.31 Susut bobot buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagoni	65
4.32 Susut bobot buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagon	65
4.33 Perbedaan diameter buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	66
4.34 Perbedaan diameter buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	67
4.35 Tingkat kekerasan buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	68
4.36 Tingkat kekerasan buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Penelitian	81
Lampiran 2. Contoh Rumus Perhitungan Penghambatan Jamur	82
Lampiran 3. Data Penelitian.....	84
Lampiran 4. Gambar Penelitian	88
Lampiran 5. Kartu Konsultasi Biologi	89
Lampiran 6. Kartu Konsultasi Agama	90

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jeruk (*Citrus* sp.) adalah salah satu buah yang populer di dunia dan dapat ditanam di dataran tinggi maupun rendah (Kusumaningrum *et al.*, 2018). Kepopuleran jeruk menempati posisi kedua setelah pisang dilihat berdasarkan volume produksi tiap tahunnya (Etebu and Nwauzoma, 2014). Produksi jeruk di seluruh dunia berdasarkan data *Food and Agriculture Organization of the United Nations* tahun 2016 mencapai 124.246 ton dengan wilayah produksi paling tinggi berada di Cina, Mainland sebesar 32.705 ton. Produksi jeruk di Indonesia pada tahun yang sama mencapai 1.574 ton (FAO, 2017).

Secara umum di Indonesia terdapat tiga varietas jeruk lokal yang dibudidayakan seperti jeruk bali atau pummelo, jeruk keprok atau jeruk mandarin, dan jeruk manis atau tangerine (Indrastuti *et al.*, 2020). Salah satu jenis jeruk yang populer di Indonesia adalah jeruk manis Pacitan (*Citrus sinensis*) dari daerah Pacitan Jawa Timur yang memiliki rasa paling manis diantara kelompok yang lain (Sutopo, 2015). Jeruk manis jenis ini merupakan salah satu jenis jeruk yang diketahui menjadi unggulan di tingkat daerah maupun tingkat nasional (Martasari and Mulyanto, 2008). Jenis jeruk lain yaitu lemon juga menjadi jeruk yang populer di Indonesia. Tingkat permintaan lemon juga meningkat seiring dengan berkembangnya gaya hidup sehat (Rahimah, 2016).

Keragaman jenis buah jeruk tersebut dan buah-buahan lainnya di muka bumi tentunya tidak terlepas dari kehendak Allah SWT. Salah satu manfaat diciptakannya buah adalah agar dapat dimanfaatkan manusia sebagai pemenuhan kebutuhan hidup dan juga sebagai bentuk rasa syukur dengan mengingat Allah SWT sebagai satu-satunya pencipta. Penciptaan berbagai macam buah telah disebutkan dalam QS: An-Nahl [16]:11 yang berbunyi:

يُنَبِّتُ لَكُمْ بِهِ الزَّرْعَ وَالزَّيْتُونَ وَالنَّخِيلَ وَالْأَعْنَابَ وَمِنْ كُلِّ الثَّمَرَاتِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ (١١)

Artinya: “Dengan (air hujan) itu Dia menumbuhkan untuk kamu tanam-tanaman, zaitun, kurma, anggur, dan segala macam buah-buahan. Sungguh, pada

yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berfikir”.

Makna yang terkandung pada ayat tersebut menunjukkan bahwa segala macam jenis tumbuhan yang bermanfaat adalah ciptaan Allah SWT dengan diturunkannya hujan ke muka bumi. Salah satu bentuk kekuasaan Allah SWT yang tidak terbatas dengan tujuan agar manusia mengetahuinya adalah dari diciptakannya buah yang beraneka ragam. Kekuasaan Allah SWT melalui air hujan tersebut adalah untuk menumbuhkan berbagai macam tanaman dan buah-buahan dengan berbagai bentuk, warna, dan rasanya. Maksud dari penciptaan tersebut adalah agar orang yang melihatnya tahu bahwa semua itu pasti diciptakan oleh satu-satunya Zat Yang Maha sempurna yang berhak disembah dan tidak bisa disaingi oleh zat-zat yang lain (Kemenag, 2021) sehingga melalui penelitian ini manusia yang membacanya dapat selalu mengingat keberadaan Allah SWT.

Jeruk menjadi buah yang terkenal akan manfaatnya karena menjadi sumber vitamin C. Kandungan vitamin C pada jeruk merupakan antioksidan alami yang membangun sistem imun tubuh (Hernández *et al.*, 2016). Karena manfaat tersebut, tingkat konsumsi jeruk juga meningkat khususnya selama pandemi Covid-19 karena manusia membutuhkan sumber vitamin C yang tinggi (Dwiastuti *et al.*, 2021). Selain vitamin, jeruk juga menjadi sumber utama nutrisi fitokimia penting serta mineral yang bermanfaat bagi kesehatan tubuh (Etebu and Nwauzoma, 2014). Banyaknya manfaat yang diperoleh dari jeruk menyebabkan kebutuhan akan konsumsi jeruk juga meningkat. Namun diketahui buah jeruk pascapanen seperti lemon mudah mengalami kerusakan karena beberapa faktor, salah satunya adalah karena terjadi pembusukan dan adanya pertumbuhan jamur yang mencapai 18-25% (Makavana *et al.*, 2018).

Jamur yang ditemukan menjadi penyebab kerusakan pada jeruk pascapanen adalah dari spesies *Penicillium digitatum* dan *P. italicum* (Palou, 2014). *Penicillium digitatum* diketahui menginfeksi buah yang telah mengalami kerusakan atau luka akibat faktor lingkungan. Proses infeksi terjadi melalui pori kulit jeruk menuju kelenjar minyak dan selanjutnya pengambilan nutrisi untuk stimulasi germinasi spora (Costa *et al.*, 2019). Kedua spesies tersebut diketahui menjadi patogen yang hanya dapat menginfeksi buah melalui luka yang terdapat

pada kulit buah selama masa panen atau setelah panen yaitu ketika proses pengangkutan. Spora dari jamur tersebut mudah menyebar melalui udara sehingga dapat menginfeksi jeruk lainnya secara luas (Palou *et al.*, 2015).

Tingkat kerusakan secara umum yang diakibatkan oleh *Penicillium* sp. yaitu sekitar 10-30%. Tingkat kerusakan pada jeruk juga akan meningkat pada kondisi yang lebih parah hingga mencapai 50%. Kerusakan yang terjadi pada buah jeruk tersebut tentunya akan menurunkan kualitas dari buah serta menyebabkan kerugian ekonomi yang besar terutama di negara berkembang (Chen *et al.*, 2019). Kerusakan pada jeruk akibat jamur disebabkan oleh beberapa faktor seperti kurangnya perawatan selama proses pemanenan, cara distribusi yang salah, dan tempat penyimpanan yang tidak memadai (Makavana *et al.*, 2018). Penanganan pascapanen yang tidak tepat tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas buah yang dapat menyebabkan perubahan aspek fisiologi yang berpengaruh terhadap nilai nutrisi buah (Nofriati and Nur, 2015). Kualitas buah yang perlu diperhatikan agar dapat diterima oleh konsumen antara lain kesegaran, aroma, warna, dan rasa dari buah (Dewi *et al.*, 2020). Melihat pentingnya kualitas buah bagi konsumen maka diperlukan sebuah pengendalian untuk mencegah kerusakan akibat jamur pada buah jeruk serta dalam mempertahankan kualitas buah (Ismail and Jiuxu, 2004).

Pengendalian infeksi *Penicillium* sp. penyebab kerusakan pada buah jeruk tersebut dapat dilakukan dengan agen fungisida sintetis seperti imazalil dan thiabendazole (Ismail and Jiuxu, 2004). Penggunaan fungisida dianggap menjadi sarana utama dalam pengendalian jamur pada buah dan sayur pascapanen, namun diketahui dalam penggunaan jangka panjang ditemukan adanya hambatan. Hambatan tersebut terkait perhatian masyarakat mengenai kontaminasi pada makanan akibat residu fungisida yang berbahaya bagi manusia maupun hewan (Subedi *et al.*, 2016). Residu yang tertinggal pada buah juga dapat merusak tanah serta lingkungan (Droby *et al.*, 2015). Melihat hal tersebut serta adanya persyaratan keamanan pangan pasar global untuk dapat mengembangkan strategi dalam hal pengendalian penyakit khususnya jamur pada buah di Indonesia (Dwiastuti *et al.*, 2021) sehingga kedepannya dibutuhkan pengujian pengendalian alternatif yang tentunya lebih aman untuk digunakan (Youssef and Ayat, 2020).

Alternatif pengendalian jamur patogen pada buah jeruk pascapanen dapat dilakukan menggunakan senyawa antifungi yang secara selektif dapat membunuh jamur patogen dari inang dengan toksisitas yang minimal (Baron, 1996). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menggali potensi bahan alami sebagai alternatif, seperti studi yang dilakukan oleh Antunes *et al.* (2012), penggunaan *essential oil* serta konstituennya seperti minyak sereh secara *in-vivo* dapat berperan sebagai antimikroba dan antioksidan untuk ditambahkan ke dalam pelapis buah. Bahan lain yang juga dilaporkan secara *in-vivo* dapat melindungi jeruk dari penyakit akibat *P. digitatum* dan *P. italicum* adalah kitosan (El-Mohamedy *et al.*, 2015) serta asam salisilat yang diketahui secara signifikan dapat mengurangi germinasi spora *P. digitatum* pada jeruk (Akbar *et al.*, 2018). Kitosan secara *in-vitro* juga diketahui dapat mempengaruhi pertumbuhan miselium, sporulasi, serta perubahan morfologi jamur. Alternatif lain seperti sodium karbonat dan bikarbonat secara *in-vivo* diketahui dapat memberikan efek antifungi secara langsung pada *P. digitatum* dan menginduksi respon pertahanan penyakit pascapanen (Youssef *et al.*, 2014).

Pengendalian jamur patogen pada jeruk juga dapat dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme antagonis yang memiliki kemampuan dalam menghambat sampai membunuh patogen (Hanudin dan Budi, 2012). Mikroorganisme antagonis yang dapat digunakan adalah *Candida oleophila* yang diketahui secara *in-vivo* dapat mengurangi penyebaran infeksi akibat jamur pada jeruk melalui induksi resistensi (Droby *et al.*, 2002). Spesies lain dari jenis bakteri yang bersifat antagonis yaitu *Bacillus subtilis* yang diketahui secara *in-vitro* dapat menghambat miselia dan germinasi spora *P. digitatum* serta dari hasil *in-vivo* diketahui dapat digunakan sebagai biokontrol pengendali pembusukan jeruk pascapanen (Mohammadi *et al.*, 2017). Spesies bakteri antagonis lain yang diketahui secara *in-vivo* memiliki potensi menghambat germinasi spora *P. digitatum* pada jeruk pascapanen adalah *Pseudomonas fluorescens* (Wang *et al.*, 2018). Mikroorganisme antagonis lain dari jenis jamur seperti *Trichoderma harzianum* secara *in-vitro* diketahui secara efektif dapat menghambat pertumbuhan fitopatogen *P. digitatum* (Hussain, 2018). Selain itu, juga terdapat jenis *T. asperellum* yang memiliki kemampuan yang tinggi sebagai agen

biokontrol melalui produksi enzim litik berdasarkan uji *in-vitro* (El-Komy *et al.*, 2015).

Eksplorasi senyawa antifungi asal bahan alami diharapkan dapat digunakan secara aman menggantikan fungisida sintetis dalam mengendalikan pembusukan pada jeruk akibat jamur (El-Mohamedy *et al.*, 2015). Selain senyawa antifungi tersebut, penggunaan mikroorganisme antagonis juga diharapkan dapat digunakan sebagai alternatif dalam pengendalian jamur patogen dan mengurangi dampak kerusakan lingkungan (Pimenta *et al.*, 2010). Pengujian kedua alternatif tersebut dilakukan secara *in-vitro* dan *in-vivo* untuk mengetahui kemampuan dalam menghambat *Penicillium* sp. serta persentase serangan *Penicillium* sp. yang terbentuk setelah diberi pengendalian alternatif tersebut. Berdasarkan uraian di atas, maka penting untuk dilakukan penelitian mengenai kemampuan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis sebagai alternatif pengendali busuk buah pada jeruk pascapanen akibat *Penicillium* sp..

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apa senyawa antifungi yang paling efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. penyebab busuk buah jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*?
2. Apa mikroorganisme antagonis yang paling efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. penyebab busuk buah jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis dalam mengendalikan *Penicillium* sp. terhadap susut bobot, diameter, tingkat kekerasan, kandungan gula, total asam, vitamin C, dan warna buah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui senyawa antifungi yang paling efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. penyebab busuk buah jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*.

2. Untuk mengetahui mikroorganisme antagonis yang paling efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. penyebab busuk buah jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis dalam mengendalikan *Penicillium* sp. terhadap susut bobot, diameter, tingkat kekerasan, kandungan gula, total asam, vitamin C, dan warna buah.

1.4 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini yaitu:

1. Senyawa antifungi efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*.
2. Mikroorganisme antagonis efektif dalam mengendalikan *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen secara *in-vitro* dan *in-vivo*.
3. Senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis memberikan pengaruh terhadap susut bobot, diameter, tingkat kekerasan, kandungan gula, total asam, vitamin C, dan warna buah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari adanya penelitian ini adalah:

1. Sumber informasi bagi mahasiswa, peneliti, serta masyarakat terkait senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis yang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti fungisida dalam pengendalian *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen.
2. Referensi bagi peneliti selanjutnya bahwa penggunaan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis dapat menjadi alternatif dalam pengendalian *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel jeruk yang digunakan adalah jeruk manis yang didapatkan dari Kebun Percobaan Banaran (*Banaran Experimental Garden* (ICSFRI)) dan jeruk lemon yang didapatkan dari Kebun Percobaan Tlekung Balitjestro Kota Batu.
2. Jamur patogen yang digunakan didapatkan dari isolasi buah jeruk pascapanen dengan gejala busuk *Penicillium* sp.

3. Senyawa antifungi yang digunakan yaitu kitosan dengan konsentrasi (4%), asam salisilat (25 mM), minyak sereh (6%), sodium karbonat (400 mM), dan sodium bikarbonat (400 mM).
4. Mikroorganisme antagonis yang digunakan yaitu isolat *Candida oleophila* yang didapatkan dari koleksi isolat InaCC LIPI, isolat *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, dan *Trichoderma asperellum* yang didapatkan dari koleksi isolat Balitjestro Kota Batu.
5. Pengamatan dilakukan secara *in-vitro* dan *in-vivo*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Islam Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis

Pengendalian penyakit busuk buah akibat *Penicillium* sp. pada buah jeruk pascapanen sangat penting dilakukan untuk mengurangi resiko kerusakan dan meningkatkan kualitas dan umur simpan buah (Ismail and Jiuxu, 2004). Awalnya pengendalian *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen dilakukan dengan agen antifungi berupa fungisida. Fungisida sintetis yang digunakan khususnya pada jeruk antara lain imazalil, thiabendazole, fludioxonil, pyrimethanil, sodium orthophenyl phenate, dan campuran dari senyawa-senyawa tersebut. Penggunaan senyawa-senyawa fungisida tersebut sayangnya diketahui memberikan dampak negatif seperti resistensi pada jamur (Talibi *et al.*, 2014). Dampak lain yang ditimbulkan yaitu pada aspek kesehatan konsumen dan lingkungan karena adanya residu bahan kimia yang tertinggal pada buah serta tanah sekitar (Droby *et al.*, 2015).

Alternatif lain yang dapat digunakan sebagai pengganti fungisida sintetis adalah bahan pengendalian yang bersifat antifungi dan juga mikroorganisme yang bersifat antagonis terhadap patogen. Pengendalian tersebut dipilih karena dianggap relatif aman bagi lingkungan dan memiliki sifat toksisitas yang rendah sehingga dapat menggantikan fungisida sintetis dan harapan kedepannya dapat digunakan secara aman oleh konsumen (Bazioli *et al.*, 2019). Alasan lain digunakannya pengendalian alternatif tersebut adalah karena keduanya tersedia di alam dan selanjutnya tinggal bagaimana manusia sebagai makhluk yang berakal memanfaatkannya yaitu dalam hal kebaikan antar manusia dan lingkungan. Ketersediaan bahan-bahan yang bermanfaat seperti disebutkan sebelumnya telah dijelaskan oleh Allah SWT dalam QS: Al-Baqarah [2]: 29, yang berbunyi:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ اسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ ۚ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ

Artinya: “Dialah (Allah) yang menciptakan segala apa yang ada di bumi untukmu kemudian Dia menuju ke langit, lalu Dia menyempurnakannya menjadi tujuh langit. Dan Dia Maha Mengetahui segala sesuatu”.

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT sebagai Tuhan yang patut disembah dan ditaati merupakan satu-satunya pencipta segala hal yang ada di muka bumi. Semua ciptaan-Nya tersebut merupakan bentuk karunia yang besar untuk kemaslahatan manusia, kemudian bersamaan dengan penciptaan bumi dan segala manfaatnya, Allah SWT juga menciptakan langit dan menyempurnakannya (Kemenag, 2021). Salah satu bentuk ciptaan Allah SWT tersebut yaitu senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis seperti yang akan digunakan dalam penelitian ini. Penciptaan kedua bahan tersebut tentunya memiliki manfaat yang besar sehingga perlu untuk diulas lebih lanjut pada penelitian ini. Seperti yang diketahui, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keefektifan kedua bahan tersebut dalam mengendalikan *Penicillium* sp. Setelah diketahui keefektifan kedua bahan tersebut maka diharapkan dapat digunakan untuk menggantikan fungisida sintesis yang berbahaya bagi konsumen dan lingkungan karena keduanya dianggap lebih aman bagi manusia sebagai konsumen serta bagi lingkungan sekitar sehingga kelestariannya tetap terjaga.

Jenis mikroorganisme antagonis yang digunakan untuk mengendalikan *Penicillium* sp. salah satunya adalah *B. subtilis*. Bakteri tersebut diketahui memiliki aktivitas biokontrol dengan memproduksi senyawa antifungi dan endospora resisten (Mendizabal *et al.*, 2011). Selain bakteri tersebut, kandidat senyawa antifungi yaitu minyak sereh memiliki aktivitas antifungi dengan menghambat pertumbuhan jamur patogen (Subedi *et al.*, 2016). Kedua pengendalian tersebut serta pengendalian lain yang digunakan dalam penelitian ini telah tersedia di alam, tinggal bagaimana manusia untuk memanfaatkannya agar dapat dimanfaatkan manusia sebagai konsumen secara luas. Terkait manfaat yang didapatkan dari pengendalian tersebut telah dijelaskan oleh Allah SWT dalam QS: Sad [38]: 27 yang berbunyi:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَاطِلًا ۚ ظَنَّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ (٢٧)

Artinya: "Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dengan sia-sia. Itu anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang yang kafir itu karena mereka akan masuk neraka".

Ayat diatas menjelaskan bahwasanya Allah SWT tidak menjadikan sia-sia segala sesuatu yang ada di langit, bumi, dan mahluk di dalamnya. Langit dengan bintang yang menghiasinya serta matahari dan bulan yang nampak pada waktunya masing-masing sangat bermanfaat bagi manusia. Bumi sebagai tempat hidup mahluk hidup dengan segala isinya baik yang terlihat di permukaan atau yang berada di dalam perut bumi memberikan pengaruh yang besar bagi kehidupan manusia. Semua ciptaan Allah SWT tersebut adalah rahmat yang tidak ternilai harganya. Apabila orang-orang mau melihat dan mengamati segala ciptaan yang ada di seluruh alam ini tentu mereka akan mengetahui bahwa semua mahluk yang ada berpegang pada aturan yang berlaku (Kemenag, 2021).

2.2 Jeruk

2.2.1 Jeruk Manis

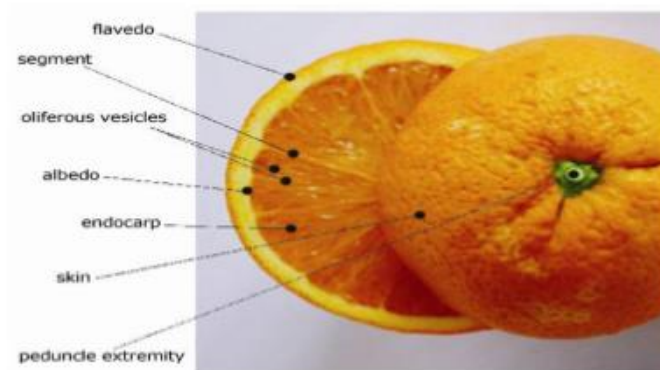
Jeruk manis adalah kelompok kultivar terbesar yaitu sekitar 70% dari jeruk yang ditanam di seluruh dunia. Jeruk manis dengan nama ilmiah *Citrus sinensis* merupakan tanaman asli Asia yang tersebar di seluruh wilayah pasifik dan daerah dengan cuaca yang hangat (Hernández *et al.*, 2016). Di Indonesia, produksi jeruk setiap tahunnya mencapai dua ton dengan tingkat konsumsi pada 2018 hampir mencapai 2,76 sampai 2,45 ton. Tanaman jeruk di Indonesia biasanya ditanam di derah dataran tinggi maupun dataran rendah (Kusumaningrum *et al.*, 2018).

Klasifikasi jeruk manis *Citrus sinensis* (Perea, 2016):

Kingdom : Plantae
 Subkingdom : Tracheobionta
 Division : Magnoliophyta
 Class : Magnoliopsida
 Subclass : Rosidae
 Order : Sapindales
 Family : Rutaceae
 Genus : Citrus
 Species : *Citrus sinensis*

Jeruk manis memiliki pohon berukuran kecil setinggi 7,5 m dan beberapa juga ditemukan mencapai 15 m. Spesies ini memiliki daun tunggal berwarna hijau tua berbentuk oval dengan permukaan yang licin agak mengkilap (Tuasamu,

2018). Jeruk manis memiliki buah berbentuk bulat sampai lonjong dengan lebar 6,5-9,5 cm. buah matang berwarna oranye atau kuning. Secara anatomi, buah terdiri dari dua bagian yang berbeda yaitu perikarp dan endokarp. Perikarp disebut juga kulit, sedangkan endokarp terdiri atas pulp dan kantung jus (Etebu and Nwauzoma, 2014). Struktur buah jeruk mulai dari kulit sampai endocarp disajikan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Struktur buah *Citrus sinensis* (Goudeau *et al.*, 2008)

2.2.2 Jeruk Lemon

Jeruk lemon adalah kultivar jeruk terbesar ketiga di dunia setelah jeruk manis dan mandarin. Produksi tahunan lemon mencapai 123 juta ton pada 2010 di seluruh dunia (Makni *et al.*, 2018). Jeruk lemon adalah tanaman pohon dengan daun yang hijau sepanjang tahun. Tinggi pohon dari jeruk lemon dapat mencapai 2,5-3 m. Buah lemon memiliki ciri berupa warna kulit yang hijau saat masih muda dan kuning ketika matang dengan bentuk memanjang atau lonjong. Buah dibagi menjadi dua bagian yaitu perikarp dan endokarp. Perikarp buah ini dilapisi lilin (disebut eksokarp), di bagian bawahnya terdapat bagian terluar mesokarp dikenal dengan flavedo. Bagian ini terdiri atas vesikula minyak dan karotenoid. Bagian dalam mesokarp disebut dengan albedo yang terbuat dari spons dan merupakan jaringan parenkim putih (Szczykutowicz *et al.*, 2020).

Klasifikasi jeruk lemon *Citrus limon* (Dev and Shrivastava, 2016):

Kingdom : Plantae
 Subkingdom : Tracheobionta
 Superdivision : Spermatophyta
 Division : Magnoliophyta

Class : Magnoliopsida
 Subclass : Rosidae
 Order : Sapindales
 Family : Rutaceae
 Genus : Citrus
 Species : *Citrus limon*

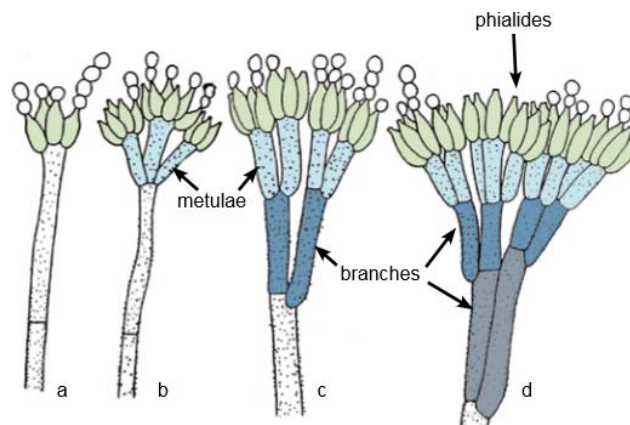
Jeruk lemon banyak dimanfaatkan sebagai buah segar, namun lebih banyak diolah oleh industri makanan menjadi selai, minuman, es krim, makanan penutup, dan juga diekstrak untuk diambil minyaknya (Matteo *et al.*, 2021). Lemon diketahui kaya akan senyawa alami penting seperti asam sitrat, asam askorbat, mineral, flavonoid, dan minyak penting (Makni *et al.*, 2018). Senyawa flavonoid yang ditemukan pada jeruk lemon yang membedakannya dengan varietas jeruk lain adalah neohesperidin, naringin, dan hesperidin. Spesies jeruk ini juga memiliki senyawa eriocitrin dengan jumlah tertinggi dibandingkan spesies jeruk yang lainnya (Szczykutowicz *et al.*, 2020).

2.3 *Penicillium* sp.

Penicillium adalah salah satu genus jamur yang memiliki banyak keragaman dari segi jumlah spesies serta habitat ditemukannya. Genus ini hidup secara saprofit dan mampu tumbuh di berbagai kondisi lingkungan. Sebagian besar spesies dari genus *Penicillium* ditemukan di tanah sedangkan pada makanan jarang ditemukan menimbulkan konsekuensi yang serius bagi pengkonsumsinya. Beberapa spesies diketahui secara khusus menjadi patogen pada buah seperti *Penicillium digitatum*, *P. expansum*, dan *P. italicum*. Spesies *Penicillium* lainnya beberapa ditemukan pada kondisi oksigen yang rendah, psikrotrofik, dan pada suhu lemari pendingin (Pitt and Ailsa, 2009).

Koloni *Penicillium* dicirikan berwarna hijau dan putih yang sebagian besar terdiri atas konidiofor yang padat dengan pertumbuhan yang cepat. Secara mikroskopis *Penicillium* tampak berupa rantai konidia bersel tunggal yang diproduksi dalam phialade. Phialade pada *Penicillium* terbentuk dalam keadaan tunggal, berkelompok atau bercabang, dan berbentuk kuas atau penisilus. Bentuk percabangan konidia dibagi menjadi empat seperti pada Gambar 2.2 yaitu sederhana (*monoverticillate*), bercabang satu tingkat (*biverticillate-symmetrical*),

bercabang dua tingkat (*biverticillate-asymmetrical*), dan bercabang tiga tingkat atau lebih (*quaterverticillate*). Phialide biasanya berbentuk labu dengan basal silinder; atau lanset dengan basal sempit dan meruncing ke atas. Konidia berbentuk rantai panjang, divergen, bulat, oval, silindris, hialin atau kehijauan, licin ataupun kasar. Konidiofor hialin, halus, atau berdinding kasar (Kidd *et al.*, 2016).



Gambar 2.2 Tipe konidiofor *Penicillium* sp. a. *monoverticillate*; b. *biverticillate*; c. *terverticillate*; d. *quaterverticillate* (Kidd *et al.*, 2016)

Spesies *Penicillium* yang ditemukan menjadi penyebab busuk buah pada jeruk antara lain *Penicillium digitatum* dan *P. italicum*. Spesies tersebut merupakan spesies penyebab kerusakan buah pascapanen yang penting dilihat dari sisi ekonomi, khususnya di daerah dengan iklim tipe mediterania yang memiliki curah hujan dan panas yang rendah (Palou, 2014). Spesies *P. digitatum* diketahui lebih banyak menyerang jeruk di daerah pantai serta menjadi penyebab kerusakan pascapanen di daerah dengan iklim lembab (Sudjatha dan Ni Wayan, 2017). Kerusakan yang terjadi pada jeruk akibat kedua spesies tersebut terjadi karena adanya sekresi asam organik yang menyediakan pH sesuai bagi enzim untuk mengurai dinding sel. Enzim tersebut adalah polygalacturonases (PG) (Bazioli *et al.*, 2019). Berikut ini adalah dua spesies *Penicillium* penyebab busuk buah pada jeruk:

2.3.1 *Penicillium digitatum*

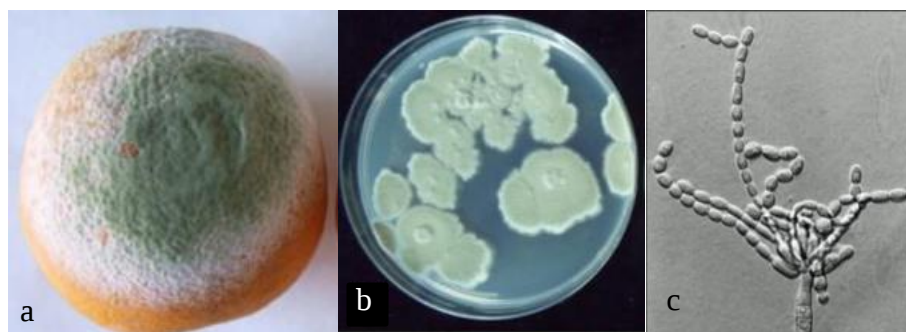
Penicillium digitatum adalah jamur patogen yang ditemukan pada buah pascapanen. Jamur ini banyak ditemukan pada buah jeruk pascapanen dan disebut

sebagai *green mold* atau jamur hijau. Persentase pembusukan yang dihasilkan mencapai 60-80% pada suhu ruangan (Youssef and Ayat, 2020). *P. digitatum* termasuk dalam divisi Ascomycota yang menjadi penyebab utama masalah kerusakan buah pascapanen. Infeksi yang dilakukan *P. digitatum* terhadap buah khususnya jeruk adalah melalui luka pada buah. Luka pada buah dapat terjadi karena faktor lingkungan seperti angin, serangga, dan hujan es selama proses pemanenan. Jamur ini akan menyebar melalui pori menuju kelenjar minyak kemudian mengambil nutrisi yang sesuai untuk menstimulasi germinasi spora (Costa *et al.*, 2019).

Klasifikasi *Penicillium digitatum* (Simson and Pitt, 2000):

Kingdom : Fungi
 Division : Ascomycota
 Class : Eurotiomycetes
 Order : Eurotiales
 Family : Trichocomaceae
 Genus : *Penicillium*
 Species : *Penicillium digitatum*

Koloni *P. digitatum* berwarna hijau pucat kekuningan dan warna sebalik koloni hijau pucat seperti yang disajikan pada Gambar 2.3. Permukaan koloni menyerupai velveti, fialid berbentuk silindris, konidiofor berdinding tipis, dan konidia berbentuk elips (Rahayu *et al.*, 2019). Jamur ini mampu bergerminasi pada suhu 5°C dan beberapa dapat membentuk koloni dengan diameter mencapai 3 mm. Pertumbuhan *P. digitatum* dapat terhambat atau bahkan terhenti pada suhu 37°C karena beberapa metabolit mudah menguap seperti limonene, valencene, etilen, etil alkohol, dan etil asetat (Palou, 2014).



Gambar 2.3 Gejala *green mold* akibat *P. digitatum*. a. infeksi *P. digitatum* pada jeruk; b. koloni *P. digitatum*; c. konidiofor *P. digitatum* (Palou, 2014)

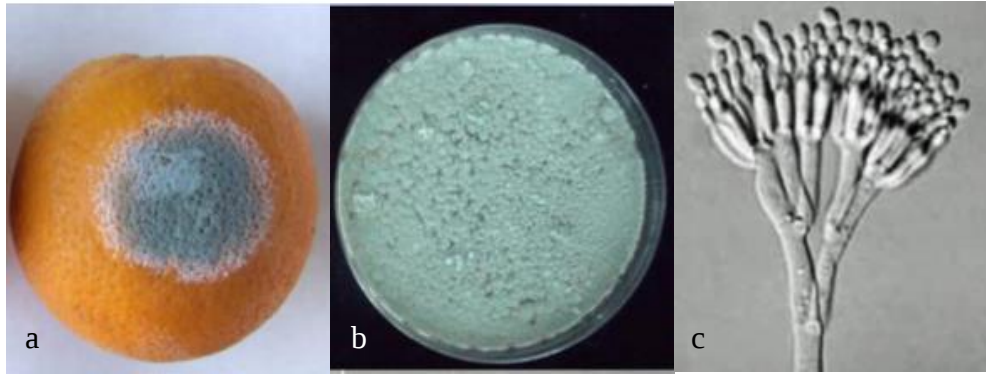
2.3.2 *Penicillium italicum*

Penicillium italicum atau disebut jamur biru (*blue mold*) adalah jamur patogen penyebab busuk buah pada jeruk. Gejala awal terjadinya pembusukan adalah pada area lunak di sekitar kulit buah, diikuti dengan perkembangan jamur berwarna putih. Spora aseksual berwarna kebiruan selanjutnya terbentuk di tengah lesi. Gejala infeksi dapat terjadi karena vektor serangga sebelum masa panen atau melalui luka yang terbentuk ketika proses panen dan penyimpanan. Kerusakan menjadi lebih rentan selama musim hujan (Veljović *et al.*, 2017).

Klasifikasi *Penicillium italicum* (Simson and Pitt, 2000):

Kingdom : Fungi
 Division : Ascomycota
 Class : Eurotiomycetes
 Order : Eurotiales
 Family : Trichocomaceae
 Genus : *Penicillium*
 Species : *Penicillium italicum*

Koloni *P. italicum* dapat tumbuh dengan cepat pada media PDA dan MEA dengan suhu 25°C. Koloni berwarna biru keabu-abuan dan terdapat granular karena adanya kumpulan konidiofor dan ujung konidia seperti yang disajikan pada Gambar 2.4. Warna sebalik koloni abu-abu sampai kuning kecoklatan. Tekstur koloni seperti velutin sampai fasikulata, *crustose*, dengan eksudat yang terbatas. Konidia terdiri dari penisili asimetris berbentuk oval dan berdinding halus. Konidiofor berasal dari substrat atau dari hifa superfisial bersifat tervertisilat, hialin, dengan cabang yang terlihat. Metula berdinding halus dengan tiga sampai enam philiade berbentuk silindris (Palou, 2014).



Gambar 2.4 Gejala *blue mold* akibat *P. italicum*. a. infeksi *P. italicum* pada jeruk; b. koloni *P. italicum*; c. konidiofor *P. italicum* (Palou, 2014)

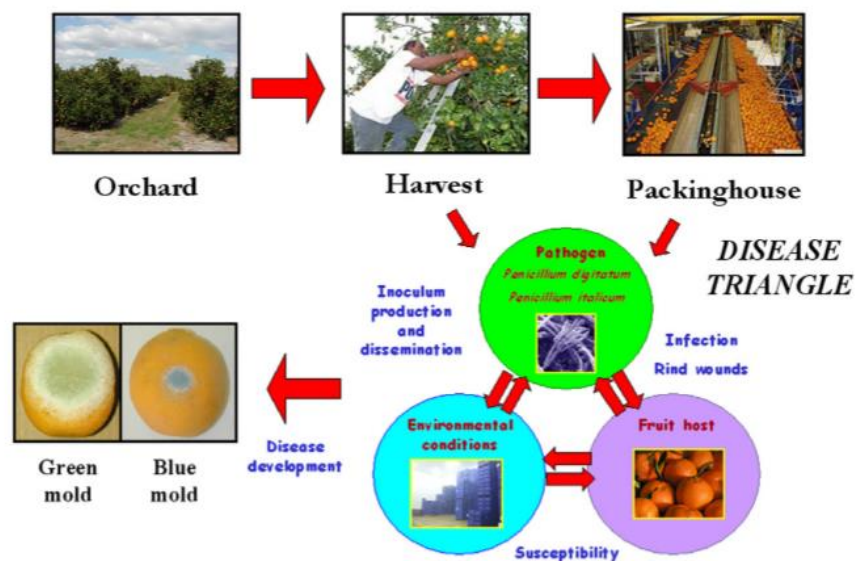
2.4 Infeksi *Penicillium* sp. pada Jeruk Pascapanen

Jeruk adalah buah yang diketahui mudah mengalami kerusakan khususnya setelah masa panen atau pascapanen. Penyebab kerusakan pada jeruk salah satunya adalah karena infeksi jamur yang menyebabkan penyakit keropeng, *citrus black spot*, dan jamur tepung (Etebu and Nwauzoma, 2014). Infeksi akibat jamur tersebut menjadi masalah utama khususnya di negara berkembang dengan iklim tropis. Total kerusakan akibat jamur di negara maju hanya sebesar 5% sampai 20%, sedangkan pada negara berkembang dengan iklim tropis dapat mencapai 50% (Khokhar and Rukhsana, 2015). Infeksi yang diakibatkan *Penicillium* sp. tersebut untuk saat ini hanya berdampak pada buah jeruk saja dan biasanya tidak berdampak secara langsung atau berbahaya pada manusia sebagai konsumen (Mailafia *et al.*, 2017).

Spesies jamur yang menyebabkan kerusakan khususnya busuk pada jeruk pascapanen antara lain *P. digitatum* dan *P. italicum*. Kedua spesies tersebut utamanya menyerang di daerah dengan iklim tipe mediterania yang memiliki curah hujan dan panas yang rendah (Palou, 2014). Infeksi akibat *P. digitatum* terjadi pada luka yang terbentuk pada buah akibat faktor lingkungan maupun selama proses pemanenan, pengangkutan, dan penanganan setelah panen. Ciri-ciri yang ditimbulkan berupa area yang berair pada kulit buah dan ketika kondisi sesuai akan berkembang menjadi miselium putih dan berkembang menjadi warna hijau zaitun karena adanya produksi spora. Hal tersebut terjadi karena jamur menyebar melalui luka dan pori menuju kelenjar minyak untuk mengambil nutrisi yang digunakan sebagai stimulasi germinasi spora (Costa *et al.*, 2019).

Infeksi yang disebabkan oleh *P. italicum* hampir sama dengan yang terjadi akibat *P. digitatum*. Gejala awal yang ditimbulkan berupa area berair pada kulit buah yang diikuti perkembangan koloni sirkular berwarna putih dengan lebar hanya 2 mm. Adanya area yang berair menyebabkan kerusakan pada buah dan selanjutnya spora mulai berkembang. Spora biasanya ditemukan bebas di udara sekitar area pertumbuhan dan akan menginfeksi melalui luka. Luka pada buah biasanya terbentuk selama masa panen dan penyimpanan yang akan semakin rentan ketika musim penghujan (Veljović *et al.*, 2017).

Infeksi akibat *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen dapat terjadi selama pemanenan maupun di tempat pengemasan. Jamur tersebut juga dapat menginfeksi sebelum pemanenan melalui luka atau retakan baik yang diakibatkan oleh serangga maupun faktor lingkungan (Palou, 2014). Gambaran terjadinya penyakit akibat *Penicillium* sp. pada jeruk pascapanen dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini:



Gambar 2.5 Segitiga penyakit akibat *P. digitatum* dan *P. italicum* pada jeruk pascapanen (Palou, 2014)

2.5 Standar Kualitas Jeruk Pascapanen

Kualitas suatu buah seperti halnya jeruk ditentukan oleh beberapa standar tertentu agar dapat diterima konsumen. Standar kelas yang ditetapkan untuk buah jeruk manis didasarkan pada tingkat kematangan buah, keseragam bentuk dan ukuran, intensitas warna, tekstur buah, tidak adanya kerusakan, bebas cacat fisik

berupa lecet, bebas dari luka yang terbentuk secara kimiawi, serangga, dan gangguan fisiologis (Etebu and Nwauzoma, 2014). Tujuan dilakukannya standarisasi buah pascapanen selain menghindari kerusakan pada buah adalah untuk meningkatkan daya simpan dan daya guna buah, meningkatkan pendapatan bagi petani, penerimaan devisa negara, serta sebagai upaya dalam melestarikan sumber daya alam dan lingkungan hidup (Sudjatha dan Ni Wayan, 2017).

Kerusakan pada buah pascapanen dapat terjadi mulai dari masa panen sampai ke tangan konsumen. Penyebab utama kerusakan buah pascapanen yang dapat menurunkan kualitas buah tersebut antara lain kurangnya perawatan di kebun, cara pemanenan dan produksi yang salah, adanya pertumbuhan jamur, terjadi pembusukan, cara distribusi yang tidak tepat, dan penyimpanan yang tidak memadai (Makavana *et al.*, 2018). Penanganan pascapanen yang tidak tepat tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas buah seperti penurunan nilai gizi, penampakan buah, penurunan berat atau susut bobot, warna kulit buah tidak seragam, dan ukuran dan tingkat kematangan yang tidak sama (Handoko *et al.*, 2005).

Kerusakan buah pascapanen khususnya akibat infeksi jamur diketahui dapat menurunkan kualitas dari buah. Buah yang mengalami infeksi jamur *Penicillium* sp. ditandai dengan munculnya area berair pada kulit buah dan akan berkembang menjadi putih dan hijau zaitun ketika kondisi sesuai sebagai respon produksi spora (Costa *et al.*, 2019). Perubahan struktur dari jeruk akibat infeksi tersebut berkaitan dengan penurunan berat buah sekaligus penurunan diameter buah akibat melunaknya buah. Proses pelunakan buah dipicu oleh enzim polygalacturonase dan selulase yang akan ditingkatkan oleh jamur *Penicillium* sp. ketika kondisi pH sesuai. Enzim tersebut berperan dalam pelunakan jaringan selama perkembangan penyakit (Palou, 2014).

Parameter lain yang mengalami penurunan selama terjadinya infeksi jamur adalah dari kandungan vitamin C. Kandungan vitamin C dapat mengalami penurunan karena sensitivitasnya terhadap oksigen, degradasi enzim, dan suhu (Berk, 2016). Kandungan vitamin C pada buah juga dipengaruhi selama pemrosesan, penanganan, dan penyimpanan. Seiring bertambahnya umur buah setelah dipanen juga mempengaruhi kandungan vitamin C dari buah. Buah dewasa

memiliki kandungan vitamin C paling rendah dibandingkan dengan buah yang belum matang (Martí *et al.*, 2009).

Infeksi *Penicillium* sp. pada jeruk dapat terjadi ketika patogen tersebut mengambil nutrisi dari inang untuk menstimulasi germinasi spora (Costa *et al.*, 2019). Salah satu nutrisi yang dibutuhkan adalah selulosa yang memiliki kandungan karbon yang cukup tinggi untuk perkembangan *Penicillium*. Selulosa akan diubah menjadi karbon berkualitas tinggi dengan enzim selulase yang dihasilkan oleh *Penicillium*. Perubahan selulosa akibat infeksi *Penicillium* sp. tersebut berpengaruh terhadap kandungan gula terlarut dalam jeruk selama infeksi. Kandungan gula terlarut akan meningkat dengan cepat di dua hari pertama setelah infeksi dan selanjutnya akan berkurang terus menerus sampai tersisa 43 mg/g di hari keenam dibandingkan dengan jeruk yang tidak terinfeksi memiliki kandungan gula terlarut yang relatif stabil (Qian *et al.*, 2019).

2.6 Perawatan Buah Jeruk Pascapanen

Perawatan buah jeruk dapat dilakukan di tingkat penyimpanan. Penyimpanan yang terbaik bagi buah pada cuaca normal adalah ketika masih di pohon dibandingkan dengan penyimpanan suhu rendah. Penyimpanan pada suhu rendah atau dingin memiliki beberapa permasalahan seperti gangguan atau pembusukan. Masa simpan akhir dengan cara ini sangat tergantung pada kultivar, tingkat kematangan, serta perlakuan pra-panen dan pascapanen. Oleh karena itu, sebelum dilakukan penyimpanan buah harus didinginkan untuk memperlambat respirasi serta dilakukan penambahan fungisida. Selama penyimpanan berlangsung buah juga harus sering dikontrol untuk menghindari adanya kerusakan (Etebu and Nwauzoma, 2014).

Perawatan buah jeruk pascapanen juga perlu dilakukan khususnya untuk mengendalikan jamur patogen seperti *Penicillium* sp.. Perawatan dilakukan dengan metode alternatif untuk menggantikan fungisida konvensional. Metode alternatif yang dilakukan dapat berupa metode fisik, kimia, ataupun biologis (Palou, 2014). Metode fisik yang dapat dilakukan dan terbukti efektif dalam mengendalikan *P. digitatum* dan *P. italicum* adalah dengan mengeringkan buah. Buah dikeringkan pada suhu 32-36°C selama 36 sampai 72 jam. Perawatan dengan cara ini dapat merangsang pembentukan senyawa fenol dan lignin yang

dapat menyembuhkan luka serta tahan terhadap pembusukan (Ismail and Jiuxu, 2004).

Metode kimia dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa senyawa kimia yang diketahui memiliki kemampuan dalam induksi resistensi. Contoh senyawa kimia yang dapat digunakan untuk mengendalikan *P. digitatum* dan *P. italicum* adalah potasium silicate dan sodium silicate. Metode alternatif biologis juga dapat dilakukan dan biasanya dibatasi pada penggunaan mikroba antagonis. Aplikasi mikroba antagonis untuk pengendalian *P. digitatum* dan *P. italicum* dilakukan dalam bentuk suspensi sel untuk penyemprotan pasacapanen, pencelupan, dan perendaman. Beberapa aplikasi juga diuji sebagai fumigan seperti *Muscador albus* dan *Nodulisporium* spp. (Palou, 2014). Penggunaan biokontrol memiliki peran yang potensial dalam mengendalikan strain *Penicillium* sp. yang resisten terhadap fungisida (Ismail and Jiuxu, 2004).

Penggunaan alternatif biologis diketahui mengalami peningkatan permintaan karena manfaat yang didapatkannya. Beberapa agen biologis yang telah dipasarkan adalah *Candida oleophila* dengan nama produk “Aspire”, *Metschnikowia fructiolo* dengan nama produk “Shemer”, *Pantoea agglomerans* dengan nama produk “Pantovital”, dan *Pseudomonas syringae* dengan nama produk “Biosave”. Penggunaan alternatif ini dapat menghasilkan pangan dengan nilai residu bahan kimia yang rendah sehingga berkontribusi dalam penyediaan bahan pangan yang lebih sehat, alami, dan aman (Bazioli *et al.*, 2019). Alternatif biologis yang digunakan sebagai komponen penanggulangan hama terpadu memiliki efek yang sama dengan pestisida konvensional. Alternatif biologis dapat bekerja secara efektif dengan fleksibilitas pembatasan aplikasi secara minimum dan potensi manajemen ketahanan yang unggul (Anuagasi *et al.*, 2017).

2.7 Senyawa Antifungi

Senyawa antifungi adalah sebuah agen yang secara selektif dapat membunuh jamur patogen dari inangnya dengan toksisitas yang rendah (Baron, 1996). Mekanisme dari agen antifungi dalam membunuh mikroba seperti jamur disebut dengan biosidal sedangkan dalam menghambat pertumbuhan mikroba pada level seluler disebut biostatis. Mekanisme antifungi dapat bervariasi tergantung dari tipe agen antifungi yang digunakan misalnya dengan menyerang

dinding sel jamur secara langsung sehingga sel kehilangan fungsi biologisnya (Rahayuningsih *et al.*, 2019).

2.7.1 Kitosan

Kitosan (β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glukosa) adalah biopolimer alami yang diturunkan dengan deasetilasi kitin. Kitosan biasanya ditemukan sebagai komponen struktural dari rangka luar crustaceae dan serangga serta beberapa dinding sel jamur (Youssef and Ayat, 2020). Kitin maupun derivatnya (kitosan) diketahui dapat memicu respon pertahanan inang. Reaksi yang dilakukan seperti variasi pertukaran ion, pengasaman sitoplasma, depolarisasi membran, dan fosforilasi protein kitinase serta aktivasi glukonase (Pusztahelyi, 2018). Kitosan banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi karena seperti disebutkan sebelumnya kitosan memiliki banyak manfaat. Kitosan dengan konsentrasi 4% juga diketahui dapat digunakan sebagai antifungi melawan penyakit akibat jamur pada buah tomat (Khiareddine *et al.*, 2015).

Aktivitas antifungi kitosan secara *in-vitro* diketahui mempengaruhi pertumbuhan miselium, sporulasi, perubahan morfologi, dan organisasi molekuler jamur. Perubahan morfologi yang diakibatkan oleh kitosan, kitin, maupun oligomernya yaitu berupa bentuk miselium yang tidak normal, percabangan miselium yang berlebihan, pembengkakan serta pengurangan ukuran hifa pada *Fusarium spp.*, *R. stolonifera*, *P. expansum*, *B. cinera*, dan *A. alternate* (Hassan and Taehyun, 2017). Penggunaan kitosan dalam bidang lain yaitu sebagai kontrol penyakit sebelum dan sesudah panen. Kontrol penyakit yang dilakukan adalah melalui aktivitas antifungi karena adanya sifat polikationik serta adanya polimer rantai panjang yang meningkatkan aktivitas antifungi (Bautista-Banos *et al.*, 2005). Aktivitas antifungi kitosan terhadap pertumbuhan patogen adalah melalui perubahan morfologis seperti kerusakan yang parah pada hifa, malformasi, dan kerusakan percabangan hifa (Youssef and Ayat, 2020).

2.7.2 Asam Salisilat

Asam salisilat adalah hormon fenolik alami yang diproduksi tumbuhan melalui jalur fenilpropanoid. Asam salisilat dan derivatnya diketahui memiliki aktivitas sebagai analgesik, antipiretik, antioksidan, antimikroba, agen sitotoksin, dan antiproliferaatif. Manfaat lain asam salisilat adalah sebagai antifungi.

Mekanisme antifungi yang dilakukan adalah melalui molekul sinyal yang dikirim sebagai bentuk pertahanan tanaman terhadap jamur dan patogen lainnya. Aktivitas antifungi asam salisilat terbukti dapat melawan patogen pascapanen seperti *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus stolonifer*, dan *Rhizoctonia solani* (Wodnicka *et al.*, 2017). Secara khusus asam salisilat juga diketahui memiliki potensi antifungi terhadap sejumlah patogen pada jeruk, mangga, pear (Khan *et al.*, 2020) dan pada tomat dengan konsentrasi 25 mM (Khiareddine *et al.*, 2015).

Asam salisilat banyak digunakan sebagai alternatif untuk pengendalian penyakit. Pengendalian dilakukan dengan melibatkan biosintesis senyawa pertahanan tanaman dan efek antifungi terhadap berbagai jamur penyebab pembusukan buah. Penambahan senyawa ini dapat mempertahankan karakteristik fisik dan kimiawi dari buah. Karakteristik tersebut antara lain susut bobot, perubahan warna, kandungan total padatan terlarut, dan keasaman pada berbagai jenis buah (Neto *et al.*, 2016). Penggunaan senyawa ini sebagai perlindungan terhadap penyakit buah pascapanen dapat dipertimbangkan karena aman bagi lingkungan dan kesehatan manusia (Neto *et al.*, 2015).

2.7.3 Minyak Sereh

Minyak sereh adalah salah satu minyak penting yang didapatkan dari daun *Cymbopogon citratus*. Minyak sereh banyak dimanfaatkan karena adanya kandungan senyawa aktif seperti asam fenolik, flavonoid, dan tanin (Majewska *et al.*, 2019). Manfaat yang didapatkan dari kandungan minyak sereh adalah aktivitas antifungi. Aktivitas antifungi yang tinggi pada minyak sereh adalah karena adanya dua isomer *citral*. Isomer ini akan berinteraksi dengan dinding sel jamur yang secara signifikan menghambat pertumbuhan miselium, selain itu isomer *citral* juga dikaitkan dengan kerusakan membran sel dan kebocoran konstituen selulernya. Komponen lain dari minyak sereh yaitu terpen/terpenoid yang merupakan konstituen tidak tergantikan dari minyak sereh dan diketahui memiliki aktivitas antifungi yang tinggi dalam mengganggu membran sel, menyebabkan kematian sel, dan menghambat sporulasi serta germinasi jamur (Majewska *et al.*, 2019).

Senyawa aktif yang terkandung pada sereh diketahui memiliki aktivitas antifungi. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Abd-El-Khair and Omima (2006), sereh diketahui dapat menghambat pertumbuhan miselia dari jamur patogen *P. digitatum*. Berdasarkan pengamatan *in vivo*, aplikasi minyak sereh dengan konsentrasi 6% diketahui secara signifikan dapat melindungi buah dari jamur biru dan hijau serta mencegah pembusukan selama 40 hari penyimpanan dengan suhu 20°C (El-Mohamedy *et al.*, 2015). Studi lain yang dilakukan oleh Subedi *et al.* (2016), juga menyebutkan bahwa kombinasi sereh dengan wax lebah dapat menambah kemampuan senyawa aktif dalam mengontrol jamur hijau/*green mold* pada jeruk mandarin.

2.7.4 Sodium Karbonat dan Sodium Bikarbonat

Sodium karbonat dan bikarbonat adalah bahan yang banyak digunakan dalam aditif makanan untuk perasa, kontrol pH, modifikasi tekstur, dan kontrol jamur. Kedua bahan ini juga diketahui dapat mengontrol banyak patogen dalam tanaman (Smillanick *et al.*, 1999). Kedua bahan tersebut banyak diteliti sebagai aplikasi pengendalian kerusakan buah pascapanen. Aplikasi menggunakan bahan alami tersebut dianggap sebagai strategi yang bermanfaat dalam mengendalikan kerusakan pascapanen pada jeruk (Youssef *et al.*, 2012) yaitu pada konsentrasi 400 mM yang diaplikasikan pada jeruk (Askarne *et al.*, 2013). Penggunaan sodium karbonat dalam makanan diizinkan tanpa kandungan maksimum berdasarkan *Regulation* 1925/2006/EC begitupula pada suplemen makanan yang diatur dalam *Directive* 2002/46/EC. Peraturan tersebut juga digunakan dalam kosmetik, sabun, bubuk gosok, perendaman, dan bubuk pencuci (European Food Safety Authority, 2010).

Sodium karbonat ataupun bikarbonat baik dalam kondisi tunggal ataupun kombinasi diketahui dapat memberikan perlindungan terhadap patogen pada buah pascapanen. Penelitian lain juga menyebutkan jika sodium bikarbonat dapat menghambat germinasi spora dan perkembangan lanjut dari *P. digitatum* maupun *P. italicum* secara *in-vitro* (Obagwu and Lise, 2003). Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Youssef *et al.* (2014), penggunaan sodium karbonat ataupun bikarbonat pada buah jeruk diketahui dapat menginduksi resistensi pada jeruk pascapanen. Penggunaan kedua senyawa tersebut dapat menambah aktivitas β -

1,3-glucanase, peroksidase, dan enzim PAL di jaringan jeruk. Akumulasi produksi phytoalexin dan karbohidrat mampu mengontrol secara langsung ataupun tidak langsung infeksi dari patogen. Adanya penambahan ekspresi gen PAL tersebut salah satunya dapat memunculkan resistensi yang lebih lama untuk infeksi akibat *P. digitatum* (Spada *et al.*, 2021).

2.8 Mikroorganisme Antagonis

Mikroorganisme antagonis adalah agens pengendali hayati yang digunakan untuk mengendalikan penyakit pada tanaman. Mikroorganisme antagonis seperti bakteri dan jamur diketahui dapat menghambat sampai membunuh organisme pengganggu tanaman (Hanudin dan Budi, 2012). Penggunaan mikroorganisme antagonis tersebut dapat menambah mekanisme pertahanan pada jaringan jeruk melalui beberapa modifikasi metabolisme. Modifikasi yang dilakukan seperti induksi resistensi sistemik dan produksi spesies oksigen reaktif (Etebu and Nwauzoma, 2014). Beberapa contoh mikroorganisme antagonis terhadap *Penicillium* sp. dapat dilihat di bawah ini:

2.8.1 *Candida oleophila*

Klasifikasi *Candida oleophila* (Montrocher, 1967):

Kingdom : Fungi
 Division : Ascomycota
 Class : Saccharomycetes
 Order : Saccharomycetales
 Family : Saccharomycetaceae
 Genus : *Candida*
 Species : *Candida oleophila*

C. oleophila adalah spesies khamir pertama yang digunakan sebagai agen perlindungan tanaman dan diketahui memiliki mekanisme tersendiri sebagai antifungi. Secara umum khamir dapat menyerang jamur patogen melalui persaingan nutrisi dan ruang, khusus untuk *C. oleophila* dan spesies *Candida* lainnya aktivitas antifungi dilakukan dengan enzim hidrolitik seperti protease, kitinase, dan glukase yang dapat menghambat germinasi konidia dan pertumbuhan hifa jamur. Penggunaan spesies ini secara komersial ditemukan dalam produk *nexy* yang dikembangkan sebagai pengendalian pembusukan pada

buah pome, pisang, dan jeruk. Produk ini telah disetujui untuk didaftarkan pada 2013 di seluruh Uni Eropa (Zhang *et al.*, 2020).

Aktivitas biokontrol yang dimiliki spesies *Candida* adalah melalui pembentukan biofilm, induksi resistensi, osmotoleransi yang tinggi, dan parasitisme terhadap hifa secara langsung (Freimoser *et al.*, 2019). Pengamatan secara in-vivo menunjukkan bahwa aplikasi *C. oleophila* secara signifikan dapat mengurangi tingkat kejadian penyakit dan diameter lesi pada pembusukan buah akibat jamur hijau dan biru (Liu *et al.*, 2019). Peningkatan biosintesis beberapa senyawa seperti etilen, fenilalanin amonia liase, peningkatan kitinase dan β -1,3-endoglucanase, serta akumulasi fitoaleksin juga diketahui menjadi mekanisme patogenitas yang dilakukan oleh *C. oleophila* (Droby *et al.*, 2002).

2.8.2 *Bacillus subtilis*

Klasifikasi *Bacillus subtilis* (Holt, 2000)

Kingdom : Bacteria

Phylum : Firmicutes

Class : Bacilli

Order : Bacillales

Family : Bacillaceae

Genus : *Bacillus*

Species : *Bacillus subtilis*

Bacillus subtilis adalah bakteri bentuk batang dengan ukuran 0,5-2,5 μm x 1,2-10 μm . Bakteri ini termasuk bakteri gram positif, aerob atau anaerob fakultatif, dengan reaksi katalase positif. *B. subtilis* memiliki fisiologi yang berbeda dengan bakteri lain yang bukan patogen karena lebih mudah dimanipulasi secara genetik dan mudah dalam pembiakan sehingga dapat digunakan dalam skala industri. Bakteri ini dapat hidup pada suhu -5°C sampai 75°C dengan pH sekitar 2-8 (Soesanto, 2008). Apabila kondisi lingkungan tidak sesuai bagi pertumbuhannya, *B. subtilis* akan membentuk endospora dan akan berkembang kembali ketika lingkungan sesuai (Suriani dan Amran, 2016).

Bacillus spp. maupun *B. subtilis* sendiri dilaporkan sebagai spesies yang efektif melawan spektrum luas penyakit tanaman yang disebabkan oleh tanah dan patogen jamur (Mendizábal *et al.*, 2011). Sifat antagonis dari genus *Bacillus*

adalah melalui produksi antibiotik atau senyawa organik volatil yang dapat memacu penambahan resistensi tanaman (Bazioli *et al.*, 2019). Seperti hasil penelitian oleh Leelasupakul *et al.*, (2008), *B. subtilis* diketahui berperan dalam penundaan germinasi spora jamur melalui kemampuannya dalam menghasilkan antibiotik ekstraseluler larut air, ptotein antifungi, dan senyawa organik volatil. Beberapa senyawa yang dihasilkan tersebut mungkin juga terkait dalam induksi resistensi tanaman sebagai mekanisme biokontrol busuk buah jeruk.

2.8.3 *Pseudomonas fluorescens*

Klasifikasi *Pseudomonas fluorescens* (Holt, 2000):

Kingdom : Bacteria
 Phyllum : Proteobacteria
 Class : Proteobacteria
 Order : Pseudomonadales
 Family : Pseudomonadaceae
 Genus : Pseudomonas
 Species : *Pseudomonas fluorescens*

Peran *P. fluorescens* dalam pengendalian patogen asal jamur pada tanaman terjadi karena penghambatan dan pendegradasian dinding sel jamur. Mekanisme yang dilakukan yaitu melalui produksi beberapa jenis senyawa seperti antibiotik, siderofor, dan enzim litik seperti kitinase serta β -1,3-glukanase yang akan mendegradasi dinding sel jamur dan mengganggu pertumbuhan jamur secara *in-vitro* (Vanitha and Ramjegathesh, 2014). Pengendalian yang dilakukan *P. fluorescens* ditunjukkan melalui pengurangan lesi akibat jamur, selain itu juga melalui penghambatan jamur. Mekanisme lain yang dilakukan yaitu dengan adanya protease dan pembentukan biofilm setelah 24 jam inkubasi pada 30°C (Wang *et al.*, 2019). Kemampuan antagonisme dari spesies ini terhadap *P. digitatum* terstimulasi secara kuat karena adanya ekspresi gen *syrB1* yang menambah kemampuan aktivitas biokontrol (Etebu and Nwauzoma, 2014).

2.8.4 *Trichoderma harzianum* dan *T. asperellum*

Klasifikasi *Trichoderma harzianum* (Chaverri *et al.*, 2015):

Kingdom : Fungi
 Division : Ascomycota

Class : Sordariomycetes
 Order : Hypocreales
 Family : Hypocreaceae
 Genus : Trichoderma
 Species : *Trichoderma harzianum*

Klasifikasi *Trichoderma asperellum* (Chaverri *et al.*, 2015):

Kingdom : Fungi
 Division : Ascomycota
 Class : Sordariomycetes
 Order : Hypocreales
 Family : Hypocreaceae
 Genus : Trichoderma
 Species : *Trichoderma asperellum*

Trichoderma adalah genus jamur yang banyak digunakan sebagai agen pemacu tumbuh tanaman dan digunakan sebagai kontrol biologis (Herrera-Téllez *et al.*, 2019). Ciri-ciri dari genus ini diantaranya adalah pertumbuhannya yang cepat, penghasil spora yang kuat dan produktif, serta dapat menghasilkan antibiotik meskipun dalam kondisi lingkungan yang rendah akan cahaya dan nutrisi (Fenta *et al.*, 2019). Beberapa spesies *Trichoderma* juga diketahui dapat memproduksi molekul besi dengan berat molekul rendah yang sangat efisien digunakan sebagai *siderophores* yang dapat mengatur dan menghentikan pertumbuhan jamur yang lain (Puyam, 2016). Contoh spesies dari genus ini antara lain *T. harzianum* dan *T. asperellum* yang diketahui dapat digunakan sebagai agens hayati pada berbagai tanaman budidaya (Gusnawaty *et al.*, 2014).

Penelitian terkait potensi *T. harzianum* dan *T. asperellum* sebagai agens hayati telah dilakukan seperti yang disebutkan oleh Hussain (2018), *T. harzianum* diketahui dapat digunakan secara efektif melawan fitopatogen *P. digitatum*. Kemampuan antagonis dari spesies ini terjadi karena cepatnya pertumbuhan miselia yang akan menambah potensi antagonis menjadi lebih baik. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa *T. harzianum* dapat menyebabkan vakuolasi dan lisis dinding sel *P. capsici* karena adanya aktivitas enzim selulase (Suharna, 2003). Sementara untuk *T. asperellum* diketahui memiliki kemampuan yang tinggi

sebagai agen biokontrol melalui produksi enzim litik. Spesies ini dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan *Fusarium oxysporum* karena adanya aktivitas kitinase dan β -1,3-glukanase yang tinggi (El-Komy *et al.*, 2015).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental laboratorium yang dilakukan dengan rancangan acak lengkap (RAL) yang dianalisa secara deskriptif kuantitatif. Perlakuan yang digunakan pada penelitian ini yaitu senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis. Senyawa antifungi yang digunakan meliputi kitosan, asam salisilat, minyak sereh, sodium karbonat, dan sodium bikarbonat. Mikroorganisme antagonis yang digunakan meliputi *C. oleophila*, *T. harzianum*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, dan *T. asperellum*. Sedangkan untuk varietas jeruk yang digunakan adalah jeruk manis dan lemon.

Penelitian ini menguji kemampuan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis sebagai pengendali penyakit busuk buah jeruk pascapanen akibat *Penicillium* sp. Penelitian dilakukan dalam tiga ulangan dengan tiga unit untuk masing-masing ulangan dan dilakukan secara *in-vitro* dan *in-vivo*. Parameter yang diamati pada uji *in-vitro* meliputi diameter koloni dan penampakan mikroskopis miselium setelah diberi perlakuan. Parameter yang diamati pada uji *in-vivo* meliputi intensitas serangan, kandungan gula, total asam, vitamin C, susut bobot buah, diameter buah, tingkat kekerasan buah, dan warna kulit buah.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fitopatologi dan Laboratorium pemuliaan Balai Penelitian Jeruk dan Buah Subtropika Kota Batu. Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2021 – Juli 2021. Sampel jeruk manis diambil di Kebun Percobaan Banaran (*Banaran Experimental Garden ICSFRI*) sedangkan sampel jeruk lemon diambil di Kebun Percobaan Tlekung Balitjestro Kota Batu.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan antara lain LAF (*Laminar Air Flow*), autoklaf, *centrifuge*, lemari asam, timbangan analitik, cawan petri, erlenmeyer, beaker glass, tabung reaksi, labu ukur 100 ml, tabung ukur, ose steril, gunting steril, *cork*

borer steril, pinset steril, mikropipet P1000, mikropipet P20, *blue tip*, *yellow tip*, pipet volume, pipet ukur, tusuk gigi steril, tabung eppendorf 1 ml, kertas cakram 5 mm, A TA-XT2i *texture analyzer* (Stable Micro System), klem, statif, mikroskop, kaca objek, kaca penutup, *rotary shaker*, *hemocytometer*, scalpel steril, *magnetic stirrer*, kompor listrik, refraktometer, *color chart Royal Horticultural Society*, botol spray 100 ml, penggaris, jangka sorong, nampan plastik, bunsen, kapas, plastik, tisu, *plastic wrap*, kertas saring dan aluminium foil.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan antara lain buah jeruk varietas lemon dan manis, buah jeruk pascapanen dengan gejala busuk *Penicillium* sp., kitosan, asam salisilat ($C_7H_6O_3$), minyak sereh, sodium karbonat (Na_2CO_3), sodium bikarbonat ($NaHCO_3$), isolat (*C. oleophila*, *T. harzianum*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, dan *T. asperellum*), alkohol 70%, alkohol 95%, akuades steril, Tween 20 (0,75 ml/L), asam asetat, *methylene blue*, media PDA (*Potato Dextrose Agar*), PDB (*Potato Dextrose Broth*), NA (*Nutrient Agar*), NB (*Nutrient Broth*), antibiotik terramycin, iodine (I_2), kalium iodida (KI), natrium hidroksida (NaOH), amilum, dan indikator PP.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Isolasi dan Karakterisasi *Penicillium* sp.

Isolasi jamur dilakukan dengan memotong jaringan kulit buah jeruk pascapanen yang terinfeksi *Penicillium* sp. dengan ciri-ciri busuk akibat tumbuhnya koloni *Penicillium* sp. berwarna hijau. Isolasi dilakukan menggunakan gunting steril kemudian diletakkan pada media PDA. Inkubasi dilakukan pada suhu 25°C selama tujuh hari (Muhammad *et al.*, 2018 dimodifikasi). Setelah inkubasi, isolat jamur yang tumbuh dengan perbedaan warna diobservasi. Koloni jamur yang didapat dengan perbedaan warna koloni di sub-kultur pada media PDA baru untuk mendapatkan kultur murni isolat *Penicillium* sp. (Tafinta, 2013).

Karakterisasi *Penicillium* sp. dilakukan pada kultur murni isolat jamur berusia satu minggu. Karakterisasi makroskopis dilakukan berdasarkan ciri morfologi seperti pola pertumbuhan koloni, morfologi konidia (Aleme and Meseret, 2017), dan warna konidia serta *reverse colony* (Bandh *et al.*, 2011). Karakterisasi mikroskopis dilakukan dengan menggunakan metode kultur slide.

Langkah yang dilakukan yaitu memasukkan kaca objek steril ke dalam cawan petri berisi tisu steril kemudian disterilisasi dengan autoklaf. Selanjutnya media PDA berukuran 1 x 1 cm dipotong dengan scalpel steril dan diletakkan di atas kaca objek. Jamur yang akan diidentifikasi diambil dengan ose steril dan diinokulasikan ke media PDA yang telah disiapkan sebelumnya. Kaca penutup steril selanjutnya diletakkan di atas media PDA berisi kultur jamur. Langkah selanjutnya sebanyak 2 ml akuades steril diteteskan ke atas tisu steril untuk menjaga kelembapan. Inkubasi dilakukan pada suhu 25°C (Rosana *et al.*, 2014).

3.4.2 Pembuatan Suspensi *Penicillium* sp.

Isolat *Penicillium* sp. ditumbuhkan pada media PDA selama 7 hari pada 25°C kemudian dibuat suspensi dengan menambahkan 25 ml akuades steril. Spora diaduk perlahan menggunakan ose steril. Spora selanjutnya dihitung menggunakan *hemocytometer* di bawah mikroskop untuk menetapkan konsentrasi suspensi spora 1×10^6 spora/ml (Queb-Gonzales *et al.*, 2020 dimodifikasi).

3.4.3 Pembuatan Larutan Senyawa Antifungi

Larutan kitosan dibuat dengan melarutkan 4 gr kitosan ke dalam 100 ml akuades steril dengan penambahan 2 ml asam asetat, diaduk selama 2 jam. Asam salisilat dibuat dalam konsentrasi 25 mM yang diambil dari stok larutan 1 M yang dibuat sebelumnya. Sebanyak 2,5 ml larutan asam salisilat 1 M ditambahkan dengan 97,5 ml akuades steril untuk mendapatkan konsentrasi 25 mM dalam 100 ml (Khiareddine *et al.*, 2015). Minyak sereh dibuat dalam konsentrasi 6 ml/L dengan cara melarutkan ke dalam air distilasi steril yang mengandung 0,01 Tween 20 (El-Mohamedy *et al.*, 2015). Sodium karbonat dan sodium bikarbonat dibuat dalam konsentrasi 400 mM yang diambil dari stok larutan 1 M yang dibuat sebelumnya. Sodium karbonat dan sodium bikarbonat masing-masing dibuat dalam 10 ml dengan mengambil 4 ml larutan stok 1 M dan ditambah akuades 6 ml (Askarne *et al.*, 2013).

3.4.4 Pembuatan Suspensi Mikroorganisme Antagonis

Isolat *C. oleophila* ditumbuhkan pada media PDA kemudian dibuat suspensi dengan memasukkan satu ose isolat ke dalam erlenmeyer 100 ml berisi 50 ml media PDB. Isolat tersebut diinkubasi pada *rotary shaker* 200 rpm selama 48 jam. Suspensi sel khamir tersebut disentrifugasi pada 8000 x g selama 5 menit

untuk mengendapkan sel. Residu media yang masih tercampur dengan endapan sel dihilangkan dengan menambahkan akuades steril sebanyak dua kali. Konsentrasi sel khamir disesuaikan menjadi 1×10^8 CFU/ml menggunakan *hemocytometer* (Liu *et al.*, 2019 dimodifikasi).

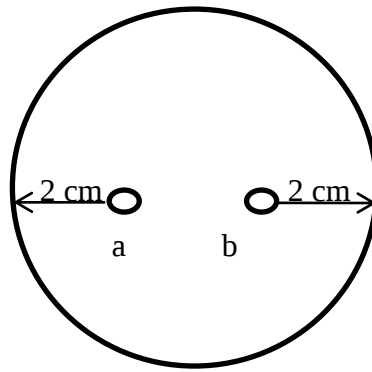
Isolat *T. harzianum* dan *T. asperellum* ditumbuhkan pada media PDA kemudian dibuat suspensi dengan menambahkan 25 ml akuades steril. Spora diaduk perlahan menggunakan ose steril. Spora selanjutnya dihitung menggunakan *hemocytometer* di bawah mikroskop untuk menetapkan konsentrasi suspensi spora 1×10^6 spora/ml (Queb-Gonzales *et al.*, 2020 dimodifikasi).

Isolat *P. fluorescens* dan *B. subtilis* ditumbuhkan pada media NA dengan metode *streak plate*. Inkubasi dilakukan pada suhu 30°C selama 24 jam. Isolat yang tumbuh selanjutnya dimasukkan sebanyak satu ose penuh ke dalam erlenmeyer berisi 50 ml media NB. Isolat diinkubasi pada *rotary shaker* (200 rpm) selama 48 jam pada 30°C (Sangwanich *et al.*, 2013). Cairan bakteri tersebut disentrifugasi pada 4000 x g selama 10 menit untuk mengendapkan bakteri. Residu media yang masih tercampur dengan endapan bakteri dihilangkan dengan menambahkan akuades steril sebanyak dua kali. Konsentrasi bakteri disesuaikan menjadi 1×10^8 CFU/ml menggunakan *hemocytometer* (Wang *et al.*, 2018 dimodifikasi).

3.4.5 Uji Pengendalian *Penicillium* sp. menggunakan Senyawa Antifungi

3.4.5.1 Uji pengendalian *Penicillium* sp. secara *in-vitro*

Uji *in-vitro* dilakukan dengan teknik *dual culture*. Langkah awal yang dilakukan yaitu dengan merendam kertas cakram 5 mm ke dalam masing-masing larutan senyawa antifungi yang telah dibuat. Kertas cakram tersebut diletakkan pada satu sisi cawan sejauh 2 cm dari tepi cawan menggunakan pinset steril, seperti dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah. Selanjutnya 5 mm kultur *Penicillium* sp. berumur satu minggu yang diambil dari bagian tepi koloni diletakkan di sisi cawan yang lain dengan jarak 2 cm. Inkubasi dilakukan pada suhu 28°C selama 5 hari (Torres *et al.*, 2016 dimodifikasi).



Gambar 3.1 Diagram uji *in-vitro* a. kultur *Penicillium* sp.; b. kertas cakram berisi larutan uji senyawa antifungi

Diameter koloni diamati dan diukur setiap hari selama lima hari. Pengamatan mikroskopis miselium *Penicillium* sp. dilakukan menggunakan mikroskop di hari terakhir pengamatan. Hasil yang didapat dibandingkan dengan pengamatan kontrol tanpa perlakuan (Torres *et al.*, 2016 dimodifikasi). Persentase penghambatan *Penicillium* sp. diukur dengan perhitungan menurut Youssef and Ayat (2020) sebagai berikut:

$$\text{CD (hambatan, \%)} = (\text{dc}-\text{dt})/\text{dc} \times 100 \quad \text{Rumus (3.1)}$$

dc = diameter rata-rata kontrol

dt = diameter koloni rata-rata dengan perlakuan

3.4.5.2 Uji Pengendalian *Penicillium* sp. secara *in-vivo*

Uji *in-vivo* dilakukan pada buah jeruk manis dan lemon yang sebelumnya dipastikan bebas dari luka dan busuk, serta jika memungkinkan ukuran dibuat homogen atau sama. Sebelum perlakuan, berat buah dan diameter buah (cm) diukur untuk dibandingkan dengan akhir pengamatan. Buah selanjutnya dicuci dengan akuades lalu dibiarkan mengering, kemudian disterilkan dengan alkohol 70% selama 1-2 menit (Subedi *et al.*, 2016). Langkah yang dilakukan yaitu dengan menyemprotkan larutan uji senyawa antifungi masing-masing sebanyak 1 ml yang telah dibuat ke permukaan buah jeruk. Buah jeruk selanjutnya dikering anginkan kemudian dibuat lubang (2 mm x 1 mm) pada satu sisi jeruk. Lubang yang telah dibuat diisi dengan 10 µl suspensi *Penicillium* sp. dengan konsentrasi 1×10^6 spora/ml. Buah jeruk disimpan pada nampan plastik dengan alas kertas

saring untuk menjaga kelembapan pada suhu 25°C dan selanjutnya dilakukan inkubasi selama 5 hari (Long *et al.*, 2014 dimodifikasi).

Intensitas serangan diamati setiap hari setelah inokulasi dan dihitung mengikuti skala berikut ini (Chen *et al.*, 2016):

0 = Tidak ada gejala

1 = <25% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala

2 = 26-50% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala

3 = >50% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala.

Persentase intensitas serangan selanjutnya dihitung berdasarkan skala dan mengikuti rumus berikut ini (Chen *et al.*, 2016) (Rumus 3.2):

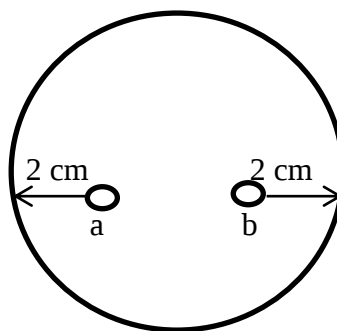
$$\text{Intensitas serangan (\%)} = \frac{\Sigma(\text{no.skala} \times \text{jumlah buah})}{\text{jumlah buah} \times 3} \times 100$$

Rumus (3.2)

3.4.6 Uji Pengendalian *Penicillium* sp. menggunakan Mikroorganisme Antagonis

3.4.6.1 Uji pengendalian *Penicillium* sp. secara *in-vitro*

Uji *in-vitro* dilakukan dengan teknik *dual culture*. Langkah awal yang dilakukan yaitu dengan merendam kertas cakram 5 mm ke dalam masing-masing suspensi mikroorganisme antagonis yang telah dibuat sebelumnya. Kertas cakram tersebut diletakkan pada satu sisi cawan sejauh 2 cm dari tepi cawan menggunakan pinset steril, seperti dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah. Selanjutnya 5 mm kultur *Penicillium* sp. berumur satu minggu yang diambil dari bagian tepi koloni diletakkan di sisi cawan yang lain dengan jarak 2 cm. Inkubasi dilakukan pada suhu 28°C selama 5 hari (Torres *et al.*, 2016 dimodifikasi).



Gambar 3.1 Diagram uji *in-vitro* a. kultur *Penicillium* sp.; b. kertas cakram berisi suspensi mikroorganisme antagonis.

Diameter koloni diamati dan diukur setiap hari selama lima hari. Pengamatan mikroskopis miselium *Penicillium* sp. dilakukan menggunakan mikroskop di hari terakhir pengamatan. Hasil yang didapat dibandingkan dengan pengamatan kontrol tanpa perlakuan (Torres *et al.*, 2016 dimodifikasi). Persentase penghambatan *Penicillium* sp. diukur dengan perhitungan menurut Youssef and Ayat (2020) sebagai berikut:

$$\text{CD (hambatan, \%)} = (\text{dc}-\text{dt})/\text{dc} \times 100 \quad \text{Rumus (3.1)}$$

dc = diameter rata-rata kontrol

dt = diameter koloni rata-rata dengan perlakuan

3.4.6.2 Uji Pengendalian *Penicillium* sp. secara *in-vivo*

Uji *in-vivo* dilakukan pada buah jeruk manis dan lemon yang sebelumnya dipastikan bebas dari luka dan busuk, serta jika memungkinkan ukuran dibuat homogen atau sama. Sebelum perlakuan, berat buah dan diameter buah (cm) diukur untuk dibandingkan dengan akhir pengamatan. Buah selanjutnya dicuci dengan akuades lalu dibiarkan mengering, kemudian disterilkan dengan alkohol 70% selama 1-2 menit (Subedi *et al.*, 2016). Langkah yang dilakukan yaitu dengan menyemprotkan suspensi mikroorganisme antagonis masing-masing sebanyak 1 ml yang telah dibuat ke permukaan buah jeruk. Buah jeruk selanjutnya dikering anginkan kemudian dibuat lubang (2 mm x 1 mm) pada satu sisi jeruk. Lubang yang telah dibuat diisi dengan 10 µl suspensi *Penicillium* sp. dengan konsentrasi 1×10^6 spora/ml. Buah jeruk disimpan pada nampan plastik dengan alas kertas saring untuk menjaga kelembapan pada suhu 25°C dan selanjutnya dilakukan inkubasi selama 5 hari (Long *et al.*, 2014 dimodifikasi).

Intensitas serangan diamati setiap hari setelah inokulasi dan dihitung mengikuti skala berikut ini (Chen *et al.*, 2016):

0 = Tidak ada gejala

1 = <25% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala

2 = 26-50% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala

3 = >50% dari permukaan buah yang menunjukkan gejala.

Persentase intensitas serangan selanjutnya dihitung berdasarkan skala dan mengikuti rumus berikut ini (Chen *et al.*, 2016) (Rumus 3.2):

$$\text{Intensitas serangan (\%)} = \frac{\Sigma(\text{no.skala} \times \text{jumlah buah})}{\text{jumlah buah} \times 3} \times 100$$

Rumus (3.2)

3.4.7 Pengaruh Pengendalian Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis terhadap Kualitas Buah

Parameter kualitas buah yang diamati meliputi kadar gula, total asam, vitamin C, diameter buah, susut bobot buah, tingkat kekerasan buah, dan warna kulit buah. Parameter diameter dan susut bobot buah diukur di awal dan akhir pengamatan. Diameter buah (cm) diukur menggunakan jangka sorong sedangkan susut bobot (%) yang diukur dengan menimbang buah dan dihitung berdasarkan persamaan berikut ini (Sangwanich *et al.*, 2013) (Rumus 3.3):

$$\text{Weight loss (\%)} = \left(\frac{A-B}{A} \right) \times 100$$

Rumus (3.3)

A = berat buah sebelum perlakuan

B = berat buah setelah perlakuan.

Parameter kekerasan buah diukur dengan A TA-XT2i *texture analyzer* (Stable Micro System) yang dilengkapi dengan probe ukuran P/2 untuk menentukan *peak force*. Warna kulit buah diukur menggunakan *color chart Royal Horticultural Society* dengan mencocokkan warna kulit buah sampai sesuai atau mendekati. Hasil yang didapatkan dicocokkan dengan nilai CIELAB untuk melihat kategori nilai L* (*darkness to lightness*), a* (*redness to greeness*), dan b* (*yellowness to blueness*) (Post and Mark, 2020).

Kadar gula buah diukur menggunakan refraktometer. Terlebih dahulu refraktometer dibersihkan ke arah bawah menggunakan tisu kemudian akuades ditetaskan pada bagian prisma dan *day light plate*. Sisa akuades dibersihkan kembali dengan tisu sampai bersih. Untuk mengetahui nilai kadar yang diamati langkah yang dilakukan yaitu dengan meneteskan 1-3 tetes sampel jeruk lemon dan manis pada prisma dan diarahkan pada tempat yang bercahaya. Nilai dari skala yang terbentuk kemudian dicatat. Setelah pengamatan, bagian prisma dan kaca dibersihkan dengan membilas menggunakan akuades dan dikeringkan menggunakan tisu (Harmain *et al.*, 2018).

Kandungan vitamin C diukur dengan metode titrasi. Langkah pertama yang dilakukan yaitu menimbang sampel sari jeruk manis dan lemon sebanyak 10 gram kemudian dilarutkan dengan 100 ml akuades ke dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Sampel selanjutnya diambil sebanyak 25 ml dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer 250 ml kemudian ditambah dengan 1 ml amilum. Sampel dititrasi sampai warna biru terbentuk dan dicatat volume iodin yang terpakai dalam titrasi (Riscahyani *et al.*, 2019 dimodifikasi). Kadar vitamin C yang terkandung dalam jeruk manis dan lemon dihitung berdasarkan persamaan berikut ini (Ngginak *et al.*, 2019) (Rumus 3.4):

$$\text{Kadar vit. C} = \frac{(\text{Vol I}_2 \times 0,88 \times Fp) \times 100}{W \text{ sampel (g)}} \quad \text{Rumus (3.4)}$$

Vol I₂ : volume iodium (ml)

0,88 : 0,88 mg vitamin C setara dengan 1 ml larutan I₂ 0,01 N

Fp : faktor pengenceran

Ws : berat sampel (g).

Pengukuran total asam dilakukan dengan metode titrasi menggunakan NaOH. Sampel sari jeruk manis dan lemon ditimbang sebanyak 10 gram kemudian dilarutkan dengan 100 ml akuades ke dalam labu ukur 100 ml sampai tanda batas. Sampel yang dititrasi diambil sebanyak 10 ml dan ditambahkan dengan indikator fenoftalen. Titik akhir titrasi ditandai dengan terbentuknya warna merah muda yang stabil. Kandungan total asam selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan berikut ini (Kamaluddin dan Mustika, 2018) (Rumus 3.5):

$$\text{TAT (\%)} = \frac{(\text{ml NaOH} \times N \text{ NaOH} \times fp) \times 100\%}{\text{Berat sampel (gram)}} \quad \text{Rumus (3.4)}$$

TAT : total asam terlarut

Fp : faktor pengenceran

3.5 Analisis Data

Data yang didapatkan pada penelitian ini ditabulasi dan dibuat diagram menggunakan MS Excel 2010. Data selanjutnya diuji dengan *Analysis of*

Variance (ANOVA) pada taraf 5% dan diuji lanjut dengan *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT). Analisis data diproses menggunakan IBM SPSS *Statistics* ver. 16.0.

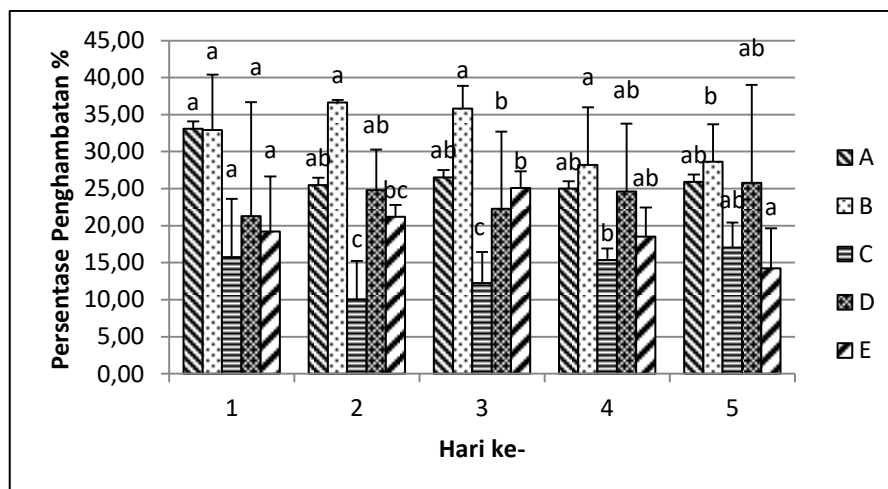
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengendalian *Penicillium* sp. pada Jeruk Pascapanen menggunakan Senyawa Antifungi

4.1.1 Persentase penghambatan *Penicillium* sp. oleh senyawa antifungi secara *in-vitro*

Persentase penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan senyawa antifungi dilakukan secara *in-vitro* dan hasil yang didapatkan berupa diameter penghambatan dapat dilihat pada lampiran 3.1. Masing-masing perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penghambatan *Penicillium* sp. seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Berdasarkan hasil yang didapatkan diketahui perlakuan menggunakan asam salisilat menunjukkan pengaruh paling besar. Sementara itu, perlakuan menggunakan sodium bikarbonat menunjukkan pengaruh yang paling kecil diantara perlakuan yang lain.



Gambar 4.1 Persentase penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat

Pemberian perlakuan asam salisilat pada penelitian ini menunjukkan pengaruh yang besar selama pengamatan berlangsung. Namun dapat diketahui aktivitas asam salisilat mulai mengalami penurunan di hari ke empat meskipun pengaruh yang diberikan masih cukup tinggi dibandingkan dengan perlakuan yang

lain. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh perubahan pH asam salisilat selama pengamatan berlangsung sehingga menurunkan aktivitas penghambatan senyawa tersebut. Seperti yang disebutkan oleh Neto *et al.* (2015), asam salisilat pada pH standar yaitu 2,8 dapat menghambat germinasi spora *P. expansum* dan menunjukkan penurunan potensi antifungi pada pH 3,5 akibat adanya alkalisasi dari larutan asam salisilat.

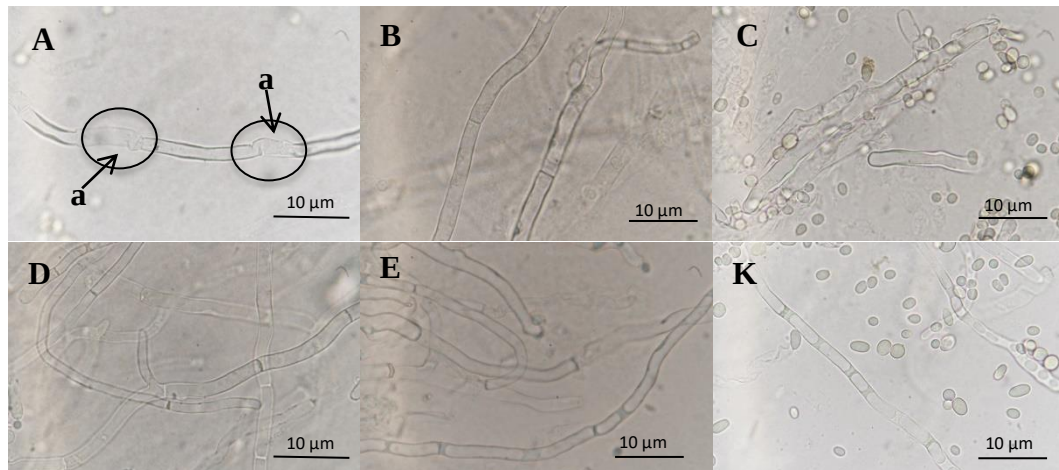
Penghambatan *Penicillium* sp. oleh asam salisilat dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Seperti yang disebutkan oleh Chen *et al.* (1993), asam salisilat mampu mengikat protein dan bekerja dalam dekomposisi hidrogen peroksida intraseluler yang dapat menonaktifkan konidia. Sementara itu dalam penelitian oleh Neto *et al.* (2015) menyebutkan bahwa asam salisilat secara langsung dapat melakukan penetrasi ke dalam dinding sel *P. expansum* secara *in-vitro* dan memicu interaksi dengan membran plasma konidia sehingga mempengaruhi permeabilitas membran dan menyebabkan sel lisis selain itu juga menyebabkan kerusakan pada protein yang bertanggung jawab terhadap permeabilitas seluler dan meningkatkan konsentrasi spesies oksigen reaktif.

Perlakuan lain yang menunjukkan aktivitas penghambatan dengan persentase tertinggi kedua setelah asam salisilat adalah kitosan. Tingkat keefektifan kitosan diketahui dipengaruhi oleh jenis kitosan yang digunakan, dan pada penelitian ini kitosan yang digunakan adalah dalam bentuk polimer bebas. Seperti yang disebutkan oleh Chasanah *et al.* (2013), kitosan dengan berat molekul rendah seperti kitooligosakarida menunjukkan aktivitas penghambatan jamur yang lebih besar dibandingkan dengan bentuk polimer kitosan. Proses penghambatan yang dilakukan oleh kitosan seperti yang disebutkan oleh Darsef and Suhartono (2015) adalah melalui kemampuannya dalam mengganggu residu bermuatan negatif dari makromolekul pada permukaan jamur. Selanjutnya senyawa ini akan membentuk kompleks polielektrolitik dan mengganggu permeabilitas membran sehingga terjadi kebocoran elektrolit intraseluler dan konstituen berprotein dari jamur.

Aktivitas penghambatan oleh sodium karbonat dan bikarbonat pada penelitian ini menunjukkan pengaruh yang relatif rendah. Hal tersebut dapat terjadi karena efek yang diberikan kedua senyawa tersebut hanya bersifat

fungistatik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Askarne *et al.* (2013), persentase penghambatan yang ditunjukkan oleh sodium karbonat dan bikarbonat pada konsentrasi tertentu hanya memiliki sifat fungistatik daripada fungisida terhadap *P. italicum* secara *in-vitro*. Penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan senyawa antifungi secara *in-vitro* dapat dilihat pada lampiran 4.1.

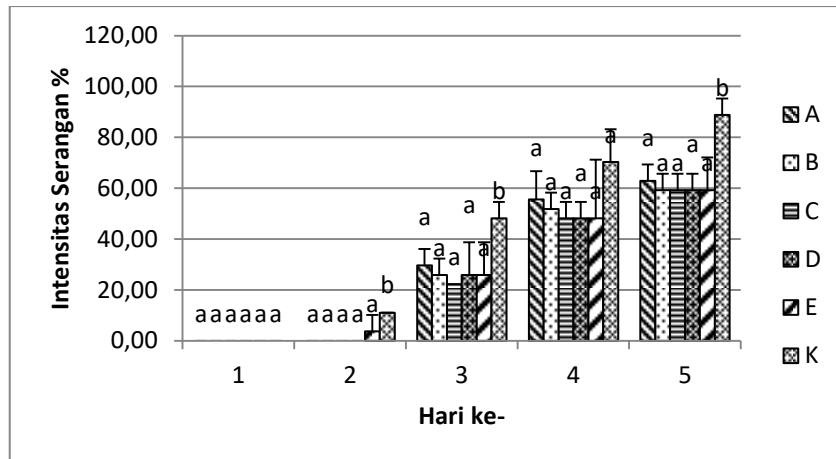
Aktivitas penghambatan *Penicillium* sp. oleh perlakuan yang diberikan juga diamati secara mikroskopis pada akhir pengamatan. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan diketahui miselium *Penicillium* sp. dengan pemberian kitosan menunjukkan adanya perubahan morfologis berupa ketidaknormalan bentuk miselium *Penicillium* sp. dibandingkan dengan kontrol. Ketidaknormalan miselium tersebut ditunjukkan pada tanda panah yang dapat dilihat pada gambar 4.2 A bagian a seperti yang dapat dilihat di bawah. Hasil yang sama juga disebutkan oleh Junior *et al.* (2012), efek dari kitin, kitosan, dan oligomernya terhadap morfologi fungi seperti *B. cinerea*, *A. alternate*, dan *P. expansum* secara mikroskopis berupa percabangan miselium yang berlebihan, pembengkakan, bentuk miselium abnormal, dan pengurangan ukuran hifa. Adanya perubahan morfologis dari *Penicillium* sp. dengan pemberian kitosan dapat menjadi indikasi adanya aktivitas perlindungan terhadap patogen tersebut. Seperti yang disebutkan oleh Darsef and Suhartono (2015), aktivitas kitosan dalam mempengaruhi pertumbuhan jamur adalah dengan mengganggu residu bermuatan negatif dari makromolekul yang terpapar pada jamur membentuk kompleks polielektrolitik, mempengaruhi permeabilitas membran, dan menyebabkan kebocoran elektrolit intraseluler dan konstituen berprotein. Sementara itu pemberian perlakuan yang lain pada penelitian ini tidak menunjukkan perubahan terhadap morfologi *Penicillium* sp. dibandingkan dengan kontrol.



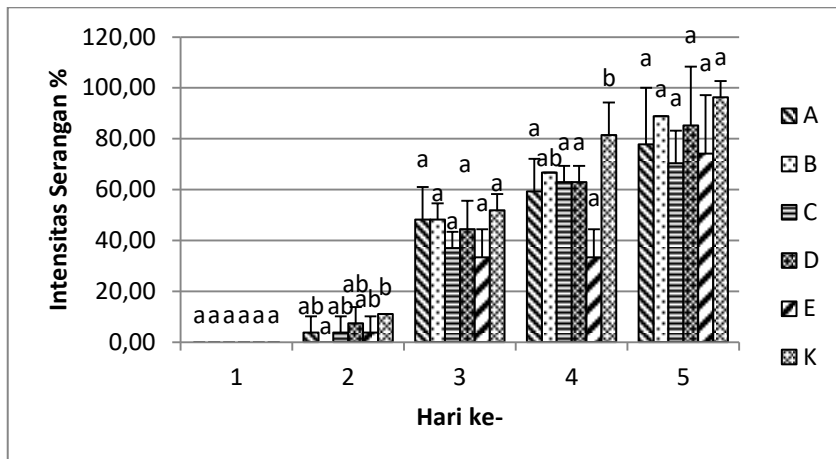
Gambar 4.2 Pengamatan mikroskopis *Penicillium* sp. dengan perlakuan menggunakan senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) Kontrol. Keterangan: (a) miselium *Penicillium* sp. abnormal.

4.1.2 Intensitas serangan *Penicillium* sp. menggunakan senyawa antifungi secara *in-vivo*

Pengamatan intensitas serangan *Penicillium* sp. dengan pengendalian menggunakan senyawa antifungi dilakukan secara *in-vivo*. Hasil pengamatan intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis dapat dilihat pada lampiran 3.3 dan untuk jeruk lemon pada lampiran 3.4. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa gejala awal serangan *Penicillium* sp. mulai terjadi pada 48 jam setelah inokulasi. Gejala awal yang terlihat berupa pelunakan di area permukaan buah sekitar luka. Gejala awal serangan *Penicillium* sp. mulai terlihat pada semua jeruk lemon pada semua perlakuan yang diberikan serta kontrol seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.4. Persentase intensitas serangan dengan nilai tertinggi terdapat pada kontrol dengan nilai 11,11%. Sementara itu, pada jeruk manis gejala awal serangan hanya terlihat pada perlakuan menggunakan sodium bikarbonat dan kontrol dengan persentase masing-masing sebesar 3,70% dan 11,11%. Grafik persentase intensitas serangan pada jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi dapat dilihat pada gambar 4.3 di bawah.



Gambar 4.3 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis menggunakan senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

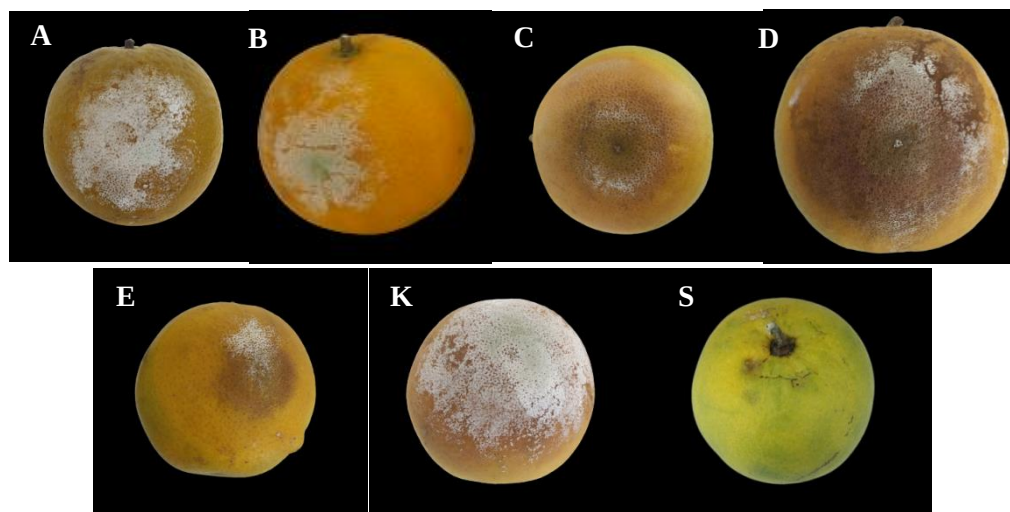


Gambar 4.4 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk lemon menggunakan senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Data hasil pengamatan menunjukkan bahwa intensitas serangan *Penicillium* sp. dengan persentase tertinggi terdapat pada kontrol baik untuk jeruk manis dan lemon. Persentase intensitas serangan yang dihasilkan senilai 88,89% dan 96,30%. Sementara itu pemberian perlakuan menggunakan asam salisilat juga menunjukkan intensitas serangan yang tinggi ketika diaplikasikan pada jeruk lemon dengan persentase 88,89% yang ditandai dengan pertumbuhan *Penicillium* sp. berwarna hijau dengan tepi koloni putih seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6 bagian B. Hasil yang sama juga ditunjukkan oleh Zhang *et al.* (2008) yang menyebutkan bahwa asam salisilat tidak dapat mengurangi insiden penyakit akibat

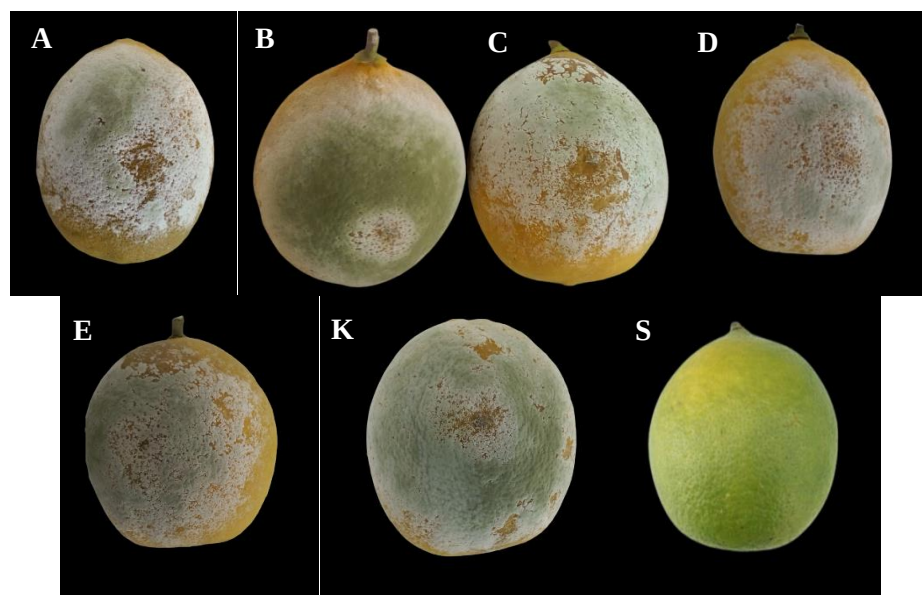
gray mold pada buah persik. Ketidakmampuan asam salisilat dalam mengendalikan *Penicillium* sp. secara *in-vivo* pada jeruk lemon tersebut dapat diakibatkan karena rendahnya viskositas senyawa ini. Seperti yang disebutkan oleh Neto *et al.* (2016), rendahnya viskositas asam salisilat menyebabkan senyawa ini mudah mengalir pada permukaan buah tanpa membentuk perlindungan secara fisik yang dapat melindungi luka terhadap patogen.

Persentase intensitas serangan tertinggi kedua setelah kontrol pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan kitosan. Persentase serangan yang dihasilkan senilai 62,96% yang ditandai dengan area pelunakan yang lebih luas dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Pertumbuhan *Penicillium* sp. juga terlihat di sekitar luka berupa koloni berwarna putih seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5 A. Kurangnya keefektifan kitosan dalam mengendalikan *Penicillium* sp. pada penelitian ini dapat disebabkan oleh jenis kitosan dan pelarut asam asetat yang digunakan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.* (2009), menyebutkan bahwa kitosan yang dilarutkan dalam asam laktat memiliki efek penghambatan yang lebih baik daripada dilarutkan dalam asam format dan asam asetat. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa kitosan dalam bentuk nanopartikel dengan permukaan molekul yang luas berinteraksi lebih efektif terhadap jamur dibandingkan dalam bentuk polimer kitosan bebas (Ing *et al.*, 2012).



Gambar 4.5 Hasil uji senyawa antifungi pada jeruk manis secara *in-vivo*. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol; S) jeruk manis sehat (Dokumentasi Pribadi)

Data hasil pengamatan menunjukkan bahwa persentase intensitas serangan dengan nilai lebih rendah pada jeruk manis yaitu sebesar 59,26% terdapat pada perlakuan menggunakan asam salisilat, minyak sereh, sodium karbonat, dan bikarbonat. Gejala serangan yang terlihat berupa area pelunakan di sekitar luka dan mulai tumbuhnya koloni *Penicillium* sp. berwarna putih (Gambar 4.5). Sementara itu, pada jeruk lemon persentase intensitas serangan yang lebih rendah berkisar antara 85-70% yang ditunjukkan pada perlakuan menggunakan sodium karbonat, sodium bikarbonat, kitosan, dan minyak sereh (Gambar 4.6). Gejala serangan yang terlihat pada jeruk lemon dengan perlakuan tersebut yaitu berupa area pelunakan yang lebih luas dibandingkan pada jeruk manis dan tumbuhnya koloni *Penicillium* sp. berwarna hijau dengan tepi putih seperti dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil uji senyawa antifungi pada jeruk lemon secara *in-vivo*. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol; S) jeruk lemon sehat (Dokumentasi Pribadi).

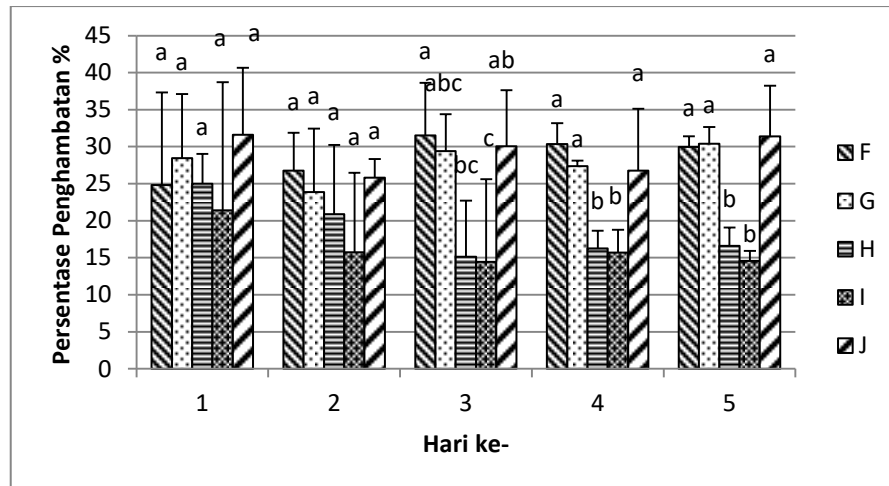
Senyawa antifungi yang digunakan pada penelitian ini memiliki mekanisme tersendiri dalam mengendalikan *Penicillium* sp. secara *in-vivo*. Seperti yang disebutkan oleh Majewska *et al.* (2019), aktivitas antifungi dari minyak sereh terjadi karena adanya dua isomer *citral* yang dapat menyebabkan kerusakan membran sel jamur. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa minyak sereh dapat

mengontrol kerusakan buah akibat *P. digitatum* dan *P. italicum* lebih baik daripada minyak lain seperti neem (*Azadirachta indica*), eukaliptus (*Eucalyptus* sp.), dan cengkeh (*Syzygium aromaticum*) karena adanya kerusakan membran sel jamur yang diakibatkan oleh minyak sereh (Jhalegar *et al.*, 2014). Sementara itu, aktivitas antifungi dari asam salisilat terjadi melalui induksi akumulasi H_2O_2 pada jeruk yang kemudian mengaktifkan SAR (*Systemic Acquired Resistance*) untuk melindungi kerusakan jaringan akibat patogen. SAR tersebut akan mengaktifasi *PR-genes* yang merupakan kode protein dengan aktivitas antimikroba (Asghari and Morteza, 2010). Aktivitas antifungi yang diberikan oleh sodium karbonat dan bikarbonat seperti yang disebutkan oleh Kanashiro *et al.* (2020), dipengaruhi oleh konsentrasi dari kedua senyawa tersebut yang menyebabkan terjadinya tekanan osmotik sehingga mengurangi populasi jamur pada buah. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini secara *in-vitro* dan *in-vivo* seperti yang disebutkan sebelumnya masih menunjukkan hasil yang tidak seragam. Hal tersebut dapat terjadi karena faktor konsentrasi larutan senyawa antifungi yang digunakan maupun metode yang digunakan sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

4.2 Pengendalian *Penicillium* sp. pada Jeruk Pascapanen Menggunakan Mikroorganisme Antagonis

4.2.1 Persentase penghambatan *Penicillium* sp. oleh mikroorganisme antagonis secara *in-vitro*

Persentase penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan mikroorganisme antagonis dilakukan secara *in-vitro* dan hasil yang didapatkan berupa diameter penghambatan dapat dilihat pada lampiran 3.2. Masing-masing perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap penghambatan *Penicillium* sp. seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah. Berdasarkan hasil yang didapat diketahui perlakuan menggunakan jamur antagonis yaitu *T. asperellum* menunjukkan pengaruh paling besar namun tidak berbeda nyata dengan perlakuan menggunakan jamur antagonis lain yaitu *T. harzianum* dan khamir antagonis yang digunakan yaitu *C. oleophila*. Penghambatan *Penicillium* sp. dengan persentase yang rendah ditunjukkan oleh perlakuan menggunakan bakteri antagonis yaitu *P. fluorescens* dan *B. subtilis*.



Gambar 4.7 Persentase penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*

Penggunaan mikroorganisme antagonis jenis jamur dan khamir pada penelitian ini menunjukkan pengaruh yang paling baik terhadap penghambatan *Penicillium* sp. secara *in-vitro*. Sementara itu, penggunaan bakteri antagonis pada penelitian ini memberikan pengaruh yang lebih kecil. Pengaruh yang diberikan antara bakteri dengan jamur dan khamir antagonis pada penelitian ini juga menunjukkan perbedaan pengaruh yang signifikan berdasarkan uji *Duncan* dengan $P < 0,05$. Berdasarkan data yang didapat diketahui persentase penghambatan *Penicillium* sp. dengan nilai terbesar terdapat pada perlakuan menggunakan jamur antagonis yaitu *T. harzianum* dan *T. asperellum*. Proses penghambatan yang dilakukan kedua jamur antagonis tersebut terjadi karena keduanya dapat tumbuh dengan cepat melebihi pertumbuhan *Penicillium* sp. secara *in-vitro*. Hal yang sama juga disebutkan oleh Hussain (2018), spesies *T. harzianum* dapat digunakan secara *in-vitro* melawan fitopatogen *P. digitatum* secara efektif karena pertumbuhan miselinya yang cepat sehingga kemampuan antagonis menjadi lebih baik. Menurut El-Komy *et al.* (2015), *T. asperellum* diketahui dapat memproduksi enzim pendegradasi dinding sel yang mengindikasikan aktivitas antagonis yang tinggi pada *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL).

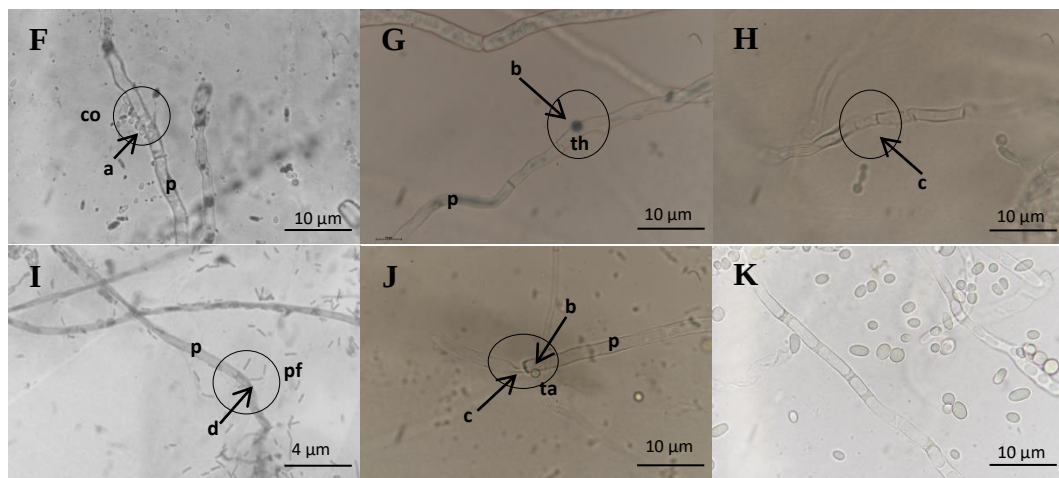
Pemberian perlakuan *C. oleophila* pada penelitian ini juga menunjukkan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap penghambatan *Penicillium* sp.

secara *in-vitro* dibandingkan dengan penggunaan bakteri antagonis. Mekanisme antagonisme dari *C. oleophila* dapat disebabkan karena adanya persaingan nutrisi serta ruang dengan patogen *Penicillium* sp. secara *in-vitro*. Menurut Freimoser *et al.* (2019), spesies *Candida* seperti *C. oleophila* diketahui memiliki enzim hidrolitik seperti protease, kitinase dan glukonase, serta memiliki senyawa volatil yang mengindikasikan adanya aktivitas antifungi. Penggunaan *B. subtilis* pada penelitian ini menunjukkan hasil yang kurang efektif dibandingkan dengan perlakuan menggunakan jamur dan khamir antagonis secara *in-vitro*. Hal tersebut dapat disebabkan karena bakteri ini tidak dapat memproduksi β -glukanase ketika dihadapkan pada *Penicillium* sp. secara *in-vitro* seperti yang dapat ditemukan ketika diaplikasikan pada *Fusarium oxysporum*. Keberadaan β -glukanase tersebut diketahui bertindak sebagai biokontrol jamur dengan mengganggu pemanjangan hifa dan menghambat pertumbuhan jamur (Putri *et al.*, 2021). Penghambatan *Penicillium* sp. menggunakan mikroorganisme antagonis secara *in-vitro* dapat dilihat pada lampiran 4.2.

Aktivitas penghambatan *Penicillium* sp. oleh mikroorganisme antagonis yang diberikan juga diamati secara mikroskopis pada akhir pengamatan. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan diketahui semua sel mikroorganisme antagonis yang digunakan nampak berinteraksi dengan miselium *Penicillium* sp. kecuali pada *B. subtilis*. Interaksi yang ditunjukkan berupa sel dari mikroorganisme antagonis yang menempel pada miselium *Penicillium* sp.. Penggunaan *B. subtilis* pada penelitian ini terlihat menunjukkan kerusakan pada miselium *Penicillium* sp. seperti yang ditunjukkan oleh tanda panah pada gambar 4.8 H bagian “c”. Menurut Leelasupakul *et al.*, (2008) kerusakan hifa oleh *B. subtilis* juga berkaitan dengan penghambatan yang terjadi akibat produksi VOC (*volatile organic compounds*), namun diketahui senyawa tersebut hanya bersifat fungistatik.

Interaksi antara *Penicillium* sp. dan mikroorganisme antagonis yang digunakan pada penelitian ini yang pertama terlihat pada *C. oleophila*. Sel *C. oleophila* tampak menempel pada miselium *Penicillium* sp. seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.8 F bagian “a”. Tanda “co” pada gambar 4.8 F tersebut merupakan sel *C. oleophila* yang nampak menempel pada miselium *Penicillium*

sp. yang ditandai dengan “p”. Menempelnya sel *C. oleophila* pada miselium merupakan bentuk biokontrol yang dilakukan untuk melawan patogen. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa penempelan *C. albidus* pada hifa *M. fructiola* dan *P. expansum* terjadi secara umum yang menunjukkan peran dalam aktivitas biokontrol. Khamir akan memproduksi enzim litik ketika terdapat patogen yang dapat meningkatkan kemampuan khamir dalam menempel ke hifa patogen (Chan and Shiping, 2005).



Gambar 4.8 Pengamatan mikroskopis *Penicillium* sp. dengan perlakuan menggunakan mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) Kontrol. Keterangan: (a) sel *C. oleophila* pada miselium *Penicillium* sp.; (b) spora *T. harzianum* pada miselium *Penicillium* sp.; (c) miselium *Penicillium* sp. abnormal; (d) sel *P. fluorescens* pada miselium *Penicillium* sp.; (e) sel *T. asperellum* pada miselium *Penicillium* sp.; (co) sel *C. oleophila*; (th) spora *T. harzianum*; (pf) sel *P. fluorescens*; (ta) spora *T. asperellum*; (p) miselium *Penicillium* sp.

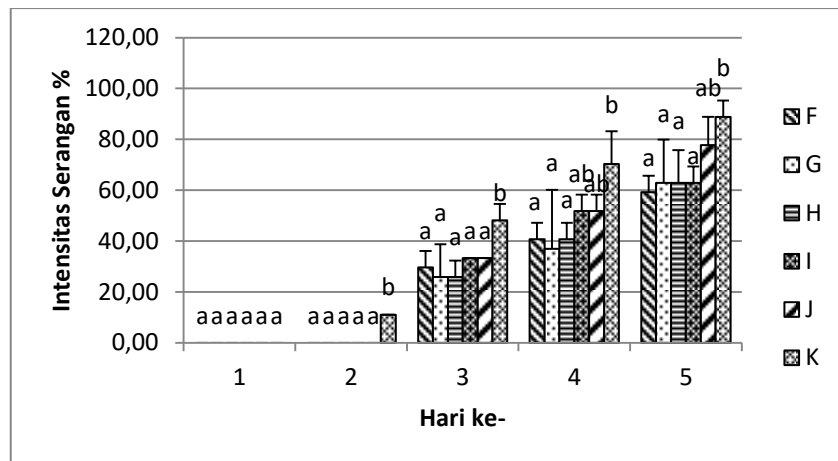
Interaksi selanjutnya ditunjukkan oleh sel *P. fluorescens* seperti dapat dilihat pada gambar 4.8 I bagian “d” yang ditunjukkan dengan tanda panah. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan terlihat sel *P. fluorescens* yang ditandai dengan “pf” nampak menempel pada miselium *Penicillium* sp. (ditandai dengan “p”). Penempelan tersebut menjadi bentuk antagonisme yang dilakukan oleh *P. fluorescens* terhadap *Penicillium* sp.. Menurut Yendyo *et al.* (2018), *P. fluorescens* secara jelas dapat menghalangi pertumbuhan *Ralstonia* spp. berdasarkan pengamatan mikroskopis yang ditandai dengan adanya sel yang

berinteraksi dengan hifa. Mekanisme yang dilakukan dalam menghalangi pertumbuhan tersebut adalah melalui produksi beberapa senyawa. Senyawa yang dihasilkan oleh *P. fluorescens* dalam menghambat pertumbuhan *Penicillium* sp. seperti yang disebutkan oleh Vanitha and Ramjegathesh (2014) antara lain adalah siderofor, antibiotik, enzim litik, dan β -1,3-glukanase.

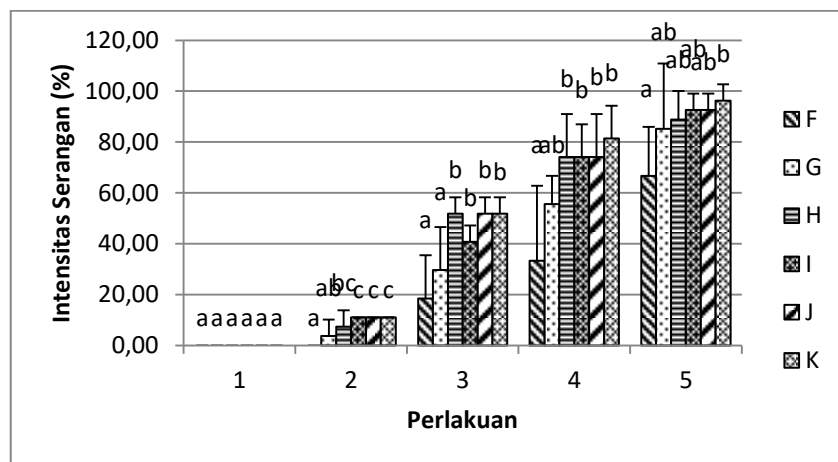
Interaksi selanjutnya ditunjukkan oleh spora *T. harzianum* (“th”) dan *T. asperellum* (“ta”) yang ditunjukkan dengan tanda panah pada gambar 4.8 G dan J bagian “b”. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan juga diketahui bahwa hifa *Penicillium* sp. mengalami lisis ketika spora *T. asperellum* menempel pada hifa seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.8 J bagian “c” yang ditunjukkan dengan tanda panah. Terjadinya lisis pada hifa akibat *Trichoderma* spp. seperti yang disebutkan oleh Kuzmanovska *et al.* (2018) merupakan salah satu bentuk mikoparasitisme langsung dalam melawan patogen. Menurut Suharna (2003), lisis dan vakuolasi pada *P. capsici* yang disebabkan oleh *T. harzianum* terjadi karena adanya aktivitas enzim selulase.

4.2.2 Intensitas serangan *Penicillium* sp. menggunakan mikroorganisme antagonis secara *in-vivo*

Pengamatan yang dilakukan pada uji *in-vivo* dengan menggunakan mikroorganisme antagonis sebagai pengendali *Penicillium* sp. menunjukkan hasil yang beragam. Hasil pengamatan intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis dapat dilihat pada lampiran 3.5 dan untuk jeruk lemon pada lampiran 3.6. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa gejala awal serangan *Penicillium* sp. mulai terjadi pada 48 jam setelah inokulasi berupa pelunakan buah jeruk di area sekitar luka yang terdapat pada kulit buah. Gejala awal serangan *Penicillium* sp. mulai terlihat pada jeruk lemon dengan perlakuan menggunakan *T. harzianum*, *B. subtilis*, *P. fluorescens*, *T. asperillum*, dan kontrol setelah 48 jam inokulasi seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.9. Sementara itu, pada jeruk manis gejala awal serangan hanya terlihat pada kontrol seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.10. Serangan *Penicillium* sp. mulai terlihat pada semua perlakuan baik pada jeruk manis dan lemon di hari ke tiga setelah inokulasi atau pada 72 jam setelah inokulasi.



Gambar 4.9 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis menggunakan mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.



Gambar 4.10 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk lemon menggunakan mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

Intensitas serangan *Penicillium* sp. yang tinggi secara umum terdapat pada jeruk lemon yang ditandai dengan area pelunakan akibat pembusukan yang lebih luas pada buah jeruk. Selain pelunakan buah, pertumbuhan *Penicillium* sp. pada jeruk lemon juga terlihat lebih cepat yang ditandai dengan warna koloni mulai dari putih sampai hijau. Gambar hasil pengamatan uji *in-vivo* dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12 di bawah. Berdasarkan hasil yang didapatkan, jeruk lemon dengan perlakuan menggunakan *P. fluorescens* dan *T. asperellum* menunjukkan persentase intensitas serangan yang paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan

yang lain. Namun dapat diketahui antar perlakuan tersebut tidak menunjukkan perbedaan pengaruh yang signifikan.

Adanya intensitas serangan yang tinggi pada lemon dengan perlakuan menggunakan *P. fluorescens* juga ditandai dengan pertumbuhan jamur yang lebih lebar. *Penicillium* sp. yang tumbuh terlihat berwarna hijau dengan tepi putih namun pertumbuhannya tidak seluas yang terdapat pada kontrol. Ketidakefektifan penggunaan *P. fluorescens* pada penelitian ini dapat disebabkan karena faktor suhu yang digunakan selama pengamatan yaitu pada suhu ruang. Seperti yang disebutkan oleh Demirci (2011), secara bertahap *P. fluorescens* akan kehilangan efisiensinya dan tidak mampu menghambat perkembangan *blue mold* atau *P. italicum* pada kondisi suhu 24°C. Penelitian lain oleh Wang *et al.* (2018) juga menyebutkan bahwa dalam penelitiannya, *P. fluorescens* tidak memiliki kemampuan dalam memproduksi antibiotik meskipun dalam konsentrasi rendah.

Persentase intensitas serangan *Penicillium* sp. dengan nilai paling rendah terdapat pada perlakuan menggunakan *C. oleophila* yang diaplikasikan pada jeruk manis dan lemon. Persentase intensitas serangan yang ditunjukkan sebesar 59,26% pada jeruk manis dan 66,67% pada jeruk lemon. Intensitas serangan yang lebih rendah ditandai dengan area pelunakan akibat luka yang lebih sempit dan pertumbuhan *Penicillium* sp. yang belum meluas. Warna koloni dari *Penicillium* sp. juga masih terlihat berwarna putih yang muncul disekitar permukaan buah yang mengalami luka. Keefektifan penggunaan *C. oleophila* pada penelitian ini seperti yang disebutkan oleh Droby *et al.* (2002) diakibatkan karena adanya induksi resistensi yang dilakukan oleh *C. oleophila* dengan meningkatkan aktivitas *phenylalanine ammonia lyase* dan fitoaleksin seperti umbelliferone, scoparone, dan scopoletin. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2019), *C. oleophila* juga diketahui dapat menginduksi resistensi pada inang dan dapat tumbuh dengan cepat pada luka buah sehingga meningkatkan aktivitas biokontrolnya.



Gambar 4.11 Hasil uji mikroorganisme antagonis pada jeruk manis secara *in-vivo*. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol; S) jeruk manis sehat (Dokumentasi Pribadi).



Gambar 4.12 Hasil uji mikroorganisme antagonis pada jeruk lemon secara *in-vivo*. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol; S) jeruk lemon sehat (Dokumentasi Pribadi).

Pemberian perlakuan menggunakan mikroorganisme antagonis pada penelitian ini menunjukkan perbedaan pengaruh yang tidak signifikan antar perlakuan berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh metode yang digunakan pada penelitian ini. Seperti yang disebutkan oleh Mendizábal *et al.* (2011), perlakuan menggunakan *B. subtilis*

strain CPA-8 menunjukkan perlindungan yang minimal atau tidak efisien terhadap *green* dan *blue mold* penyebab busuk buah jeruk ketika diaplikasikan sebelum patogen. Sementara itu menurut penelitian oleh Batta (2004), *T. harzianum* yang disuspensikan dalam formulasi khusus dapat melindungi apel dari pembusukan akibat *P. expansum*. Seperti yang disebutkan oleh Zin and Noor (2020), *T. harzianum* mengeluarkan *peptaibols* yang merupakan kelompok peptida antimikroba sebagai metabolit sekunder yang menghambat aktivitas sintase β -(1,3) glucan dari patogen sehingga mencegah kerusakan dinding sel pada buah.

Hasil yang berbeda pada penelitian ini ditunjukkan oleh perlakuan menggunakan *T. asperellum* yang memberikan perlindungan yang rendah terhadap *Penicillium* sp. ditunjukkan dengan tingginya persentase intensitas serangan pada jeruk. Hasil yang didapatkan ini berbeda dengan hasil uji *in-vitro* yang dilakukan sebelumnya yaitu berupa penghambatan pertumbuhan *Penicillium* sp. yang tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena *T. asperellum* tidak dapat menghambat produksi spesies oksigen reaktif sebagai respon adanya infeksi dari patogen. Menurut penelitian oleh Herrera-Téllez *et al.* (2019), *T. asperellum* dapat menghambat produksi ROS (*reactive oxygen species*) sebagai respon dari adanya patogen *Fusarium oxysporum* dan *Botrytis cinerea* pada tomat. Berdasarkan hasil tersebut dapat diduga jika *T. asperellum* belum mampu menghambat *Penicillium* sp. karena tidak adanya pengurangan produksi spesies oksigen reaktif sebagai respon adanya infeksi *Penicillium* sp. pada buah jeruk, namun perlu dilakukan uji lebih lanjut pada penelitian selanjutnya untuk mengonfirmasi hal tersebut. Uji lanjut yang dapat dilakukan yaitu dalam variasi konsentrasi dari suspensi mikroorganisme antagonis yang digunakan maupun dari metode yang dilakukan sehingga didapatkan hasil yang lebih baik.

4.3 Pengaruh pengendalian *Penicillium* sp. dengan senyawa antifungi dan mikroorganisme antagonis terhadap kualitas buah jeruk

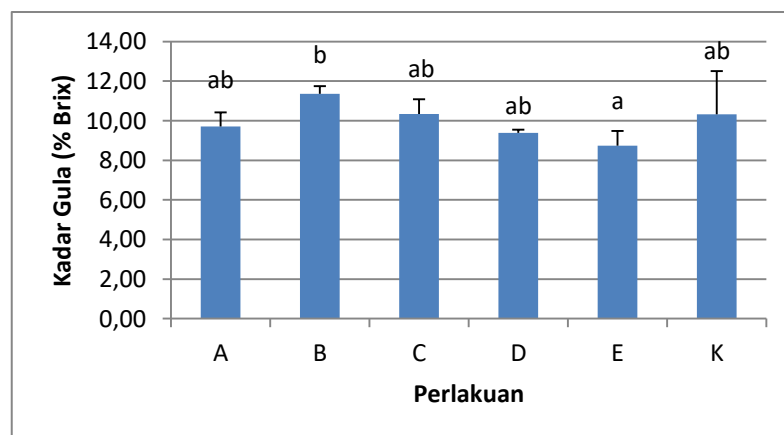
4.3.1 Pengaruh pemberian senyawa antifungi terhadap kualitas buah jeruk

Hasil pengamatan dan pengukuran parameter kualitas buah jeruk manis dan lemon setelah pemberian senyawa antifungi dapat dilihat pada lampiran 3.8 dan 3.9. Parameter yang diamati meliputi kandungan gula, total asam, vitamin C, diameter buah, susut bobot buah, tingkat kekerasan buah, dan warna kulit buah.

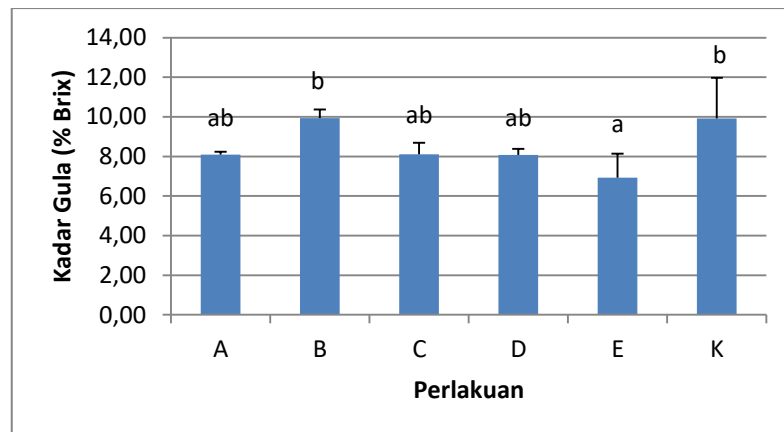
Hasil perhitungan yang dilakukan menunjukkan hasil yang beragam baik pada setiap perlakuan yang diberikan dan varietas jeruk yang digunakan.

Hasil pengukuran kandungan gula secara umum menunjukkan bahwa kandungan gula jeruk manis lebih tinggi daripada lemon. Pemberian perlakuan senyawa antifungi juga diketahui hanya memberikan pengaruh terhadap kandungan gula pada jeruk lemon. Kandungan gula tertinggi pada jeruk manis dan lemon berdasarkan hasil pengukuran terdapat pada perlakuan menggunakan asam salisilat dengan persentase 11,36% Brix dan 9,93% Brix. Kandungan gula terendah pada jeruk manis dengan kadar 8,31% Brix terdapat pada kontrol positif dan 6,93% Brix pada jeruk lemon dengan perlakuan menggunakan sodium bikarbonat.

Kandungan gula yang tinggi pada jeruk dengan perlakuan menggunakan asam salisilat dapat disebabkan karena tingkat intensitas serangan yang rendah pada jeruk dengan perlakuan tersebut sehingga tidak mempengaruhi kandungan gula pada jeruk. Berdasarkan data yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan asam salisilat dapat mempertahankan kandungan gula buah. Penelitian oleh Neto *et al.* (2016) juga menyebutkan bahwa asam salisilat dapat menjaga kandungan padatan terlarut atau *soluble solids* pada buah apel serta mencegah degradasi pada buah.

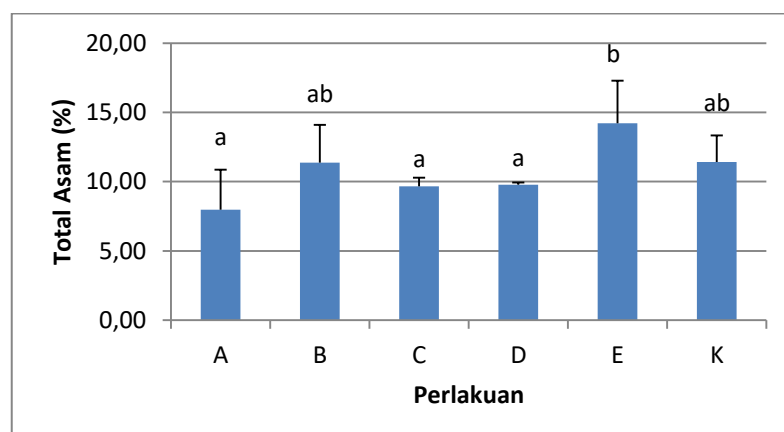


Gambar 4.13 Kadar gula jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi.
A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

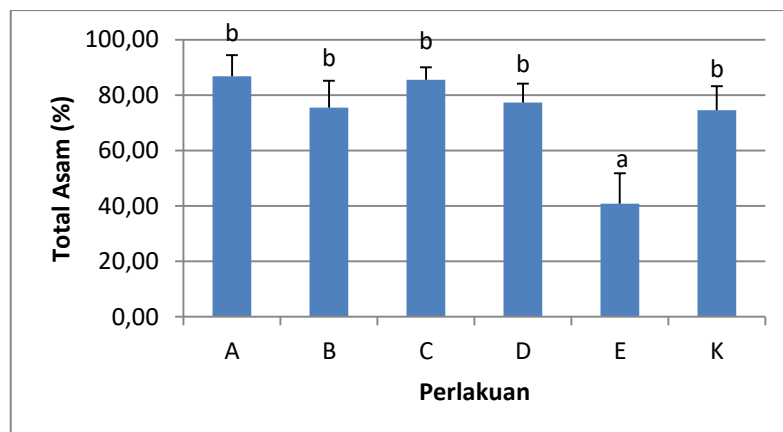


Gambar 4.14 Kadar gula jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Parameter yang diukur selanjutnya adalah kandungan total asam buah yang diukur di hari terakhir pengamatan. Berdasarkan data yang didapatkan diketahui kandungan total asam dengan nilai paling tinggi pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan sodium bikarbonat dengan persentase 14,22% sedangkan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan sodium karbonat dengan persentase 77,27%. Kandungan terendah pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan kitosan dengan persentase 7,97%, sedangkan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan sodium bikarbonat dengan persentase 40,77%. Data kandungan total asam pada jeruk manis dan lemon dapat dilihat pada gambar 4.15 dan 4.16 di bawah.



Gambar 4.15 Kandungan total asam jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

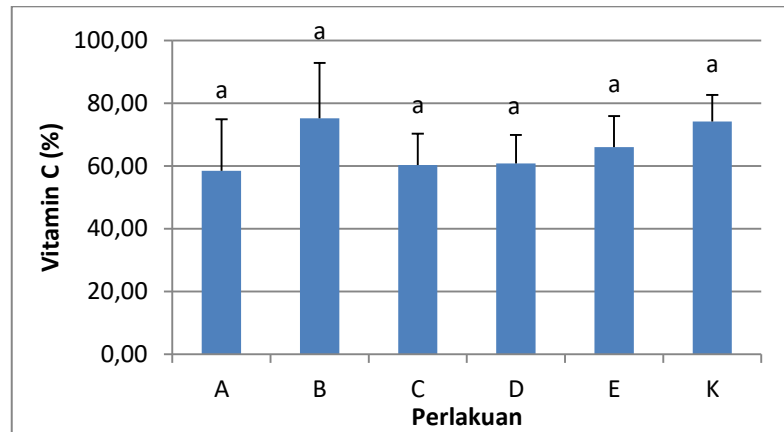


Gambar 4.16 Kandungan total asam jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

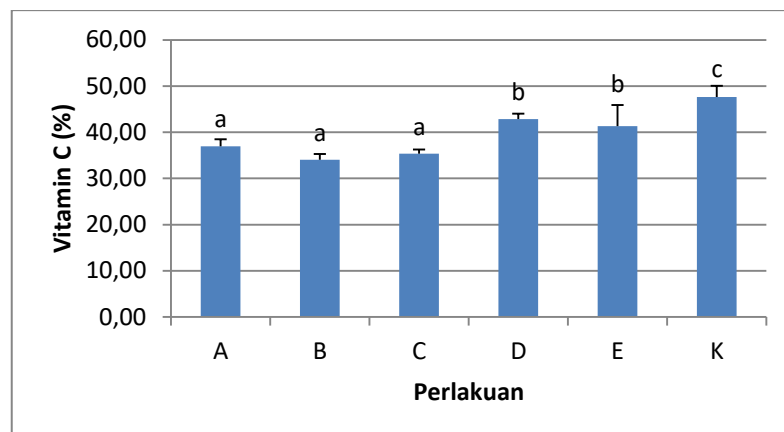
Kandungan total asam yang tinggi pada jeruk lemon maupun manis dengan perlakuan menggunakan sodium karbonat dan bikarbonat berkorelasi dengan intensitas serangan yang tinggi pada uji *in-vivo*. Tingginya intensitas serangan tersebut ditandai dengan infeksi *Penicillium* sp. yang meluas pada buah. Kandungan total asam yang tinggi tersebut menunjukkan bahwa buah tidak bisa memberikan perlindungan terhadap infeksi patogen *Penicillium* sp. Seperti yang disebutkan oleh Palou (2014), jamur patogen pada jeruk seperti *P. italicum* dan *P. digitatum* mampu meningkatkan virulensinya dengan mengasamkan lingkungan sekitar luka pada kulit jeruk. Tingginya total asam juga berkaitan dengan adanya produksi asam organik dari pertumbuhan mikroorganisme (Teran, 2020).

Parameter selanjutnya yang diukur adalah kandungan vitamin C buah. Secara umum kandungan vitamin C pada jeruk manis lebih tinggi dibandingkan dengan jeruk lemon seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18 di bawah. Hal yang sama juga disebutkan oleh Marti *et al.*, (2009), rata-rata keseluruhan kelimpahan kandungan vitamin C pada jeruk dimulai dari jeruk manis, *grapefruit*, lemon, dan mandarin. Berdasarkan data yang didapatkan, diketahui antar perlakuan tidak memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap kandungan vitamin C jeruk manis, sedangkan pada jeruk lemon pemberian perlakuan memberikan pengaruh yang signifikan antar perlakuan. Kandungan vitamin C dengan nilai tertinggi terdapat pada jeruk manis dengan perlakuan asam salisilat. Kandungan vitamin C terendah terdapat pada perlakuan menggunakan kitosan dengan persentase 58,44% pada jeruk manis dan 34,02%

pada lemon perlakuan asam salisilat. Kandungan vitamin C yang rendah tersebut diduga berkorelasi dengan intensitas serangan yang tinggi pada uji *in-vivo*.



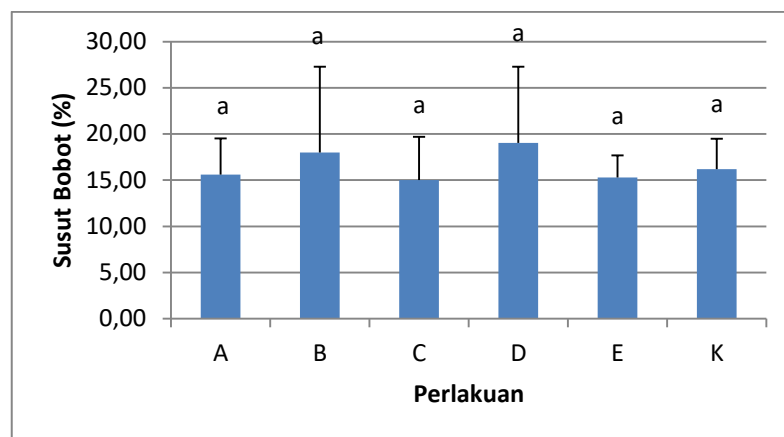
Gambar 4.17 Kandungan vitamin C jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.



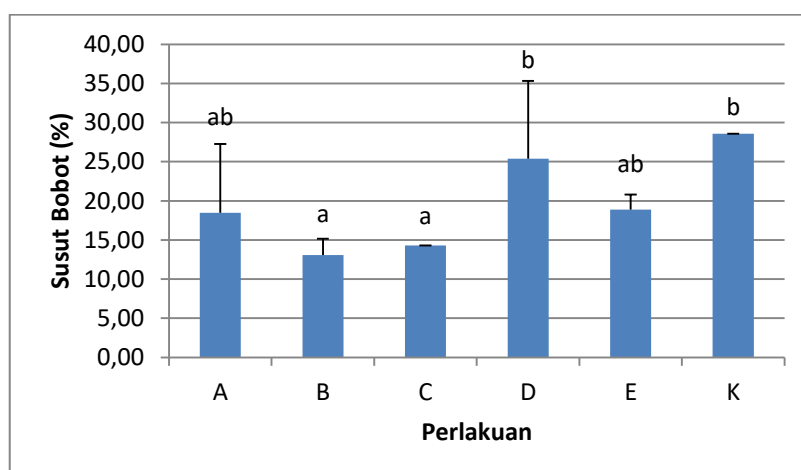
Gambar 4.18 Kandungan vitamin C jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Parameter selanjutnya adalah susut bobot buah jeruk manis dan lemon yang diukur di awal dan akhir pengamatan. Hasil pengukuran pada penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian perlakuan hanya berpengaruh terhadap susut bobot pada jeruk lemon. Masing-masing perlakuan yang digunakan juga tidak memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap susut bobot buah kecuali pada lemon dengan perlakuan sodium karbonat yang menunjukkan susut bobot paling besar. Susut bobot yang tinggi juga terdapat pada lemon kontrol dengan persentase 28,57% dan 19,05% pada jeruk manis dengan perlakuan

sodium karbonat. Susut bobot yang tinggi tersebut dapat terjadi karena tingkat intensitas serangan yang tinggi pada uji *in-vivo*. Menurut Najah *et al.* (2015), peningkatan susut bobot dapat diakibatkan karena buah masih mengalami proses respirasi dan transpirasi sehingga menyebabkan air dalam buah menghilang melalui pori-pori. Hilangnya air melalui pori-pori juga dapat disebabkan karena perlakuan yang diberikan belum mampu melapisi permukaan buah secara menyeluruh. Grafik susut bobot buah jeruk manis dan lemon dengan perlakuan menggunakan senyawa antifungi dapat dilihat pada gambar 4.19 dan 4.20 di bawah.

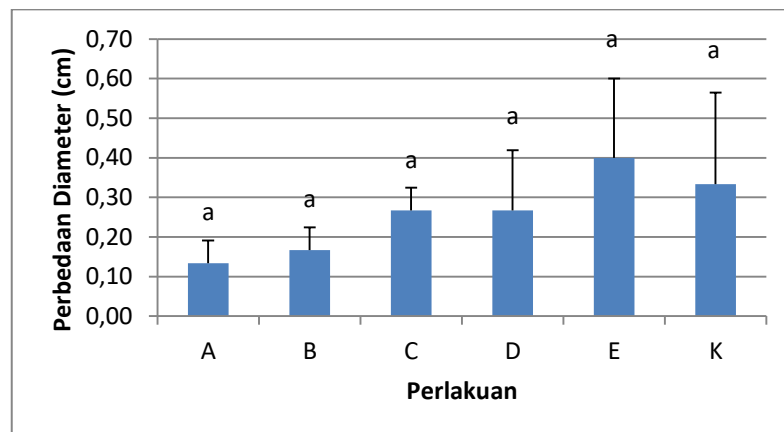


Gambar 4.19 Susut bobot buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

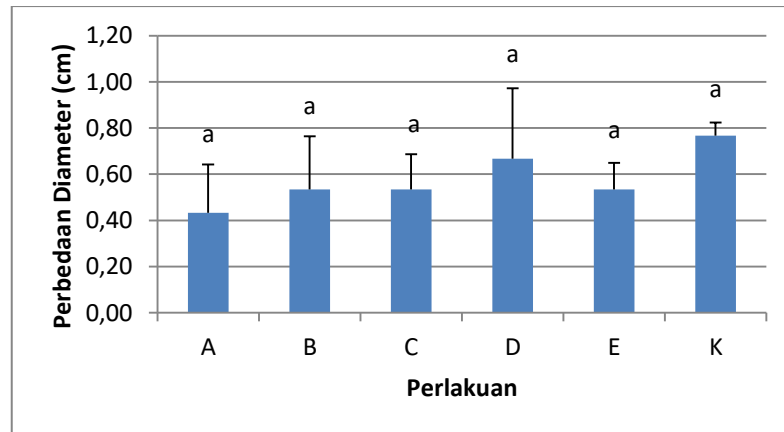


Gambar 4.20 Susut bobot buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Parameter selanjutnya adalah diameter buah yang juga diukur di awal dan di akhir pengamatan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pemberian perlakuan hanya berpengaruh terhadap perbedaan diameter pada jeruk lemon. Perbedaan diameter yang paling besar secara umum terdapat pada jeruk lemon seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.21 dan 4.22. Masing-masing perlakuan yang digunakan pada penelitian ini tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam pengaruhnya terhadap perbedaan diameter buah. Perbedaan diameter tertinggi sebesar 0,77 cm terdapat pada lemon kontrol dan 0,40 cm terdapat pada jeruk manis dengan perlakuan sodium bikarbonat. Perbedaan diameter terendah terdapat pada perlakuan menggunakan kitosan yaitu sebesar 0,13 cm pada jeruk manis dan 0,43 cm pada lemon. Perubahan diameter yang rendah juga berhubungan dengan susut bobot yang rendah. Berdasarkan hasil yang didapatkan diketahui kitosan mampu mempertahankan berat dan diameter buah meskipun tingkat intensitas serangan cukup tinggi. Seperti yang disebutkan oleh Khairi *et al.* (2017), terjadinya perubahan diameter disebabkan oleh hilangnya air akibat respirasi yang mengubah glukosa menjadi CO_2 dan H_2O .

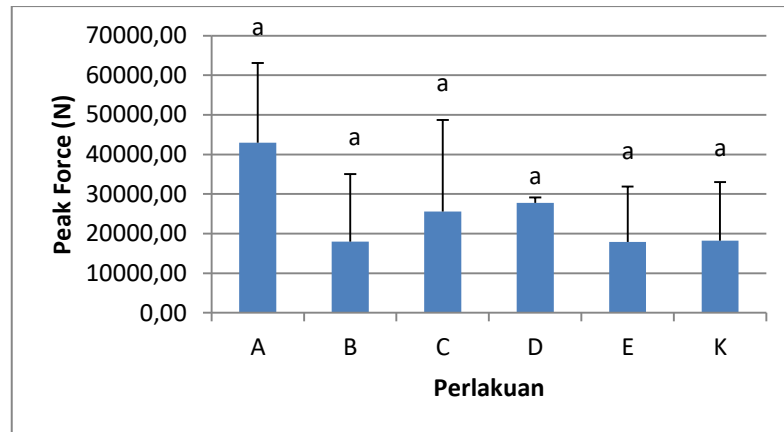


Gambar 4.21 Perbedaan diameter buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

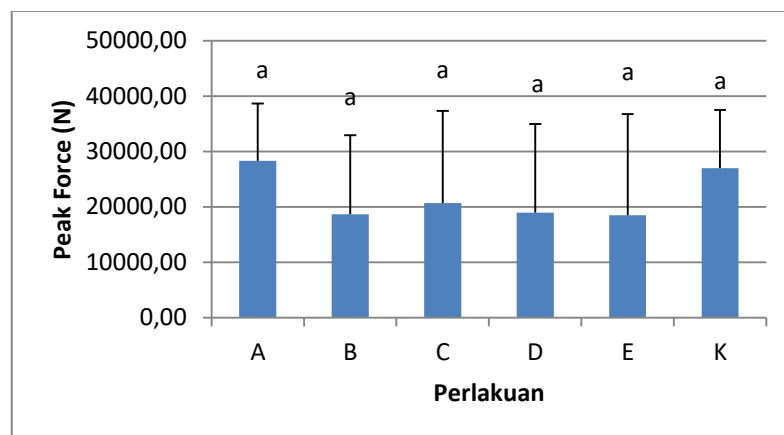


Gambar 4.22 Perbedaan diameter buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah tingkat kekerasan buah jeruk manis dan lemon. Hasil pengukuran secara umum menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap tingkat kekerasan buah. Tingkat kekerasan buah paling tinggi terdapat pada perlakuan menggunakan kitosan baik untuk jeruk manis maupun lemon. Pemberian perlakuan yang lain menunjukkan hasil yang lebih rendah untuk tingkat kekerasan buah. Menurut El Guilli *et al.* (2016), keberadaan *P. digitatum* menunjukkan pengaruh terhadap penurunan kekerasan buah jeruk yang dilapisi sebelumnya dengan kitosan dibandingkan dengan jeruk yang hanya dilapisi dengan kitosan maupun jeruk tanpa perlakuan. Keberadaan jamur patogen yang menginfeksi jeruk seperti *P. digitatum* dan *P. italicum* diketahui dapat menyebabkan maserasi jaringan buah selama perkembangan penyakit karena adanya produksi enzim hidrolitik seperti *polygalacturonase* dan selulase (Palou, 2014). Grafik tingkat kekerasan buah jeruk manis dan lemon dengan perlakuan menggunakan senyawa antifungi dapat dilihat pada gambar 4.23 dan 4.24 di bawah ini.



Gambar 4.23 Tingkat kekerasan buah jeruk manis dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.



Gambar 4.24 Tingkat kekerasan buah jeruk lemon dengan pemberian senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah warna kulit buah setelah diberi perlakuan. Perlunya dilakukan pengamatan parameter ini adalah karena warna buah menjadi salah satu parameter kualitas buah yang penting bagi konsumen (Ismail and Jiuxu, 2004). Seperti yang diketahui, jeruk tidak hanya memiliki satu warna. Warna jeruk secara umum berwarna hijau saat masih muda dan berwarna oranye atau kuning ketika matang. Keanekaragaman warna buah salah satunya adalah jeruk telah disebutkan oleh Allah SWT dalam QS: Fatir [35]: 27 yang berbunyi:

الَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيَضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا

وَعَرَائِبٌ شُدُودٌ (٢٧)

Artinya: “*Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu Kami hasilkan buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat*”.

Ayat tersebut di atas menjelaskan bukti kekuasaan Allah SWT di alam semesta sehingga manusia sebagai makhluk yang berakal dapat mengingat keberadaan Allah SWT. Makna dari buah yang beraneka macam jenisnya adalah dari segi jenis, warna, serta rasanya. Selain itu terdapat pula gunung-gunung dengan beraneka macam warnanya (Kemenag, 2021). Terciptanya berbagai macam buah-buahan dijelaskan pada kalimat *أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا* (bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit, lalu Kami hasilkan). Ungkapan ayat ini mengandung *iltifat* terhadap *damir gaib* *أَلْوَانُهَا* (*dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka ragam jenisnya*) ada yang berwarna merah, hijau, kuning, dan warna yang lainnya (Al-Mahalli and Jalaluddin, 2008). *Iltifat* disini berarti perubahan bentuk *dhamir ghaib* menjadi bentuk *dhamir* lain yang menunjukkan bahwa beraneka ragamnya buah adalah beraneka ragamnya warna dari buah (Husein, 2005). Ayat ini menjelaskan tentang beraneka macam buah salah satunya adalah jeruk seperti yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jeruk manis dan lemon. Diujinya kedua jeruk tersebut pada penelitian ini selain untuk menggali potensinya juga sekaligus bertindak sebagai perantara untuk selalu mengingat Allah SWT sehingga dapat memperkuat keimanan bagi setiap muslim yang membacanya.

Terciptanya berbagai macam warna buah seperti yang disebutkan dalam tafsir Ibnu Katsir dalam Abdullah (2004), merupakan bentuk kekuasaan Allah SWT dalam menciptakan sesuatu dari satu unsur, yaitu diturunkannya air dari langit. Diturunkannya air tersebut menjadi sebab Allah SWT mengeluarkan berbagai macam buah yang berbeda-beda warnanya sebagaimana pula yang dapat dilihat dari berbagai ragam warna, rasa, dan baunya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian ini yang menunjukkan bahwa setiap varietas jeruk memiliki perbedaan ciri khas yaitu dari segi warna kulit buahnya dan juga dari segi rasa yaitu dari kandungan gula dan vitamin C. Allah SWT juga berfirman tentang berbagai rasa

dari tanaman dalam ayat yang lain yaitu dalam QS: Ar-Ra'd [13]: 4 yang berbunyi:

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَوِّرَاتٌ وَجَنَّتْ مِنْ أَعْنَابٍ وَزَرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَعَيْرٌ صِنَوَانٍ يُسْقَى بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفْصِلُ بَعْضَهَا عَلَى بَعْضٍ فِي الْأَكْلِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ (٤)

Artinya: “Dan di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, pohon kurma yang bercabang, dan yang tidak bercabang; disirami dengan air yang sama, tetapi Kami lebihkan tanaman yang satu dari yang lainnya dalam hal rasanya. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti”.

Makna ayat tersebut dalam tafsir Jalalain menyebutkan bahwa kata *وَفِي* (Dan di bumi terdapat bagian-bagian) yaitu berbagai macam daerah. *مُتَجَوِّرَاتٌ* yang diantaranya ada yang subur dan tandus, ada yang kekurangan air dan yang banyak airnya yang semua itu menunjukkan bukti kekuasaan-Nya. *وَجَنَّتْ* (dan kebun-kebun) *وَزَرْعٌ* yang dibaca *rafa'* karena di'ataskan kepada lafaz *jannaatun*, begitu pula *صِنَوَانٌ* yang lafaz *sinwaanun* merupakan bentuk jamak dari *sinwun* yang artinya adalah pohon kurma dengan cabang yang banyak- *وَعَيْرٌ* (dan yang tidak bercabang) *يُسْقَى* – yang ada padanya disirami. *بِمَاءٍ وَاحِدٍ* yang artinya disirami dengan air yang sama- *وَنُفْصِلُ* yang artinya sebagian tanam-tanaman itu atas sebagian yang lain tentang rasanya, dapat dibaca *ukuli* atau *ukli* yang artinya dalam hal rasa ada yang manis dan asam seperti yang dapat ditemukan dalam varietas buah jeruk. *إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ* yang bermakna dalam hal tersebut terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang mau memikirkannya (Al-Mahalli and Jalaluddin, 2008). Orang-orang disini yang dimaksud adalah kita sebagai manusia yang beriman hendaknya selalu mengingat kesaan Allah SWT melalui berbagai ciptaan-Nya di muka bumi ini seperti diciptakannya jeruk manis dan lemon yang digunakan dalam penelitian ini. Melalui penelitian ini kita sebagai manusia juga dituntut untuk lebih mengingat Allah SWT sebagai satu-satunya pencipta segala hal di muka bumi yang memiliki banyak manfaat di dalamnya.

Parameter warna buah pada penelitian ini diukur menggunakan *color chart Royal Horticultural Society*. Parameter yang dilihat adalah *a** (*redness to*

greenness), b^* (*yellowness to blueness*), dan L^* (*darkness to lightness*). Data yang didapatkan menunjukkan bahwa masing-masing perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan uji *Duncan* dengan $P < 0,05$. Berdasarkan data yang didapatkan, jeruk manis dengan nilai L^* tertinggi terdapat pada perlakuan menggunakan sodium bikarbonat dan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan asam salisilat. Nilai terendah untuk L^* pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan asam salisilat dan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan sodium bikarbonat. Menurut Teran (2020), nilai L^* yang berkurang pada buah menunjukkan bahwa buah tersebut berwarna kurang terang.

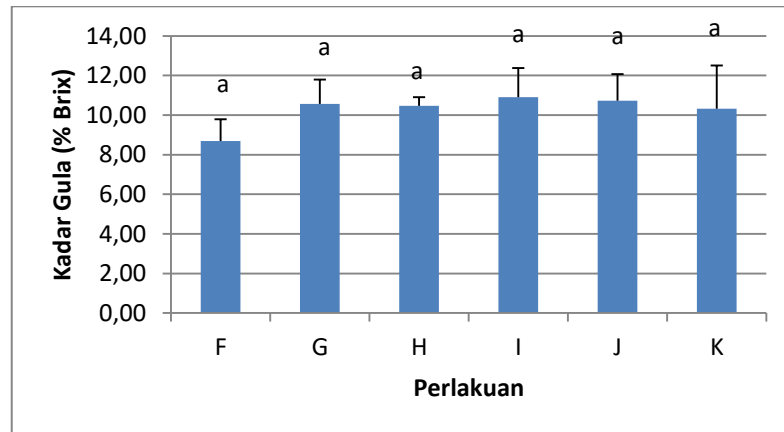
Parameter a^* dengan nilai terbesar pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan sodium karbonat dan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan minyak sereh. Sementara itu nilai tertinggi dan terendah untuk parameter b^* menunjukkan hasil yang sama dengan nilai L^* yang menunjukkan bahwa semakin terlihatnya warna kuning pada buah maka warna buah tersebut semakin cerah. Menurut Matteo *et al.*, (2021), nilai a^* menunjukkan penurunan warna hijau pada kulit buah sedangkan b^* mengindikasikan variasi warna kuning pada kulit buah.

4.3.2 Pengaruh pemberian mikroorganisme antagonis terhadap kualitas buah jeruk

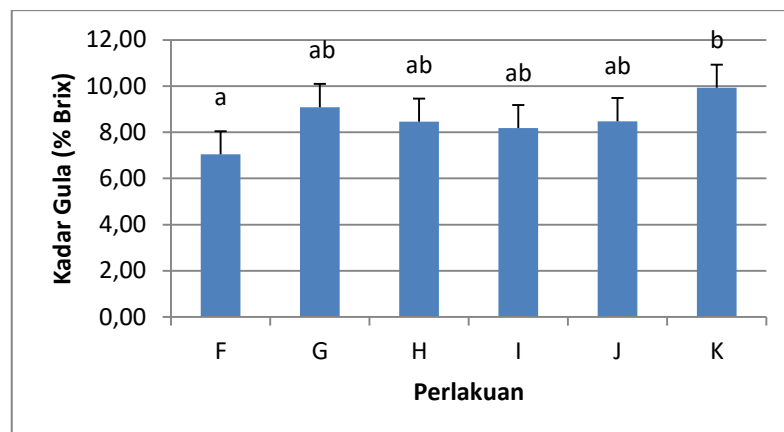
Hasil pengamatan dan pengukuran parameter kualitas buah jeruk manis dan lemon setelah pemberian mikroorganisme antagonis dapat dilihat pada lampiran 3.10 dan 3.11. Parameter yang diamati meliputi kandungan gula, total asam, vitamin C, diameter buah, susut bobot buah, tingkat kekerasan buah, dan warna kulit buah. Hasil perhitungan yang dilakukan menunjukkan hasil yang beragam baik pada setiap perlakuan yang diberikan dan varietas jeruk yang digunakan.

Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa gula pada jeruk manis lebih tinggi dari lemon. Secara umum, pemberian perlakuan tidak memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap kandungan gula jeruk manis dan lemon ketika diamati di hari akhir perlakuan. Berdasarkan data yang didapatkan diketahui kandungan gula terendah terdapat pada perlakuan menggunakan C.

oleophila baik untuk jeruk manis dan lemon. Data kandungan gula jeruk setelah perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.25 dan 4.26.



Gambar 4.25 Kandungan gula buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

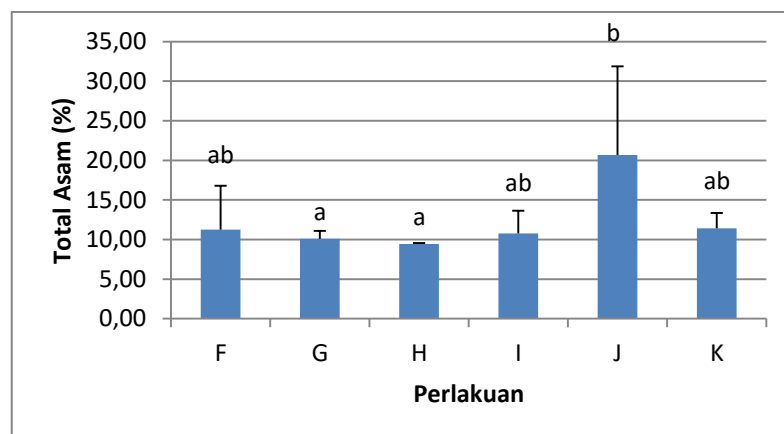


Gambar 4.26 Kandungan gula buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

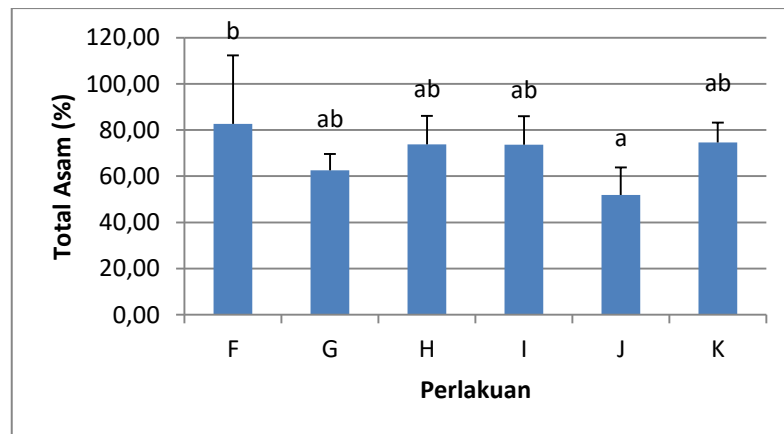
Persentase kandungan gula terendah pada jeruk manis dan lemon dengan perlakuan menggunakan *C. oleophila* masing-masing sebesar 8,69% Brix dan 7,04% Brix. Rendahnya kadar gula pada kedua varietas jeruk tersebut tersebut dapat disebabkan karena kandungan gula buah yang digunakan oleh *C. oleophila* sebagai media pertumbuhan. Seperti yang disebutkan oleh Demirci (2011), mekanisme kerja dari *yeast* atau khamir dapat dikaitkan dengan penggunaan gula pada media sebagai bentuk persaingan ruang dan nutrisi terhadap patogen. Menurut Riastana *et al.* (2019), penurunan gula pada buah juga dapat disebabkan

oleh terjadinya respirasi yang menjadikan gula sebagai substrat untuk menghasilkan energi.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah kandungan total asam setelah pemberian perlakuan. Berdasarkan data yang didapatkan diketahui total asam pada lemon lebih tinggi daripada jeruk manis yang berkaitan dengan rata-rata intensitas serangan yang tinggi pada lemon. Seperti yang disebutkan oleh Khairi *et al.* (2017), faktor yang mempengaruhi total asam adalah jenis kultivar, kondisi penyimpanan, serta adanya proses metabolisme pada buah selama penyimpanan. Aktivitas dari mikroorganisme berupa produksi asam organik juga diketahui memberikan pengaruh terhadap kandungan total asam buah (Teran, 2020). Patogen penginfeksi jeruk seperti *P. digitatum* dan *P. italicum* mampu meningkatkan virulensinya dengan mengasamkan kondisi lingkungan hidupnya seperti pada luka buah (Palou, 2014). Kandungan total asam setelah pemberian perlakuan dapat dilihat pada gambar 4.27 dan 4.28.

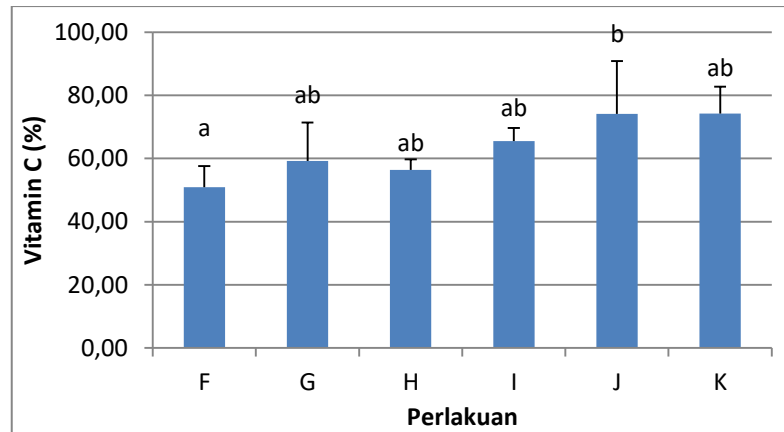


Gambar 4.27 Kandungan total asam buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

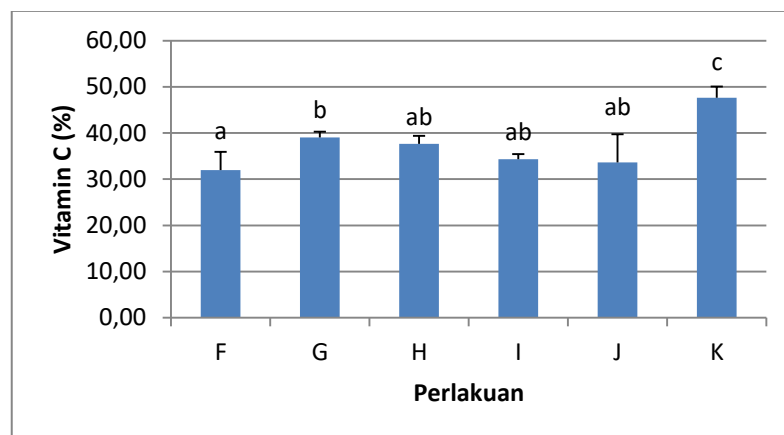


Gambar 4.28 Kandungan total asam buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah kandungan vitamin C buah. Berdasarkan data yang didapatkan, kandungan vitamin C buah jeruk manis dan lemon pada penelitian ini dipengaruhi oleh jenis perlakuan yang diberikan, namun berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan* diketahui antar perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Secara umum kandungan vitamin C dengan kadar yang lebih tinggi terdapat pada jeruk manis dibandingkan dengan lemon seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.29 dan 4.30. Kandungan vitamin C paling tinggi pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *T. asperellum* dengan kadar 74,07%, sedangkan pada lemon terdapat pada kontrol dengan kadar 47,65%. Tingginya kandungan vitamin C pada kontrol dapat disebabkan karena faktor kematangan buah. Kadar yang tinggi pada kontrol juga dapat dikaitkan karena pembusukan yang terjadi pada buah. Hal yang sama juga disebutkan oleh Paixao *et al.* (2006), tingginya kandungan vitamin C dapat disebabkan oleh korelasi dari konsentrasi asam askorbat dan tingkat kematangan buah.



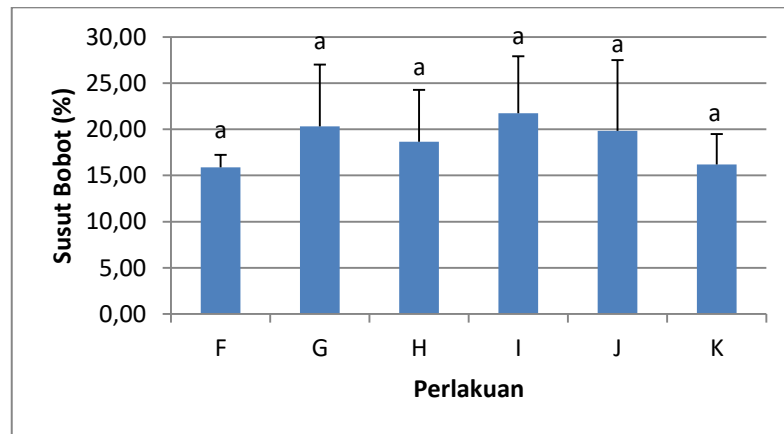
Gambar 4.29 Kandungan vitamin C buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.



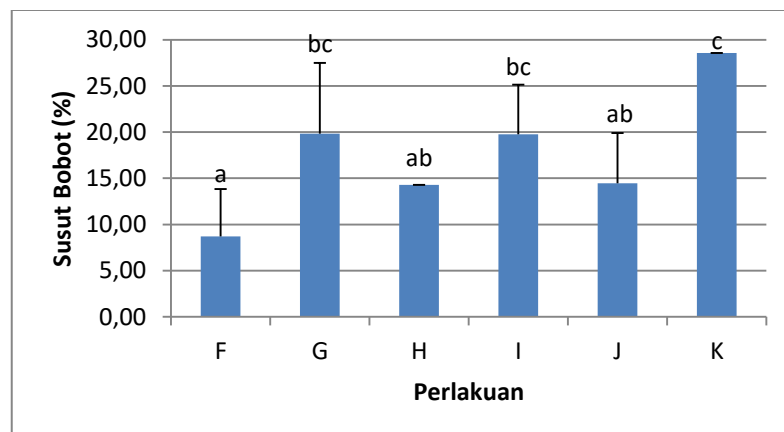
Gambar 4.30 Kandungan vitamin C buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

Parameter selanjutnya adalah berat buah yang diukur di awal dan di akhir pengamatan. Parameter ini diukur untuk mengetahui susut bobot buah setelah diberi perlakuan. Hasil pengukuran pada penelitian ini menunjukkan bahwa pemberian perlakuan hanya berpengaruh terhadap susut bobot pada buah lemon namun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Susut bobot tertinggi untuk jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *P. fluorescens* dengan persentase sebesar 21,75%, sedangkan untuk lemon terdapat pada kontrol dengan persentase sebesar 28,57%. Susut bobot terendah untuk jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *T. harzianum* dengan persentase 13,65% dan pada jeruk lemon dengan persentase 8,69% terdapat pada perlakuan menggunakan *C. oleophila*. Menurut Sitorus *et al.* (2014), peningkatan susut bobot dapat

disebabkan karena adanya transpirasi yang tinggi sehingga buah mengalami kehilangan air dan menyebabkan penurunan berat. Hasil pengukuran susut bobot jeruk manis dan lemon dapat dilihat pada gambar 4.31 dan 4.32 di bawah.



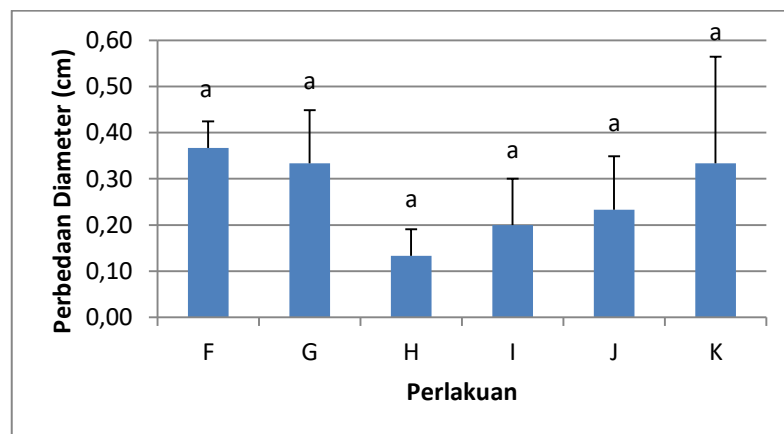
Gambar 4.31 Susut bobot buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.



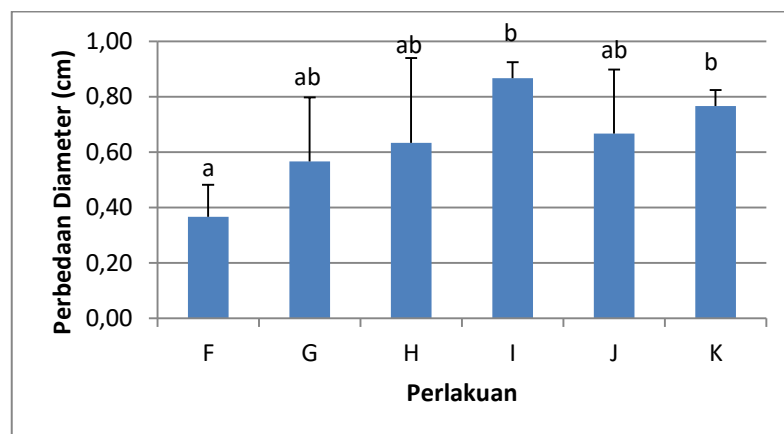
Gambar 4.32 Susut bobot buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur yaitu diameter buah jeruk manis dan lemon yang diukur di awal dan di akhir pengamatan. Parameter ini diukur untuk mengetahui perbedaan diameter buah jeruk manis dan lemon setelah pemberian perlakuan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pemberian perlakuan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap perbedaan diameter buah. Perbedaan diameter yang besar secara umum terdapat pada jeruk lemon seperti

yang dapat dilihat pada gambar 4.33 dan 4.34. Perbedaan diameter paling tinggi untuk jeruk lemon terdapat pada perlakuan menggunakan *P. fluorescens* sedangkan pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *T. asperellum* dan kontrol. Perbedaan diameter dengan nilai terendah terdapat pada perlakuan menggunakan *B. subtilis* untuk jeruk manis dan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan *C. oleophila*. Penurunan diameter pada buah dapat disebabkan oleh terjadinya proses respirasi yang mengubah glukosa menjadi karbondioksida dan air yang juga dapat menyebabkan susut bobot (Khairi *et al.*, 2017).

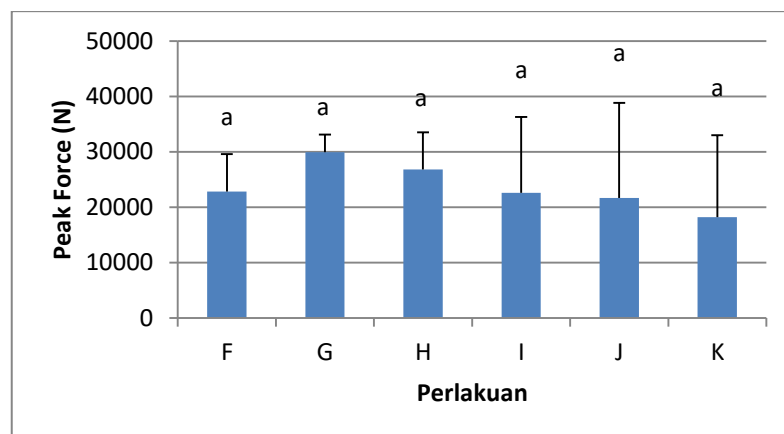


Gambar 4.33 Perbedaan diameter buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

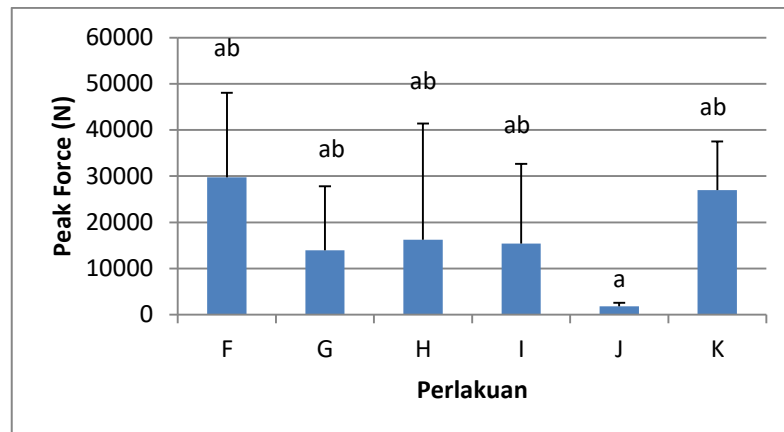


Gambar 4.34 Perbedaan diameter buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah tingkat kekerasan buah jeruk manis dan lemon. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan memberikan pengaruh dengan perbedaan yang tidak signifikan terhadap tingkat kekerasan buah kecuali pada perlakuan menggunakan *T. asperellum* yang menunjukkan nilai terendah. Tingkat kekerasan yang rendah diduga berkaitan dengan intensitas serangan yang tinggi pada uji *in-vivo*. Hal yang sama juga disebutkan oleh El Guilli *et al.*, (2016), adanya *P. digitatum* memberikan pengaruh terhadap penurunan kekerasan buah jeruk meskipun sebelumnya dilapisi dengan kitosan. Penurunan kekerasan dari buah dapat terjadi karena perubahan komposisi penyusun dinding sel akibat pecahnya protopektin yang tidak larut menjadi pektin larut sehingga kadar pektin menurun dan tekstur buah melunak (Riastana *et al.* 2019). Keberadaan *P. digitatum* maupun *P. italicum* juga diketahui dapat menyebabkan maserasi jaringan jeruk selama infeksi karena produksi enzim hidrolitik (Palou, 2014). Grafik tingkat kekerasan buah jeruk manis dan lemon dengan perlakuan menggunakan mikroorganisme antagonis dapat dilihat pada gambar 4.35 dan 4.36 di bawah ini.



Gambar 4.35 Tingkat kekerasan buah jeruk manis dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.



Gambar 4.36 Tingkat kekerasan buah jeruk lemon dengan pemberian mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperillum*; K) kontrol.

Parameter selanjutnya yang diukur adalah warna kulit buah dengan parameter a^* (*redness to greenness*), b^* (*yellowness to blueness*), dan L^* (*darkness to lightness*). Data yang didapatkan menunjukkan bahwa pemberian perlakuan dan varietas jeruk yang digunakan hanya berpengaruh terhadap nilai a^* sedangkan nilai b^* dan L^* tidak terpengaruh. Berdasarkan data yang didapatkan, nilai L^* tertinggi baik pada jeruk manis dan lemon terdapat pada perlakuan menggunakan *T. asperillum*. Nilai terendah untuk L^* pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *T. harzianum* sedangkan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan *P. fluorescens*. Nilai L^* yang tinggi menunjukkan bahwa warna buah semakin cerah seperti yang disebutkan oleh Matteo *et al.* (2021), penambahan nilai L^* menunjukkan peningkatan kecerahan kulit buah selama pematangan.

Parameter a^* dengan nilai tertinggi pada penelitian ini terdapat pada perlakuan menggunakan *T. asperillum* baik pada jeruk manis dan lemon. Nilai terendah terdapat pada perlakuan menggunakan *T. harzianum* yang mengindikasikan penurunan warna hijau. Sementara itu nilai tertinggi dan terendah untuk parameter b^* menunjukkan hasil yang sama dengan nilai L^* dan a^* yaitu pada perlakuan menggunakan *T. asperillum*. Nilai terendah untuk b^* pada jeruk manis terdapat pada perlakuan menggunakan *T. harzianum* yang menunjukkan hasil yang sama dengan nilai L^* . Hal tersebut berkaitan dengan warna buah yang tidak cerah karena nilai keduanya yang rendah. Sementara itu pada jeruk lemon nilai terendah untuk b^* terdapat pada perlakuan menggunakan

C. oleophila. Menurut Matteo *et al.*, (2021), nilai a^* menunjukkan penurunan warna hijau pada kulit buah sedangkan b^* mengindikasikan variasi warna kuning pada kulit buah.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah:

1. Pengendalian *Penicillium* sp. dengan senyawa antifungi secara *in-vitro* menunjukkan bahwa asam salisilat memiliki aktivitas penghambatan *Penicillium* sp. paling baik diantara perlakuan yang lain. Berdasarkan uji *in-vivo* diketahui perlakuan yang efektif mengendalikan *Penicillium* sp. pada jeruk manis adalah asam salisilat, minyak sereh, sodium karbonat, dan bikarbonat sedangkan pada lemon terdapat pada perlakuan menggunakan minyak sereh.
2. Pengendalian *Penicillium* sp. dengan mikroorganisme antagonis secara *in-vitro* menunjukkan bahwa *T. asperellum* memiliki aktivitas penghambatan *Penicillium* sp. paling baik diantara perlakuan yang lain. Berdasarkan uji *in-vivo* diketahui perlakuan yang efektif mengendalikan *Penicillium* sp. baik pada jeruk manis dan lemon adalah perlakuan menggunakan *C. oleophila*.
3. Perlakuan menggunakan senyawa antifungi secara umum dapat mempertahankan kualitas buah jeruk manis dan lemon dibandingkan dengan penggunaan mikroorganisme antagonis. Parameter kualitas buah yang dipengaruhi oleh senyawa antifungi pada jeruk manis adalah kandungan gula dan total asam sedangkan pada lemon mempengaruhi kandungan gula, total asam, vitamin C, dan susut bobot. Pemberian mikroorganisme antagonis memengaruhi semua parameter kualitas jeruk lemon kecuali untuk parameter warna L* dan b*, sedangkan pada jeruk manis hanya memengaruhi kandungan total asam, vitamin C, dan parameter warna a*.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini antara lain:

1. Perlu dilakukan uji lanjut terkait variasi konsentasi larutan senyawa antifungi maupun suspensi dari mikroorganisme antagonis yang lebih efektif dengan konsentrasi yang minimal.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut pada variasi waktu antara pemberian perlakuan dan waktu inokulasi *Penicillium* sp. pada uji *in-vivo*.

3. Perlu dilakukan uji lanjut untuk mengetahui mekanisme masing-masing perlakuan dalam mengendalikan *Penicillium* sp. pada uji *in-vivo*.
4. Perlu dilakukan uji lanjut pada uji *in-vivo* berupa kombinasi perlakuan pengendalian *Penicillium* sp. secara fisik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd-El-Khair, H. and Omima M. Hafez. 2006. Effect of Aqueous Extracts of Some Medicinal Plants in Controlling the Green Mould Disease and Improvement of Stored "Washington" Navel Orange Quality. *Journal of Applied Sciences Research*. Vol. 2, No. 10
- Akbar, Hafiz Abdullah, Zafar Iqbal, Waqas Raza, Muhammad Usman Ghazanfar, and Salman Ahmad. 2018. Management of Citrus Green Mould through the Use of Allelochemicals and Salicylic Acid. *Journal of Innovative Sciences*. Vol. 4, No. 2
- Aleme, Mahlet and Meseret Guta. 2017. Isolation and Characterization of Fungi from the Fruit of Orange and Tomato in Jimma Town Market Sellers, South West Ethiopia. *International Journal Of Advanced Research*. Vol. 5, No. 3
- Abdullah bin Muhammad bin Abdurrahman bin Ishaq Al-Sheikh. 2004. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Terjemahan Muhamad Abdul Ghofar E. M dan Abu Ihsan Al-Atsari. Bogor. Pustaka Imam Asy-Syai'i..
- Al-Mahalli, Jalaluddin and Jalaluddin As-Suyuti. 2008. *Tafsir Al-Jalalain Berikut Asbabun Nuzul Ayat Surat Al-Fatihah s.d. Al-Isra' Jilid 1*. Bandung: Sinar Baru Algesindo
- Al-Mahalli, Jalaluddin and Jalaluddin As-Suyuti. 2008. *Tafsir Al-Jalalain Berikut Asbabun Nuzul Ayat Surat Al-Kahfi s.d. An-Nas Jilid 2*. Bandung: Sinar Baru Algesindo
- Antunes, Maria D., Custódia M. Gago, Ana M. Cavaco, and Maria G. Miguel. 2012. Edible Coatings Enriched with Essential Oils and their Compounds for Fresh and Fresh-cut Fruit. *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*. Vol. 4
- Anuagasi, C. L., Okigbo, R. N., Anukwuorji, C. A., and Okereke C. N. 2017. The Impact of Biofungicides on Agricultural Yields and Food Security in Africa. *International Journal of Agricultural Technology*. Vol. 13, No. 6
- Asghari, Mohammadreza and Morteza Soleimani Aghdam. 2010. Impact of Salicylic Acid on Post-Harvest Physiology of Horticultural Crops. *Trends in Food Science and Technology*. Vol. 21
- Askarne, L., H. Boubaker, E. H. Boudyach, and A. Ait Ben Aoumar. 2013. Use of Food Additives to Control Postharvest Citrus Blue Mold Disease. *Atlas Journal of Biology*. Vol. 2, No. 2
- Bandh, Suhaib A., Azra N. Kamili, and Bashir A. Ganai. 2011. Identification of Some Penicillium Species by Traditional Approach of Morphological

Observation and Culture. *African Journal of Microbiology Research*. Vol. 5, No. 21

- Baron S. 1996. *Medical Microbiology 4th Edition*. Galveston: University of Texas Medical Branch at Galveston
- Batta, Y.A. 2004. Effect of Treatment with *Trichoderma harzianum* Rifai Formulated in Invert Emulsion on Postharvest Decay of Apple Blue Mold. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 96
- Bautista-Banos, S., A.N. Hernandez-Lazuardo, M.G. Velazquez-Del Valle, M. Hernandez-Lopez, E. Ait Barka, E. Bosquez-Molina, And C.L. Wilson.
2005. Chitosan as a Potensial Natural Compound to Control Pre and Postharvest Disease of Horticultural Commodities. *Crop Protection*. Vol. 3, No. 10
- Bazioli, Jaqueline Moraes, João Raul Belinato, Jonas Henrique Costa, Daniel Yuri Akiyama, João Guilherme de Moraes Pontes, Katia Cristina Kupper, Fabio Augusto, João Ernesto de Carvalho, and Taícia Pacheco Fill. 2019. Biological Control of Citrus Postharvest Phytopathogens. *Toxins*. Vol. 11, No. 460
- Berk, Z. 2016. *Citrus Fruit Prosessing*. London: Academic Press
- Chan, Zhulong and Shiping Tian. 2005. Interaction of Antagonistic Yeast Against Postharvest Pathogens of Apple Fruit and Possible Mode of Action. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 36
- Chasanah, Ekowati, Yusro Nuri Fawzya, Fiona Ariani K., dan Maruli S. 2013. Bioaktivitas Kitoooligosakarida yang Diproduksi dari Kitosan Menggunakan Kitosanase Microminospora T5a1 Sebagai Antikapang. *Jurnal Kelautan dan Perikanan*. Vol. 8, No. 1
- Chaverri, Priscila, Walter M. Jaklitsch, Fabiano Branco Rocha, and Romina Gazis. 2015. Systematic of the *Trichoderma harzianum* Species Complex and the Re-Identification of Commercial Biocontrol Strains. *Mycologia*. Vol. 107, No. 3
- Chen, Z., Silva H., and Klessing D.F. 1993. Active Oxygen Species in the Induction of Plat Systemic Acquired Resistance by Salicylic Acid. *Science*. Vol. 262
- Chen, Po-Sung, Yu-Hsiang Peng, Wen-Chuan Chung, Kuang-Ren Chung, Hung-Chang Huang, and Jenn-Wen Huang. 2016. Inhibition of *Penicillium digitatum* and Citrus Green Mold by Volatile Compounds Produced by *Enterobacter cloacae*. *Journal of Plant Pathology & Microbiology*. Vol. 7, No. 3

- Chen, Jinyin, Yuting Shen, Chuying Chen, and Chunpeng Wan. 2019. Inhibition of Key Citrus Postharvest Fungal Strains by Plant Extracts In Vitro and In Vivo: A Review. *Plants*. Vol. 8, No. 26
- Costa, Jonas Henrique, Jaqueline Moraes Bazioli, Joao Guilherme de Moraes Pontes, and Taicia Pacheco Fill. 2019. *Penicillium digitatum* Infection Mechanisms in Citrus: What Do We Know So Far?. *Fungal Biology*. Vol. 123
- Darsef and Suhartono. 2015. Preparation of Chitosan Material and its Antifungal Activity for Bamboo. *International Journal of Science and Research*. Vol. 6, No. 1
- Demirci, Fikret. 2011. Effects of *Pseudomonas fluorescens* and *Candida famata* on Blue Mould of Citrus Caused by *Penicillium italicum*. *Australian Journal of Crop Science*. Vol. 5, No. 3
- Dev, Chaturvedi and Shrivastava RishiRaj Suhane Nidhi. 2016. Basketful Benefit of *Citrus limon*. *International Research Journal of Pharmacy*. Vol. 7, No. 6
- Dewi, Kadek Nindia Krisna, I Made Supartha Utama, and I Putu Gede Budisanjaya. 2020. Pengaruh Pembrian Uap Etanol Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Jeruk Siam (*Citrus nobilis* Lour var. Microcarpa). *Jurnal Biosistem dan Teknik Pertanian*. Vol. 8, No. 1
- Droby, S., V. Vinokur, B. Weiss, L. Cohen, A. Daus, E. E. Goldschmidt, and R. Porat. 2002. Induction of Resistance to *Penicillium digitatum* in Grapefruit by the Yeast Biocontrol Agent *Candida oleophila*. *Phytopathology*. Vol. 92, No.4
- Droby, S., A. Eick, D. Macarasin, L. Cohen, G. Rafael, R. Stange, G. Mccolum, N. Dudai, A. Nasser, M. Wisniewski, and R. Shapira. 2008. Role of Citrus Volatiles in Host Recognition, Germination, and Groeth of *Penicilium digitatum* and *Penicillium italicum*. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 49
- Droby, Samir, Michael Wisnieswski, Neus Teixido, Davide Spadaro, and M. Haissam Jijakli. 2015. The Science, Development, and Commercialization of Postharvest Biocontrol Products. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 30
- Dwiastuti, Mutia Erti, Loekas Soesanto, Titistyas Gusti Aji, Nirmala Friyanti Devy, and Hardiyanto. 2021. Biological control strategy for postharvest diseases of citrus, apples, grapes and strawberries fruits and application in Indonesia. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*. Vol. 31
- Dwiastuti, Mutia Erti, Titistyas Gusti Aji, Trifena Honestin, Nirmala F Devy, Hardiyanto. 2021. Prospects of Botanical Agents For Control of

- Postharvest Diseases of Citrus and Other Subtropical Fruits in Indonesia. *International Conference and Congress Indonesian Phytopathological Society*.
- El Guilli, Mohammed, Abdelhak Hamza, Christophe Clément, Mohammed Ibriz, and Essaid Ait Barka. 2016. Effectiveness of Postharvest Treatment with Chitosan to Control Citrus Green Mold. *Agriculture*. Vol. 6, No. 12
- El-Komy, Mahmoud H., Amgad A. Saleh, Anas Eranthodi, and Younes Y. Molan. 2015. Characterization of Novel *Trichoderma asperellum* Isolates to Select Effective Biocontrol Agents Against Tomato Fusarium Wilt. *The Plant Pathology Journal*. Vol. 31, No. 1
- El-Mohamedy, Riad S. R., Nadia G. El-Gamal, and Abd Radi T. Bakeer. 2015. Application of Chitosan and Essential Oils as Alternatives Fungicides to Control Green and Blue Moulds of Citrus Fruits. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 4, No. 6
- El-Otmani, M. and A. Ait-Oubahou. 2011. *Citrus spp. : Orange, Mandarin, Tangerine, Clementine, Grapefruit, Pomelo, Lemon and Lime*. Sawston: Woodhead Publishing Limited
- Etebu, E. and A. B. Nwauzoma. 2014. A Review on Sweet Orange (*Citrus sinensis* L Osbeck): Health, Diseases and Management. *American Journal of Research Communication*. Vol. 2, No. 2
- European Food Safety Authority. 2010. Scientific Opinion on the Safety and Efficacy of Sodium Carbonate (Soda Ash) for All Species. *EFSA Journal*. Vol. 8, No. 7
- FAO. 2017. *Citrus Fruit - Fresh and Processed Statistical Bulletin*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations
- Fenta, Lamenu, Habtamu Mekonnen, and Tsegaye Gashaw. 2019. Biocontrol Potential of *Trichoderma* and Yeast Against Post Harvest Fruit Fungal Diseases: A Review. *World News of Natural Sciences An International Scientific Journal*. Vol. 27
- Freimoser, Florian M., Maria Paula Rueda-Mejla, Bruno Tilocca, and Quirico Migheli. 2019. Biocontrol yeasts: mechanisms and applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. Vol. 35
- Goudeau, D., Uratsu, S. L., Inoue, K., da Silva, F. G., Leslie, A., Cook, D., Reagan, L. and Dandekar, A. M. 2008. Tuning the orchestra: Selective gene regulation and orange fruit quality. *Plant Science*. Vol. 174
- Gullet, E.A., Francis F.J., and Clydesle F.M. 1972. Colorimeter of Foods: Orange Juice. *Journal Food Science*. Vol. 37, No. 3

- Gusnawaty, HS., Muhammad Taufik, Leni Triana, dan Asniah. 2014. Karakterisasi Morfologis *Trichoderma* spp. Indigenus Sulawesi Tenggara. *Jurnal Agroteknos*. Vol. 4, No. 2
- Hall, D.J., and Fernandez Y.J.. 2004. In Vitro Evaluation of Selected Essential Oil as Fungicides Against *Penicillium digitatum* Sacc. *Proc. Fla State Horticulture*. Vol. 177
- Handoko, Dody D., Besman Napitupulu, dan Hasil Sembiring. 2005. Penanganan Pascapanen Buah Jeruk. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Inovatif Pascaponen untuk Pengembangan Industri Berbasis Pertanian*.
- Hanudin dan Budi Marwoto. 2012. Prospek Penggunaan Mikroba Antagonis Sebagai Agens Pengendali Hayati Penyakit Utama pada Tanaman Hias dan Sayuran. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 31, No. 1
- Harmain, Rita M., Faiza A. Dali, Syamsuddin, dan ZC Facrussyah. 2018. *Analisis Bahan Baku dan Hasil Olahan Perikanan*. Gorontalo: Athra Samudra
- Hassan, Oliul and Taehyun Chang. 2017. Chitosan for Eco-friendly Control of Plant Disease. *Asian ournal Plant Pathology*. Vol. 11, No. 2
- Hernández, Juan Manuel J. Favela, Omar González-Santiago, Mónica A. Ramírez-Cabrera, Patricia C. Esquivel-Ferriño, and María del Rayo Camacho-Corona. 2016. Chemistry and Pharmacology of *Citrus sinensis*. *Molecules*. Vol. 2
- Herrera-Téllez, Verónica I., Ana K. Cruz-Olmedo, Javier Plasencia, Marina Gavilanes-Ruíz, Oscar Arce-Cervantes, Sergio Hernández-León, and Mariana Saucedo-García. 2019. The Protective Effect of *Trichoderma asperellum* on Tomato Plants against *Fusarium oxysporum* and *Botrytiis cinerea* Diseases Involves Inhibition of Reactive Oxygen Species Production. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 20
- Holt, J.G. 2000. *Bergey's Manual Determinative Bacteriology*. Baltimore: William and Balkins Baltimore
- Hussain, Md. Irshad. 2018. Biological Control of Fungal Plant Pathogen *Penicillium digitatum* Causing Green Rot of Citrus Fruit by Local *Trichoderma* Isolates from Bihar, India. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 7, No. 4
- Husein, Abdul Qadi. 2005. *Fan al-Balaghah*. Cairo: Dar al-Gharib
- Indrastuti, Nindya Atika, Siti Aminah, Dwi Handayani, and Syifa Fauziah. 2020. Antioxidant Activity of Different Dried Indonesian Citrus Peel Varieties. *Indonesian Journal of Applied Research*. Vol. 1, No. 3

- Ing, Ling Yien, Noraziah Mohamad Zin, Atif Sarwar, and Haliza Katas. 2012. Antifungal Activity of Chitosan Nanoparticles and Correlation with Their Physical Properties. *International Journal of Biomaterials*. Vol. 12
- Ismail, Mohamed and Jiuxu Zhang. 2004. Post-Harvest Citrus Diseases and Their Control. *Outlook on Postharvest Management*. Vol. 15, No. 29
- Jhalegar, MD. Jameel, R. R. Sharma, and Dinesh Singh. 2014. In Vitro and In Vivo Activity of Essential Oils Against Major Postharvest Pathogens of Kinnow (*Citrus nobilis* × *C. deliciosa*) Mandarin. *Journal Food Science and Technology*.
- Junior, Enio Nazaré de Oliveira, Itamar Soares de Melo, and Telma Teixeira Franco. 2012. Changes in Hyphal Morphology due to Chitosan Treatment in Some Fungal Species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 55, No. 5
- Kanashiro, Aline Midori, Daniel Yuri Akiyama, Katia Cristina Kupper, and Taícia Pacheco Fill. 2020. *Penicillium italicum*: An Underexplored Postharvest Pathogen. *Frontiers in Microbiology*. Vol. 11
- Khan, Awais Ahmed, Zafar Iqbal, and Muhammad Atiq. 2020. Evaluation of Organic Acids to Determine Antifungal Potential against Green Mold of Citrus (Kinnow Mandarin) Caused by Fungus *Penicillium digitatum* (Pers. Fr.) sacc. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. Vol. 33, No. 1
- Kamaluddin, Muhamad Julian Nugrah dan Mustika Nuramalia Handayani. 2018. Pengaruh Perbedaan Jenis Hidrokoloid terhadap Karakteristik *Fruit Leather* Pepaya. *Edufortech*. Vol. 3, No. 1
- Kemenag. 2021. *Qur'an Kemenag*. (Online). <https://quran.kemenag.go.id/sura/16>. Diakses pada tanggal 16 Januari 2021
- Kemenag. 2021. *Qur'an Kemenag*. (Online). <https://quran.kemenag.go.id/sura/38>. Diakses pada tanggal 30 Maret 2021
- Kemenag. 2021. *Qur'an Kemenag*. (Online). <https://quran.kemenag.go.id/sura/35>. Diakses pada tanggal 25 September 2021
- Kemenag. 2021. *Qur'an Kemenag*. (Online). <https://quran.kemenag.go.id/sura/2>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2021.
- Kementrian Pertanian. 2015. *Outlook Komoditas Pertanian Subsektor Hortikultura Jeruk*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian
- Khairi, Amalya Nurul, Affan Fajar Falah, and Agung Putra Pamungkas. 2017. Analisis Mutu Pascapanen Melon (*Cucumis melo* L.) Kultivar Glamour Sakata Selama Penyimpanan. *Chemica*. Vol. 4, No. 2

- Khiareddine, Hayfa Jabnoun, Riad SR El-Mohamedy, Farid Abdel-Kareem, Rania Aydi Ben Abdallah, Mouna Gueddes-Chahed, and Mejda Daami-Remadi. 2015. Variation in Chitosan and Salicylic Acid Efficacy Towards Soil-borne and Air-borne Fungi and their Suppressive Effect of Tomato Wilt Severity. *Plant Pathology & Microbiology*. Vol. 6, No. 11
- Khokhar, Ibatsam and Rukhsana Bajwa. 2015. First Report of *Penicillium digitatum* (Pers. ex Fr.) Sacc. causing a postharvest green mould of Oranges (*Citrus × sinensis*) in Pakistan. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*. Vol. 2, No. 7
- Kidd, Sarah, Catriona Halliday, Helen Alexiou, and David Ellis. 2016. *Descriptions of Medical Fungi Third Edition*. Adelaide: Newstyle Print Pty Ltd
- Kuzmanovska, Biljana, Rade Rusevski, Mirjana Jankulovska, and Katerina B. Oreshkovikj. 2018. Antagonistic Activity of *Trichoderma asperellum* and *Trichoderma harzianum* Against Genetically Diverse *Botrytis cinerea* Isolates. *Chilean Journal of Agricultural Research*. Vol. 78, No. 3
- Kusumaningrum, Hermin Pancasakti, Anto Budiharjo, Agung Suprihadi, Yuriza Eshananda, Annisa Fadillah, and Dina Rahayuning Pangestuti. 2018. The characterization of *Citrus* sp. from Parang Island Karimunjawa based on morphological, DNA barcoding and nutritional analysis. *International Journal of Genetics and Molecular Biology*. Vol. 10, No. 3
- Leelasuphakul, Wichitra, Punpen Hemmanee, and Samerchai Chuenchitt. 2008. Growth Inhibitory Properties of *Bacillus subtilis* Strains and Their Metabolites Against the Green Mold Pathogen (*Penicillium digitatum* Sacc.) of Citrus Fruit. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 48
- Li, Yong-Cai, Sun Xiao-Juan, Bi Yang, GE Yong-Hong, and Wang Yi. 2009. Antifungal Activity of Chitosan on *Fusarium sulphureum* in Relation to Dry Rot of Potato Tuber. *Agricultural Sciences in China*. Vol. 8, No. 5
- Liu, Ye, Shixiang Yao, Lili Denga, Jian Minga, and Kaifang Zeng. 2019. Different Mechanisms of Action of Isolated Epiphytic Yeasts Against *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* on Citrus Fruit. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 152
- Long, Le Thanh, Nguyen Thi Thuy Tien, Nguyen Hien Trang, Tran Thi Thu Ha, and Nguyen Minh Hieu. 2014. Study on Antifungal Ability of Water Soluble Chitosan Against Green Mould Infection in Harvested Oranges. *Journal of Agricultural Science*. Vol. 6, No. 8
- Mailafia, Samuel, Richard Okoh, Hamza Olatunde K. Olabode, and Ramatu Osanupin. 2017. Isolation and identification of fungi associated with spoilt fruits vended in Gwagwalada market, Abuja, Nigeria. *Veterinary World*. Vol. 10

- Majewska, Ewa, Mariola Kozowska, Eliza Gruczyńska-Skowska, Dorota Kowalska, Katarzyna Tarnowska. 2019. Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) Essential Oil: Extraction, Composition, Bioactivity and Uses for Food Preservation | a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. Vol. 69, No. 4
- Makavana, J.M., P.J. Makwana, V.D. Kukadiya, and A.M. Joshi. 2018. Post-Harvest Losses of Lemon Fruits: An Assessment of Microbial Floral Strength during Post-Harvest Handling. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. Vol. 7, No. 5
- Makni, Mohamed, Raoua Jemai, Walid Kriaa, Yassine Chtourou, and Hamadi Fetoui. 2018. Citrus limon from Tunisia: Phytochemical and Physicochemical Properties and Biological Activities. *BioMed Research International*. Vol. 20
- Martasari, C. and H. Mulyanto. 2008. Teknik Identifikasi Varietas Jeruk. *Iptek Hortikultura*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura. Bogor. p. 6-12
- Martí, Nuria, Pedro Mena, Jose Antonio Cánovas, Vicente Micó and Domingo Saura. 2009. Vitamin C and the Role of Citrus Juices as Functional Food. *Natural Product Communications*. Vol. 4, No. 5
- Matteo, Antonio Di, Giuseppe Di Rauso Simeone, Aurora Cirillo, and Maria A. Rao, Claudio Di Vaio. 2021. Morphological Characteristics, Ascorbic Acid and Antioxidant Activity During Fruit Ripening of Four Lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) Cultivars Antonio. *Scientia Horticulturae*. Vol. 276
- Mendizábal, Viviana Yáñez, Josep Usall, Inmaculada Vinñas, Carla Casals, Sonia Mariñ, Cristina Solsona and Neus Teixido. 2011. Potential of a new strain of *Bacillus subtilis* CPA-8 to control the major postharvest diseases of fruit. *Biocontrol Science and Technology*. Vol. 21, No. 4
- Mohammadi, Parisa, Elif Tozlu, Recep Kotan, and Merve Şenol Kotan. 2017. Potential of Some Bacteria for Biological Control of Postharvest Citrus Green Mould Caused by *Penicillium digitatum*. *Plant Protection Science*. Vol. 53, No. 3
- Montrocher.1967. *Revue Mycologique*. Paris
- Muhammad AS, Mohammed IU, Ameh M, Bello I, Haliru BS, and Bagudo HA, Sanda A. 2018. Isolation and Identification of Fungi Associated With the Spoilage of Sweet Orange (*Citrus sinensis* L) and Banana (*Musa sapientum* L) in Sokoto Metropolis. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*. Vol. 5, No. 3

- Najah, Khaerun, Eko Basuki, dan Ahmad Alamsyah. 2015. Pengaruh Konsentrasi Chitosan terhadap Sifat Fisik dan Kimia Buah Tomat (*Solanum lycopersicum* L.) Selama Penyimpanan. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*. Vol. 1, No. 2
- Neto, Argus Cezar da Rocha, Marcelo Maraschin, and Robson Marcelo Di Piero. 2015. Antifungal Activity of Salicylic Acid Against *Penicillium expansum* and its Possible Mechanisme of Action. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 215
- Neto, Argus Cezar da Rocha, Caroline Luiz, Marcelo Maraschin, and Robson Marcelo Di Piero. 2016. Efficacy of Salicylic Acid to Reduce *Penicillium expansum* Inoculum and Preserve Apple Fruits. *International Journal of Food Microbiology*. Vol. 221
- Ngginak, James, Anggreini Dian Naomi Rupidara, and Yanti Daud. 2019. Kandungan Vitamin C dari Ekstrak Buah Ara (*Ficus carica* L.) dan Markisa Hutan (*Passiflora foetida* L.). *Jurnal Sains dan Edukasi Sains*. Vol.2, No.2
- Nofriati, Dewi and Nur Asni. 2015. Pengaruh Jenis Kemasan dan Tingkat Kematangan Terhadap Kualitas Buah Jeruk Selama Penyimpanan. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. Vol. 12, No. 2
- Obagwu, J. and L. Korsten. 2003. Control of citrus green and blue molds with garlic extracts. *European Journal of Plant Pathology*. Vol. 109
- Obagwu, Joseph and Lise Korsten. 2003. Integrated control of citrus green and blue molds using *Bacillus subtilis* in combination with sodium bicarbonate or hot water. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 28
- Paixao, Thiago R. L. C., Denise Lowinsohn, and Mauro Bertotti. 2006. Use of an Electrochemically Etched Platinum Microelectrode for Ascorbic Acid Mapping in Oranges. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. 54
- Palou, Lluís, Silvia A. Valencia-Chamorro, and María B. Pérez-Gago. 2015. Antifungal Edible Coatings for Fresh Citrus Fruit: A Review. *Coatings*. Vol. 5
- Palou, Lluís. 2014. *Postharvest Decay Control Strategies*. London: Academic Press
- Perea, Valentina. 2016. *Citrus sinensis Monograph*. Agricultural Sciences
- Pimenta, R.S., J.F.M. Silva, C.M. Coelho, P.B. Morais, C.A. Rosa, and A. Corrêa Jr. 2010. Integrated Control of *Penicillium digitatum* by the Predacious Yeast *Saccharomycopsis crataegensis* and Sodium Bicarbonate on Oranges. *Brazilian Journal of Microbiology*. Vol. 41

- Pitt, John I and Ailsa D. Hocking. 2009. *Fungi and Food Spoilage Third Edition*. Berlin: Springer
- Post, Phillip C. and Mark A. Schlautman. 2020. Measuring Camellia Petal Color Using a Portable Color Sensor. *Horticulturae*. Vol. 6, No. 53
- Pusztahelyi, Tünde. 2018. Chitin And Chitin-Related Compounds In Plant–Fungal Interactions. *Mycology*. Vol. 9, No. 3
- Putri, Rury Eryna, Nisa Rachmania Mubarik, Laksmi Ambarsari, and Aris Tri Wahyudi. 2021. Antagonistic Activity of Glucanolytic Bacteria *Bacillus subtilis* W3.15 Against *Fusarium oxysporum* and its Enzyme Characterization. *Biodiversitas*. Vol. 22, No. 9
- Puyam, Anita. 2016. Advent of Trichoderma as a Bio-Control Agent- a Review. *Journal of Applied and Natural Science*. Vol. 8, No. 2
- Qian, Xin, Qiya Yang, Qidi Zhang, Mandour H. Abdelhai, Solairaj Dhanasekaran, Boateng Nana Adwoa Serwah, Ning Gu, and Hongyin Zhang. 2019. Elucidation of the Initial Growth Process and the Infection Mechanism of *Penicillium digitatum* on Postharvest Citrus (*Citrus reticulata* Blanco). *Microorganisms*. Vol. 7, No. 485
- Queb-Gonzales, Diana B., Aurelio Lopez-Malo, Maria E. Sosa-Morales, and Rossana Villa-Rojas. 2020. Postharvest Heat Treatments to Inhibits *Penicillium digitatum* Growth and Maintain Quality of Mandarin (*Citrus reticulata* blanco). *Heliyon*. Vol. 6
- Rahayuningsih, Edia, Felix Arie Setiawan, Conny Julanda Ayanie, Ambrosius Aditya, and Yosephine Intan Ayuningtyas. 2019. A Study on the Effectiveness of Antifungal Agents on Cotton Fabrics Colored by Gambir Natural Dyes (Uncaria Gambir). *Jurnal Konversi*. Vol. 8, No. 1
- Rahayu, Bakti Revy, Meitini Wahyuni Proborini, dan Ida Bagus Gede Darmayasa. 2019. Isolasi, Identifikasi dan Persentase Keberadaan Hifa Jamur Endofit pada Tanaman Gemitir (*Tagetes erecta* L.) di Beberapa Daerah di Bali. *Jurnal Metamorfosa*. Vol. 6, No. 1
- Response to Chitosan and Salicylic Acid. *Biomed Central Genomics*. Vol. 16
- Rahimah, Desi Sayyidati. 2016. Tren Berkebun Lemon. Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika. Jawa Timur.
- Riastana, I Kadek, Ni Komang Alit Astiari, and Ni Putu Anom Sulistiawati. 2019. Kualitas Buah Jeruk Siam (*Citrus nobillis* var *microcarva* L) Selama Penyimpanan Pada Berbagai Tingkat Kematangan Buah. *Gema Agro*. Vol. 24, No. 1

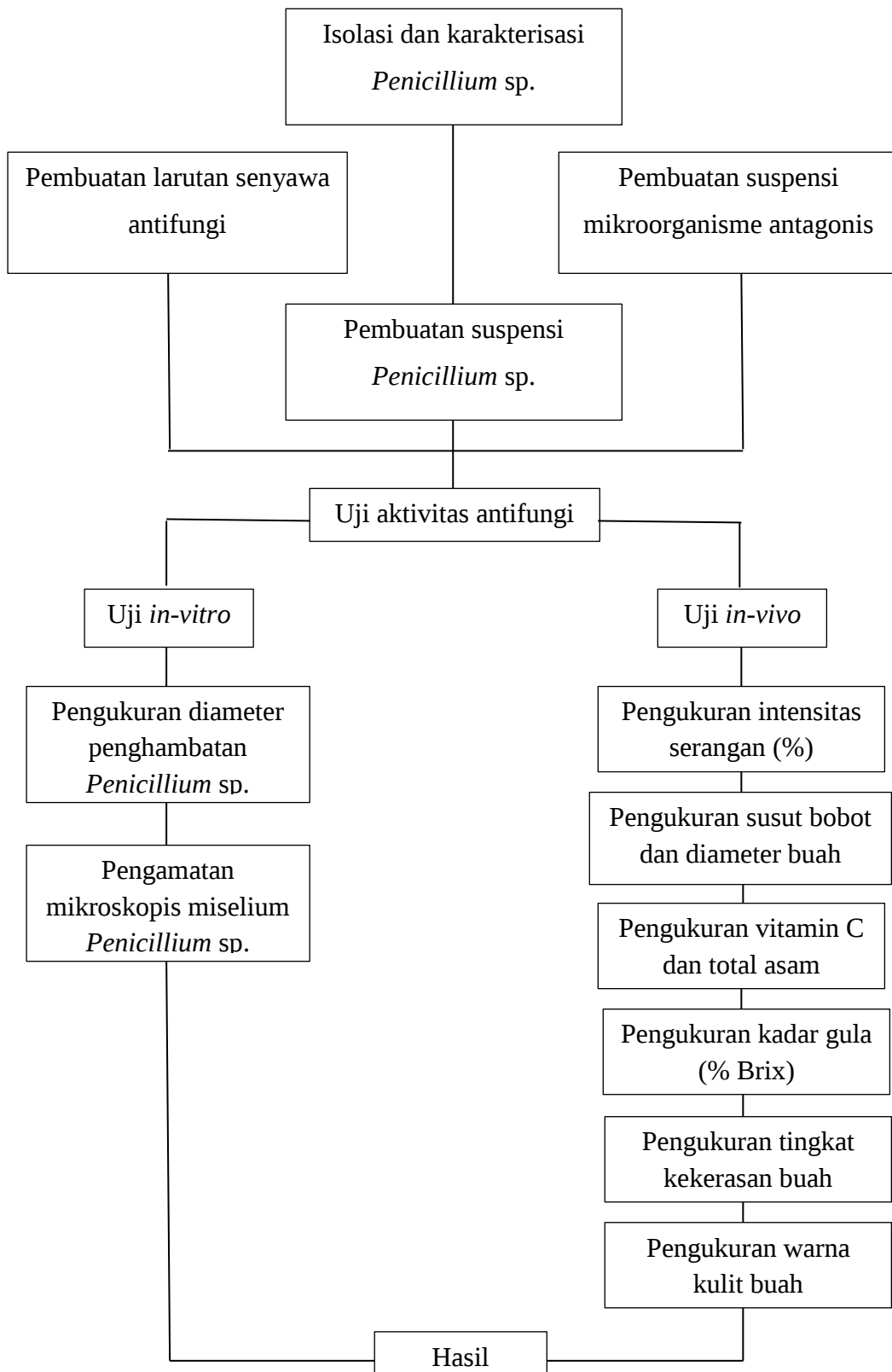
- Riscahyani, Nosy Maria, Evy Ratnasari Ekawati, and Khoirul Ngibad. 2019. Identification of Ascorbic Acid Content in *Carica papaya* L. Using Iodimetry and UV-Vis Spectrophotometry. *Indonesian Journal of Medical Laboratory Science and Technology*. Vol. 1, No. 1
- Rosana, Yeva, Tetsuhiro Matsuzawa, Tohru Gono, and Anis Karuniawati. 2014. Modified Slide Culture Method for Faster and Easier Identification of Dermatophytes. *Microbiology Indonesia*. Vol. 8, No. 3
- Royal Horticultural Society Colour Charts Edition V. Available online: <http://rhscf.orgfree.com>. Diakses pada tanggal 27 Juli 2021
- Sangwanich, S., Sangchote S., and Leelasuphakul W. 2013. Biocontrol of Citrus green mould and postharvest quality parameters. *International Food Research Journal*. Vol. 20, No. 6
- Simson, R.A. and Pitt John I. 2000. *Integration of Modern Taxonomic Methods for Penicillium and Aspergillus Classification*. Amsterdam: Harwood Academic Publisher
- Sitorus, Randy Fernando, Terip Karo-Karo, dan Zulkifli Lubis. 2014. Pengaruh Konsentrasi Kitosan Sebagai Edible Coating dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Buah Jambu Biji Merah. *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*. Vol. 2, No. 1
- Soesanto, L. 2008. *Pengantar Pengendalian Hayati Penyakit Tanaman*. Depok: Raja Grafindo Persada
- Spada, Federico La, Francesco Alo, Maurizio Coniglione, Antonella Pane, and Santa Olga Cacciola. 2021. Natural Biostimulants Elicit Plant Immune System in an Integrated Management Strategy of The Postharvest Green Mold Orange Fruits Incited by *Penicillium digitatum*. *Frontiers in Plant Sciences*. Vol. 12
- Subedi, Subash, Sundarman Shrestha, Arjun Kumar Shrestha, Sarswati Neupane, and Jiban Shrestha. 2016. Postharvest Management of Green Mold of Citrus with Medicinal and Aromatic Plants. *International Journal of Graduate Research and Review*. Vol. 2, No. 1
- Sudjatha, W. dan Ni Wayan Wisaniyasa. 2017. *Fisiologi dan Teknologi Pascapanen (Buah dan Sayuran)*. Bulit Jimbaran: Udayana University Press
- Suharna, Nandang. 2003. Interaksi antara *Trichoderma harzianum*, *Penicillium* sp. dan *Pseudomonas* sp. serta Kapasitas Antagonismenya terhadap *Phytophthora capsici* In Vitro. *Berita Biologi*. Vol. 6, No. 6
- Suriani dan Amran Muis. 2016. Prospek *Bacillus subtilis* sebagai Agen Pengendali Hayati Patogen Tular Tanah pada Tanaman Jagung. *Jurnal Litbang Pertanian*. Vol. 35, No. 1

- Sutopo. 2015. Teknik Budidaya Jeruk Manis Pacitan. Balai Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika. Jawa Timur.
- Szczykutowicz, Marta Klimek, Agnieszka Szopa, and Halina Ekiert. 2020. Citrus limon (Lemon) Phenomenon—A Review of the Chemistry, Pharmacological Properties, Applications in the Modern Pharmaceutical, Food, and Cosmetics Industries, and Biotechnological Studies. *Plants*. Vol. 9
- Tafinta, I.Y., K.Shehu, H. Abdulganiyyu, A.M. Rabe, and A. Usman. 2013. Isolation and Identification of Fungi Associated with the Spoilage of Sweet Orange (*Citrus Sinensis*) Fruits In Sokoto State. *Nigerian Journal of Basic and Applied Science*. Vol. 21, No. 3
- Talibi, I., H. Boubaker, E.H. Boudyach, and A. Ait Ben Aoumar. 2014. Alternative Methods for the Control of Postharvest Citrus Diseases. *Journal of Applied Microbiology*. Vol. 117
- Teran, Stalin Santacruz. 2021. Edible Coatings Based on Cassava Starch, Salicylic Acid, and Essential Oil for Preservation of Fresh-Cut Mango. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*.
- Torres, M.J., C. Perez Brandan, G. Petroselli, R. Erra-Balsells, and M.C. Audisio. 2016. Antagonistic Effects of *Bacillus subtilis* subsp. *subtilis* and *B. amyloliquefaciens* against *Macrophomina phaseolina*: SEM Study of Fungal Changes and UV-MALDI-TOF MS Analysis of Their Bioactive Compounds. *Microbiological Research*. Vol. 182
- Tuasamu, Yati. 2018. Karakterisasi Morfologi Daun dan Anatomi Stomata pada Beberapa Species Tanaman Jeruk (*Citrus* sp.). *Jurnal Agribisnis Perikanan*. Vol. 11, No. 2
- Vanitha, S. and R. Ramjagathesh. 2014. Bio Control Potential of *Pseudomonas fluorescens* against Coleus Root Rot Disease. *Journal of Plant Pathology and Microbiology*. Vol. 5, No. 1
- Veljović, Sonja P., Krissana Boonsiri, Michael K. Maina, Emmanuel M. Semavor, and Surajit Mitra. 2017. Infection Capacity of the Pathogens *Penicillium Italicum* and *P. Expansum* in Orange During Storage. *Food and Feed Research*. Vol. 44, No. 1
- Wang, Zhirong, Mengyao Jiang, Kewei Chen, Kaituo Wang, Muying Du, Zsolt Zalán, Ferenc Hegyi, and Jianquan Kan. 2018. Biocontrol of *Penicillium digitatum* on Postharvest Citrus Fruits by *Pseudomonas fluorescens*. *Journal of Food Quality*. Vol. 20
- Wang, Zhirong, Xiaofei Mei, Muying Du, Kewei Chen, Mengyao Jiang, Kaituo Wang, Zsolt Zalán, and Jianquan Kan. 2019. Potential Modes of Action of *Pseudomonas fluorescens* ZX During Biocontrol of Blue Mold Decay

- on Postharvest Citrus. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 100
- Wodnicka, Alicja, Elżbieta Huzar, Maria Krawczyk, and Halina Kwiecień. 2017. Synthesis and antifungal activity of new salicylic acid derivatives. *Polish Journal of Chemical Technology*. Vol. 19, No. 1
- Yendyo, Shiva, Ramesh G.C., and Binayak Raj Pandey. 2018. Evaluation of *Trichoderma* spp., *Pseudomonas fluorescens*, and *Bacillus subtilis* for Biological Control of Ralstonia Wilt of Tomato. *F1000Research*. Vol. 6
- Youssef, Khamis, Angela Ligorio, Simona Marianna Sanzani, Franco Nigro, and Antonnio Ippolito. 2012. Control of Storage Disease of Citrus by Pre-and Postharvest Application of Salts. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 72
- Youssef, Khamis, Simona Marianna Sanzani, Angela Ligorio, Antonio Ippolito, and Leon A. Terry. 2014. Sodium Carbonate and Bicarbonate Treatments Induce Resistance to Postharvest Green Mold on Citrus Fruit. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 87
- Youssef, Khamis and Ayat F. Hashim. 2020. Inhibitory Effect of Clay/Chitosan Nanocomposite against *Penicillium digitatum* on Citrus and Its Possible Mode of Action. *Jordan Journal of Biological Sciences*. Vol. 13, No. 3
- Zhang, Hongyin, Longchuan Ma, Lei Wang, Song Jiang, Ying Dong, Xiaodong Zheng. 2008. Biocontrol of Gray Mold Decay in Peach Fruit by Integration of Antagonistic Yeast with Salicylic Acid and Their Effect on Postharvest Quality Parameters. *Biological Control*. Vol. 47
- Zhang, Xiaokang, Boqiang Li, Zhanquan Zhang, Yong Chen, and Shiping Tian. 2020. Antagonistic Yeasts: A Promising Alternative to Chemical Fungicides for Controlling Postharvest Decay of Fruit. *Journal of Fungi*. Vol. 6, No. 158.
- Zin, Nur A. and Noor A. Badaluddin. 2020. Biological Functions of *Trichoderma* spp. for Agriculture Applications. *Annals of Agricultural Sciences*. Vol. 65.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain Penelitian



Lampiran 2. Contoh Rumus Perhitungan Penghambatan Jamur

2.1 Tabel rata-rata data uji *in-vitro* menggunakan senyawa antifungi

Perlakuan	Ulangan	Hari ke-				
		1	2	3	4	5
A	1	6,00	7,67	11,33	14,33	16,67
	2	7,00	9,00	11,33	14,33	16,67
	3	6,67	10,33	11,67	14,00	16,67
B	1	6,67	8,00	10,33	15,00	17,33
	2	5,67	7,33	9,00	10,33	12,00
	3	5,67	7,67	9,33	11,67	14,33
C	1	8,67	10,67	14,00	16,67	19,00
	2	8,00	11,00	13,00	15,50	18,00
	3	8,33	10,83	13,50	16,08	18,50
D	1	9,00	9,67	14,00	16,67	20,67
	2	7,33	9,33	11,67	14,00	16,00
	3	6,67	8,33	10,67	12,33	13,67
E	1	8,33	10,00	11,33	15,33	21,33
	2	8,00	9,00	12,00	16,00	19,00
	3	7,33	9,67	11,67	15,00	17,67
K	1	9,33	12,67	15,67	19,67	23,33
	2	10,33	11,67	15,67	18,67	22,33
	3	9,70	12,03	15,39	18,58	21,88

Keterangan: A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol

Contoh rumus perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{CD (hambatan, \%)} &= (\text{dc}-\text{dt})/\text{dc} \times 100 \\
 &= (9,33-6,00)/9,33 \times 100 \\
 &= 35,71\%
 \end{aligned}$$

Keterangan:

dc = diameter rata-rata kontrol

dt = diameter koloni rata-rata dengan perlakuan

2.1 Tabel rata-rata data uji *in-vitro* menggunakan mikroorganisme antagonis

Perlakuan	Ulangan	Hari ke-				
		1	2	3	4	5
F	1	8,33	10,00	12,00	14,33	16,67
	2	7,33	8,33	10,00	12,67	15,67
	3	6,33	8,33	10,00	12,67	15,00
G	1	7,33	10,00	11,33	14,33	16,33
	2	7,67	9,67	11,67	13,67	15,00
	3	6,00	8,00	10,00	13,33	15,67
H	1	7,00	8,67	14,67	17,00	19,67
	2	7,33	10,00	12,67	15,33	18,00
	3	7,67	10,00	12,33	15,33	18,67
I	1	9,00	11,67	15,00	17,00	19,67
	2	8,00	10,33	13,67	16,00	19,00
	3	6,00	8,67	11,33	15,00	19,00
J	1	7,33	9,67	12,00	14,67	16,33
	2	6,33	8,33	9,67	12,00	13,67
	3	6,33	9,00	11,00	15,00	16,33
K	1	9,33	12,67	15,67	19,67	23,33
	2	10,33	11,67	15,67	18,67	22,33
	3	9,70	12,03	15,39	18,58	21,88

Keterangan: F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol

Contoh rumus perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{CD (hambatan, \%)} &= (\text{dc}-\text{dt})/\text{dc} \times 100 \\
 &= (9,33-8,33)/9,33 \times 100 \\
 &= 10,71\%
 \end{aligned}$$

Keterangan:

dc = diameter rata-rata kontrol

dt = diameter koloni rata-rata dengan perlakuan

Lampiran 3. Data Penelitian

3.1 Persentase diameter penghambatan *Penicillium* sp. secara *in-vitro* menggunakan senyawa antifungi

Perlakuan	Hari ke-				
	1	2	3	4	5
A	33,07 ^a	25,48 ^{ab}	26,51 ^{ab}	24,99 ^{ab}	25,92 ^{ab}
B	32,90 ^a	36,65 ^a	35,82 ^a	28,22 ^a	28,64 ^b
C	15,74 ^a	10,02 ^c	12,24 ^c	15,36 ^b	17,04 ^{ab}
D	21,28 ^a	24,80 ^{ab}	22,29 ^b	24,62 ^{ab}	25,77 ^{ab}
E	19,22 ^a	21,19 ^{bc}	25,09 ^b	18,52 ^{ab}	14,25 ^a

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat.

3.2 Persentase diameter penghambatan *Penicillium* sp. secara *in-vitro* menggunakan mikroorganisme antagonis

Perlakuan	Hari ke-				
	1	2	3	4	5
F	24,81 ^a	26,78 ^a	31,54 ^a	30,36 ^a	29,95 ^a
G	28,45 ^a	23,90 ^a	29,41 ^{abc}	27,38 ^a	30,41 ^a
H	24,99 ^a	20,91 ^a	15,14 ^{bc}	16,29 ^b	16,60 ^b
I	21,43 ^a	15,76 ^a	14,47 ^c	15,70 ^b	14,60 ^b
J	31,61 ^a	25,81 ^a	30,08 ^{ab}	26,80 ^a	31,38 ^a

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*.

3.3 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis menggunakan senyawa antifungi

Hari ke-	Perlakuan					
	A	B	C	D	E	K
1	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
2	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	3,70 ^a	11,11 ^b
3	29,63 ^a	25,93 ^a	22,22 ^a	25,93 ^a	25,93 ^a	48,15 ^b
4	55,56 ^a	51,85 ^a	48,15 ^a	48,15 ^a	48,15 ^a	70,37 ^a
5	62,96 ^a	59,26 ^a	59,26 ^a	59,26 ^a	59,26 ^a	88,89 ^b

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

3.4 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk lemon menggunakan senyawa antifungi

Hari ke-	Perlakuan					
	A	B	C	D	E	K
1	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
2	3,70 ^{ab}	0,00 ^a	3,70 ^{ab}	7,41 ^{ab}	3,70 ^{ab}	11,11 ^b
3	48,15 ^a	48,15 ^a	37,04 ^a	44,44 ^a	33,33 ^a	51,85 ^a
4	59,26 ^a	66,67 ^{ab}	62,96 ^a	62,96 ^a	33,33 ^a	81,48 ^b
5	77,78 ^a	88,89 ^a	70,37 ^a	85,19 ^a	74,07 ^a	96,30 ^a

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

3.5 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk manis menggunakan mikroorganisme antagonis

Hari ke-	Perlakuan					
	F	G	H	I	J	K
1	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
2	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	11,11 ^b
3	29,63 ^a	25,93 ^a	25,93 ^a	33,33 ^a	33,33 ^a	48,15 ^b
4	40,74 ^a	37,04 ^a	40,74 ^a	51,85 ^{ab}	51,85 ^{ab}	70,37 ^b
5	59,26 ^a	62,96 ^a	62,96 ^a	62,96 ^a	77,78 ^{ab}	88,89 ^b

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

3.6 Intensitas serangan *Penicillium* sp. pada jeruk lemon menggunakan mikroorganisme antagonis

Hari ke-	Perlakuan					
	F	G	H	I	J	K
1	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a	0,00 ^a
2	0,00 ^a	3,70 ^{ab}	7,41 ^{bc}	11,11 ^c	11,11 ^c	11,11 ^c
3	18,52 ^a	29,63 ^a	51,85 ^b	40,74 ^b	51,85 ^b	51,85 ^b
4	33,33 ^a	55,56 ^{ab}	74,07 ^b	74,07 ^b	74,07 ^b	81,48 ^b
5	66,67 ^a	85,19 ^{ab}	88,89 ^{ab}	92,59 ^{ab}	92,5 ^{ab}	96,30 ^b

Keterangan: nilai yang ditampilkan adalah rata-rata dari tiga ulangan; rata-rata dengan notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

3.8 Hasil pengukuran parameter kualitas jeruk manis dengan perlakuan senyawa antifungi

Perlakuan	Gula	Total Asam	Vitamin C	Diameter	Susut Bobot	Kekerasan Buah	Warna Buah		
							L*	a*	b*
A	9,71 ^{ab}	7,97 ^a	58,44 ^a	0,13 ^a	15,60 ^a	42969,81 ^a	75,67 ^a	9,00 ^a	75,00 ^a
B	11,36 ^b	11,37 ^{ab}	75,24 ^a	0,17 ^a	17,99 ^a	17939,88 ^a	61,00 ^a	-0,33 ^a	50,00 ^a
C	10,34 ^{ab}	9,66 ^a	60,34 ^a	0,27 ^a	15,00 ^a	25610,51 ^a	73,33 ^a	0,33 ^a	66,67 ^a
D	9,39 ^{ab}	9,78 ^a	60,86 ^a	0,27 ^a	19,05 ^a	27763,00 ^a	78,67 ^a	18,6 ^a	81,33 ^a
E	8,73 ^a	14,22 ^b	66,01 ^a	0,40 ^a	15,28 ^a	17877,61 ^a	79,00 ^a	16,00 ^a	83,00 ^a
K	10,32 ^{ab}	11,41 ^{ab}	63,02 ^a	0,33 ^a	16,19 ^a	18200,79 ^a	70,33 ^a	9,67 ^a	66,33 ^a

Keterangan: nilai pada tabel adalah rata-rata dari tiga ulangan; notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

3.9 Hasil pengukuran parameter kualitas jeruk lemon dengan perlakuan senyawa antifungi

Perlakuan	Gula	Total Asam	Vitamin C	Diameter	Susut Bobot	Kekerasan Buah	Warna Buah		
							L*	a*	b*
A	8,09 ^{ab}	86,76 ^b	36,96 ^a	0,43 ^a	18,45 ^{ab}	28310,76 ^a	65,67 ^a	-0,33 ^a	55,33 ^a
B	9,93 ^b	75,50 ^b	34,02 ^a	0,53 ^a	13,10 ^a	18650,44 ^a	78,67 ^a	-1,67 ^a	71,33 ^a
C	8,10 ^{ab}	85,55 ^b	35,34 ^a	0,53 ^a	14,29 ^a	20700,95 ^a	73,67 ^a	8,00 ^a	71,00 ^a
D	8,07 ^{ab}	77,27 ^b	42,83 ^b	0,67 ^a	25,40 ^b	18961,45 ^a	72,33 ^a	-0,67 ^a	63,67 ^a
E	6,93 ^a	40,77 ^a	41,34 ^b	0,53 ^a	18,89 ^{ab}	18503,17 ^a	61,00 ^a	-0,33 ^a	50,00 ^a
K	9,92 ^b	74,57 ^b	47,65 ^c	0,77 ^a	28,57 ^b	26974,16 ^a	67,67 ^a	-0,67 ^a	58,33 ^a

Keterangan: nilai pada tabel adalah rata-rata dari tiga ulangan; notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

3.10 Hasil pengukuran parameter kualitas jeruk manis dengan perlakuan mikroorganisme antagonis

Perlakuan	Gula	Total Asam	Vitamin C	Diameter	Susut Bobot	Kekerasan Buah	Warna Buah		
							L*	a*	b*
F	8,69 ^a	11,24 ^{ab}	50,86 ^a	0,26 ^a	15,87 ^a	22821,74 ^a	61,00 ^a	-5,33 ^{ab}	50,00 ^a
G	10,57 ^a	10,07 ^a	59,22 ^{ab}	0,33 ^a	13,65 ^a	29922,21 ^a	59,33 ^a	-17,33 ^a	44,67 ^a
H	10,47 ^a	9,42 ^a	56,37 ^{ab}	0,13 ^a	18,65 ^a	26830,58 ^a	68,67 ^a	9,67 ^{bc}	59,00 ^a
I	10,90 ^a	10,76 ^{ab}	65,48 ^{ab}	0,20 ^a	21,75 ^a	22598,28 ^a	70,33 ^a	7,33 ^{bc}	64,00 ^a
J	10,72 ^a	20,67 ^b	74,07 ^b	0,23 ^a	19,84 ^a	21672,11 ^a	79,00 ^a	16,00 ^c	83,00 ^a
K	10,32 ^a	11,41 ^{ab}	63,02 ^{ab}	0,33 ^a	16,19 ^a	18200,79 ^a	70,33 ^a	9,67 ^{bc}	66,33 ^a

Keterangan: nilai pada tabel adalah rata-rata dari tiga ulangan; notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

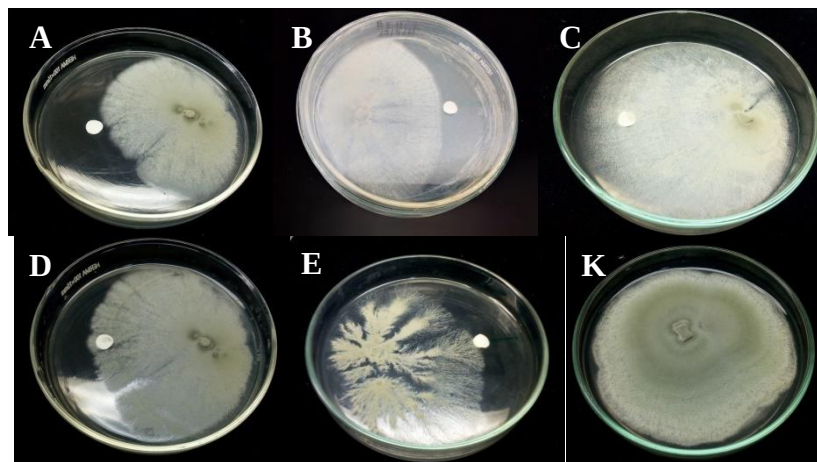
3.11 Hasil pengukuran parameter kualitas jeruk lemon dengan perlakuan mikroorganisme antagonis

Perlakuan	Gula	Total Asam	Vitamin C	Diameter	Susut Bobot	Kekerasan Buah	Warna Buah		
							L*	a*	b*
F	7,04 ^a	82,69 ^b	31,95 ^a	0,37 ^a	8,69 ^a	29739,24 ^{ab}	66,67 ^a	-6,00 ^{ab}	52,00 ^a
G	9,09 ^{ab}	62,57 ^{ab}	39,06 ^b	0,57 ^{ab}	19,84 ^{bc}	13925,44 ^{ab}	73,33 ^a	-12,33 ^a	56,33 ^a
H	8,46 ^{ab}	73,74 ^{ab}	37,65 ^{ab}	0,63 ^{ab}	14,29 ^{ab}	16232,71 ^{ab}	69,33 ^a	-1,00 ^{ab}	57,00 ^a
I	8,18 ^{ab}	73,57 ^{ab}	34,35 ^{ab}	0,87 ^b	19,76 ^{bc}	15431,87 ^{ab}	64,67 ^a	0,00 ^{ab}	53,67 ^a
J	8,48 ^{ab}	51,90 ^a	33,66 ^{ab}	0,67 ^{ab}	14,46 ^{ab}	1852,99 ^a	80,33 ^a	5,67 ^b	73,67 ^a
K	9,92 ^b	74,57 ^{ab}	47,65 ^b	0,77 ^{ab}	28,57 ^c	26974,16 ^{ab}	67,67 ^a	-0,67 ^{ab}	58,33 ^a

Keterangan: nilai pada tabel adalah rata-rata dari tiga ulangan; notasi yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan uji *Duncan* pada $P < 0,05$. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*; K) kontrol.

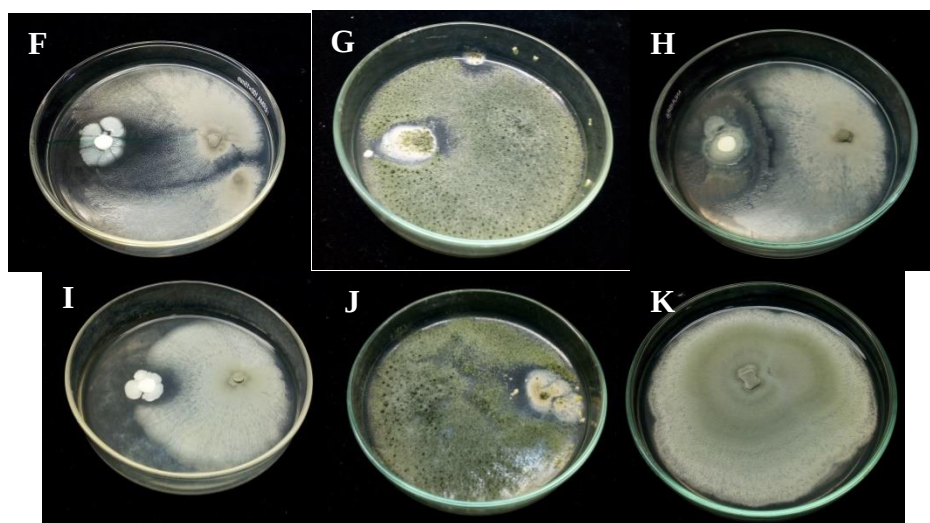
Lampiran 4. Gambar Penelitian

4.1 Hasil uji *in-vitro* menggunakan senyawa antifungi



Gambar 4.1 Penghambatan *Penicillium* sp. secara *in-vitro* menggunakan senyawa antifungi. A) kitosan; B) asam salisilat; C) minyak sereh; D) sodium karbonat; E) sodium bikarbonat; K) kontrol.

4.2 Hasil uji *in-vitro* menggunakan mikroorganisme antagonis



Gambar 4.2 Penghambatan *Penicillium* sp. secara *in-vitro* menggunakan mikroorganisme antagonis. F) *C. oleophila*; G) *T. harzianum*; H) *B. subtilis*; I) *P. fluorescens*; J) *T. asperellum*

Lampiran 5. Kartu Konsultasi Biologi



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

KARTU KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Dewi Fatimah Alfaizah
NIM : 17620096
Program Studi : S1 Biologi
Semester : Ganjil TA 2020/ 2021
Pembimbing : Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc
Judul Skripsi : Pengendalian *Penicillium* sp. Penyebab Busuk Buah pada Jeruk Pascapanen Menggunakan Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	11/02/2021	Konsultasi Judul Penelitian	
2.	18/02/2021	Konsultasi BAB I, II, dan III	
3.	08/04/2021	Konsultasi dan Revisi BAB I, II, dan III	
4.	12/04/2021	Konsultasi dan Revisi BAB I, II, dan III	
5.	06/05/2021	ACC proposal skripsi	
6.	31/8/2021	Revisi BAB I, II, dan III	
7.	28/09/2021	Konsultasi BAB IV	
8.	27/10/2021	Konsultasi BAB IV dan V	
9.	29/10/2021	Konsultasi dan Revisi BAB IV	
10.	04/10/2021	Revisi BAB IV dan V	
11.	05/10/2021	ACC Skripsi	

Pembimbing Skripsi,

Prilya Dewi Fitriasari, M.Sc
NIP. 19900428201608012062

Malang, 5 November 2021
Ketua Program Studi,



Dr. Evika Sandi Savitri, M.Sc
NIP. 197410182003122002

Lampiran 6. Kartu Konsultasi Agama



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp (0341) 558933, Fax. (0341) 558933

KARTU KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Dewi Fatimah Alfaizah
NIM : 17620096
Program Studi : S1 Biologi
Semester : Genap TA 2020/2021
Pembimbing : Dr. M. Imamuddin, Lc., M.A
Judul Skripsi : Pengendalian *Penicillium* sp. Penyebab Busuk Buah pada Jeruk Pascapanen Menggunakan Senyawa Antifungi dan Mikroorganisme Antagonis

[illegible]

Pembimbing Skripsi,

M. J. E.

Dr. M. Imamuddin, Lc., M.A.
NIP. 197406022009011010



Malang, 5 November 2021
Ketua Program Studi,

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP.197410182003122002

Lampiran 7. Bukti Cek Plagiasi



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN BIOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp/ Faks. (0341) 558933
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

Nama : Dewi Fatimah Alfaizah
NIM : 17620096
Judul : Pengendalian *Penicillium* sp. Penyebab Busuk Buah pada Jeruk
Pascapanen Menggunakan Senyawa Antifungi dan
Mikroorganisme Antagonis

No	Tim Checkplagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	13%	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi

Dr. Evika Sandi Savitri, M. P
NIP. 19741018 200312 2 002