

Efektivitas Ekstrak Daun Cengkeh Dalam Menghambat Pertumbuhan *Pectobacterium carotovorum* Subsp. *carotovorum* Pada Sawi Putih

Dina Artika Br Sembiring¹⁾, Christoffol Leiwakabessy^{1*)}, Handry. R. D. Amanupunnjo¹⁾

¹⁾Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka,

* Korespondensi : chrisleiwakabessy@gmail.com

ABSTRAK

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum* (*Pcc*) merupakan bakteri penyebab penyakit busuk lunak yang menurunkan kualitas dan hasil tanaman sawi putih. Penelitian ini bertujuan menguji efektivitas berbagai jenis dan konsentrasi ekstrak daun cengkeh dalam menghambat pertumbuhan *Pcc* secara *in vitro* dan *in vivo*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura pada November 2025–Januari 2026. Ekstrak daun cengkeh diperoleh melalui metode maserasi menggunakan akuades steril sebagai pelarut. Uji *in vitro* menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial dengan faktor jenis ekstrak daun cengkeh (Hutan, Raja, dan Tuni) dan konsentrasi (5%, 10%, 15%, dan 20%), serta kontrol positif (kloramfenikol) dan kontrol negatif (akuades steril). Uji *in vivo* menggunakan dua perlakuan terbaik dari hasil uji *in vitro* (C3K3 dan C3K4), serta kontrol positif dan negatif. Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa faktor jenis ekstrak, konsentrasi ekstrak, dan interaksi keduanya berpengaruh sangat nyata terhadap diameter zona hambat pertumbuhan *Pcc* ($p < 0,001$). Perlakuan C3K4 menghasilkan diameter zona hambat terbesar, yaitu 10,23 mm. Pada uji *in vivo*, perlakuan C3K4 memberikan penghambatan tertinggi terhadap perkembangan gejala busuk lunak, yaitu 69,43% berdasarkan panjang gejala dan 47,62% berdasarkan lebar gejala pada 7 hari setelah inokulasi. Dengan demikian, ekstrak daun cengkeh Tuni konsentrasi 20% (C3K4) merupakan perlakuan paling efektif untuk menghambat pertumbuhan *Pcc* dan berpotensi digunakan sebagai pestisida nabati dalam pengendalian penyakit busuk lunak pada sawi putih.

Kata kunci: Ekstrak daun cengkeh, *Pcc*, busuk lunak, sawi putih, antibakteri.

The Effectiveness Of Clove Leaf Extract In Inhibiting *Pectobacterium carotovorum* Subsp. *carotovorum* On Chinese Cabbage

ABSTRACT

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum* (*Pcc*) is a bacterium that causes soft rot that reduces the quality and yield of chicory plants. This study aims to test the effectiveness of various types and concentrations of clove leaf extract in inhibiting the growth of *Pcc* *in vitro* and *in vivo*. The research was carried out at the Agricultural Cultivation Laboratory, Faculty of Agriculture, Pattimura University in November 2025–January 2026. Clove leaf extract is obtained through the maceration method using sterile aqueducts as a solvent. *In vitro* tests used a factorial completely randomized design with factors of clove leaf extract type (Forest, King, and Tuni) and concentration (5%, 10%, 15%, and 20%), as well as positive control (chloramphenicol) and negative control (sterile aqueducts). The *in vivo* test used the two best treatments of the *in vitro* test results (C3K3 and C3K4), as well as positive and negative controls. The results of the variety-type analysis showed that the factors of the type of extract, the concentration of the extract, and the interaction of the two had a very significant effect on the diameter of the *Pcc* growth inhibition zone ($p < 0.001$). The C3K4 treatment resulted in the largest inhibition zone diameter, which was 10.23 mm. In the *in vivo* test, C3K4 treatment provided the highest inhibition against the development of soft rot symptoms, which was 69.43% based on symptom length and 47.62% based on symptom width at 7 days after inoculation. Thus, Tuni clove leaf extract with a concentration of 20% (C3K4) is the most effective treatment to inhibit the growth of *Pcc* and has the potential to be used as a plant-based pesticide in the control of soft rot in Chinese cabbage.

Keywords: clove leaf extract, *Pcc*, soft rot, Chinese cabbage, antibacterial activity

PENDAHULUAN

Pectobacterium carotovorum subsp. *carotovorum* (*Pcc*) merupakan bakteri patogen utama penyebab penyakit busuk lunak pada sayuran famili Brassicaceae. Patogen ini dapat menyerang tanaman di lapangan maupun pada tahap pascapanen sehingga menurunkan kualitas dan nilai jual hasil panen. Secara global, kehilangan hasil sayuran pada tahap pascapanen mencapai 20–60% dari total produksi, dengan busuk lunak bakteri sebagai salah satu penyebab utamanya ^{[1],[2]}. Pengendalian penyakit busuk lunak umumnya masih mengandalkan pestisida kimia sintesis, seperti Agrept 20 WP, Bactomycin 15/5 WP, dan Besun Elite 300 SC. Penggunaan secara terus-menerus berpotensi menimbulkan residu pada hasil panen, mencemari lingkungan, serta mengganggu organisme non-target, termasuk mikroba tanah dan serangga penyerbuk ^[3]. Oleh karena itu, pengembangan pestisida nabati berbasis senyawa bioaktif dari tanaman menjadi alternatif yang lebih aman dan berkelanjutan.

Indonesia merupakan salah satu negara megabiodiversitas dengan kekayaan sumber daya tumbuhan yang sangat tinggi dan berpotensi sebagai sumber senyawa bioaktif untuk pengembangan pestisida nabati ramah lingkungan ^{[4],[5]}. Berbagai strategi pengendalian penyakit tanaman berbasis bahan alami telah dikembangkan, termasuk pemanfaatan mikroorganisme menguntungkan sebagai agen pengendali hayati serta senyawa metabolit sekunder tanaman yang memiliki aktivitas antimikroba ^{[6],[7]}. Salah satu tanaman yang berpotensi sebagai pestisida nabati adalah cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Cengkeh mengandung metabolit sekunder, terutama eugenol, yang memiliki aktivitas antibakteri dan antijamur melalui mekanisme kerusakan membran sel serta penghambatan aktivitas enzim patogen ^[8]. Penelitian Ramadhani *et al.*, ^[9] menunjukkan bahwa ekstrak daun cengkeh pada konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 20% mampu menghambat

pertumbuhan *Staphylococcus epidermidis* secara linear. Selain itu, ekstrak daun cengkeh juga efektif menghambat berbagai bakteri fitopatogen, termasuk spesies dari genus *Xanthomonas* ^{[10],[11]}.

Namun, pemanfaatan ekstrak daun cengkeh lokal Maluku, yaitu cengkeh Hutan, Raja, dan Tuni, sebagai pestisida nabati masih belum banyak dikaji. Cengkeh Hutan berasal dari Maluku dan Papua ^[12], sedangkan cengkeh Raja merupakan hasil persilangan alami antara cengkeh Hutan dan cengkeh Tuni. Ketiga jenis cengkeh tersebut memiliki karakteristik genetik dan lingkungan tumbuh yang berbeda yang dapat memengaruhi komposisi metabolit sekundernya, termasuk kandungan eugenol sebagai senyawa utama yang berperan dalam aktivitas antimikroba. Kandungan eugenol pada cengkeh Tuni mencapai 78%, cengkeh Raja 49,3%, dan cengkeh Hutan 3,65% ^{[12],[13]}. Perbedaan profil eugenol tersebut diduga memengaruhi kemampuan ekstrak dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Meskipun demikian, penelitian yang membandingkan efektivitas ekstrak daun cengkeh Hutan, Raja, dan Tuni terhadap *Pcc* pada sawi putih masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan pestisida nabati yang ramah lingkungan berbasis keanekaragaman hayati lokal Indonesia.

BAHAN DAN METODE

1. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada November 2025–Januari 2026 di Laboratorium Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Pattimura.

2. Bahan dan Alat Percobaan

Alat yang digunakan meliputi *laminar air flow*, lampu bunsen, autoklaf, pinset, jarum ose, mikropipet, tabung reaksi, rak tabung reaksi, cawan petri, erlenmeyer, gelas beker, spatula, gelas objek, kertas cakram, kertas

amplas Grit 5000, *L-glass*, kapas, aluminium foil, tisu steril, cutter, jarum analitik, timbangan analitik, penggaris, kamera telepon genggam, blender, saringan halus, *hotplate*, plastik *wrap*, dan *vortex*. Bahan yang digunakan adalah daun cengkeh Hutan, Raja, dan Tuni (matang fisiologis), daun sawi putih, isolat *Pcc*, tembakau, kentang, alkohol 70% dan 95%, akuades steril, kloramfenikol, KOH 3%, media NA, dan YDCA.

3. Rancangan Percobaan

Uji *in vitro* menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dua faktor dengan empat ulangan. Faktor pertama adalah jenis cengkeh: C1 (Hutan), C2 (Raja), dan C3 (Tuni). Faktor kedua adalah konsentrasi ekstrak: K1 (5%), K2 (10%), K3 (15%), dan K4 (20%).

Uji *in vivo* menggunakan RAL dengan dua perlakuan terbaik hasil uji *in vitro*, yaitu C3K3 dan C3K4, masing-masing lima ulangan. Ditambah kontrol positif (kloramfenikol) dan kontrol negatif (akuades steril), sehingga diperoleh 20 satuan percobaan menggunakan 20 helai daun sawi putih. Pemilihan varietas Tunjati pada uji *in vivo* didasarkan pada hasil uji *in vitro* yang menunjukkan aktivitas antibakteri tertinggi, dengan zona hambat terbesar pada perlakuan C3K4 (10,23 mm) serta adanya interaksi nyata antara varietas dan konsentrasi ekstrak. Oleh karena itu, varietas Hutan dan Raja tidak diuji kembali pada tahap *in vivo*.

4. Pelaksanaan Penelitian

Isolasi *Pcc*

Isolat *Pcc* diperoleh dari sawi putih bergejala busuk lunak. Jaringan bergejala disterilisasi dengan alkohol 70%, dibilas akuades steril, dihancurkan, didiamkan ± 15 menit, kemudian dihomogenkan menggunakan *vortex*. Suspensi diinokulasikan pada media YDCA dengan metode *streak plate* dan diinkubasi 24 jam pada suhu ruang. Identifikasi dilakukan melalui pengamatan

morfologi koloni, uji Gram (KOH 3%), uji hipersensitif pada tembakau, uji patogenisitas pada sawi putih, dan uji busuk lunak pada kentang. Isolat yang diduga *Pcc* dimurnikan pada media NA dan disimpan pada media NA miring.

Pembuatan Ekstrak Daun Cengkeh

Daun cengkeh Hutan, Raja, dan Tunjati masing-masing sebanyak 100 g dicuci, dihaluskan dengan 100 mL akuades steril, kemudian dimaserasi selama 24 jam pada suhu ruang. Hasil maserasi disaring dan filtrat yang diperoleh digunakan sebagai ekstrak stok serta disimpan dalam botol kaca tertutup.

Uji Aktivitas Antibakteri secara *In Vitro*

Aktivitas antibakteri diuji menggunakan metode difusi cakram pada konsentrasi 5%, 10%, 15%, dan 20%. Kertas cakram steril (diameter 5 mm) direndam dalam larutan ekstrak selama ± 15 menit. Suspensi *Pcc* ($\pm 10^8$ CFU/mL) disebarkan pada media NA, kemudian cakram ditempatkan di atas media dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu ruang. Kloramfenikol dan akuades steril digunakan sebagai kontrol positif dan negatif. Aktivitas antibakteri ditentukan berdasarkan diameter zona hambat yang diukur secara horizontal dan vertikal lalu dirata-ratakan.

Uji Efektivitas secara *In Vivo*

Uji *in vivo* dilakukan menggunakan perlakuan terbaik dari hasil uji *in vitro*. Daun sawi putih disterilisasi dengan alkohol 70%, dibilas dengan akuades steril, kemudian dilukai pada bagian petiol menggunakan kertas amplas halus. Daun diletakkan pada nampan steril beralas tisu lembap. Sebanyak 1 mL ekstrak diaplikasikan pada luka, kemudian diinokulasi dengan suspensi *Pcc*. Kloramfenikol dan akuades steril digunakan sebagai kontrol positif dan negatif. Nampan ditutup dengan plastik transparan dan diinkubasi selama 7 hari. Pengamatan dilakukan terhadap panjang dan lebar lesi menggunakan penggaris.

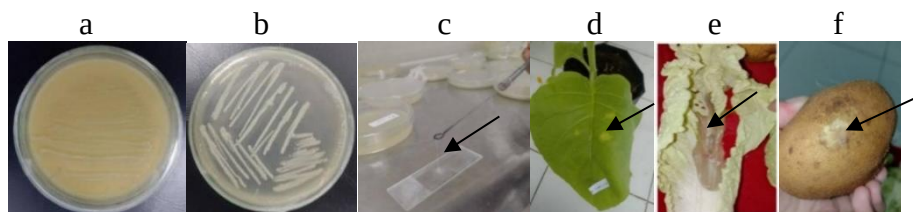
4. Analisis Data

Penelitian ini dianalisis menggunakan ANOVA faktorial dalam RAL dengan bantuan aplikasi Minitab 17. Apabila terdapat perbedaan nyata antarperlakuan, analisis dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf kepercayaan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil

Isolasi dan Identifikasi *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*



Gambar 1. (a) *Pcc* pada media YDCA; (b) Biakan murni *Pcc* pada NA; (c) Uji KOH 3%; (d) Uji hipersensitif pada daun tembakau; (e) Gejala nekrosis berwarna coklat pada daun sawi putih

Proses isolasi dilakukan dari daun sawi putih bergejala busuk lunak yang disterilisasi permukaannya, kemudian diinokulasikan pada media YDCA dan diinkubasi selama 24 jam. Koloni yang tumbuh dimurnikan hingga diperoleh biakan tunggal. Koloni pada media YDCA berwarna putih dengan permukaan licin (Gambar 1a), sedangkan pada media Nutrient Agar (NA) koloni berbentuk bulat, berwarna putih susu, bertepian rata, permukaan licin, dan berelevasi cembung yang merupakan ciri khas *Pcc* (Gambar 1b). Identifikasi dilanjutkan dengan uji Gram menggunakan larutan KOH 3% yang menunjukkan terbentuknya lendir saat suspensi diangkat menggunakan jarum ose, menandakan bahwa isolat merupakan bakteri Gram-negatif (Gambar 1c). Uji reaksi hipersensitif pada daun tembakau menunjukkan munculnya nekrosis pada hari ke-3 setelah inokulasi, sedangkan kontrol tidak menunjukkan gejala (Gambar 1d). Uji patogenisitas pada daun sawi putih sehat menghasilkan gejala busuk lunak berupa jaringan basah, melunak, dan berwarna coklat

keabu-abuan dalam 24 jam setelah inokulasi (Gambar 1e). Identifikasi *Pcc* diperkuat melalui uji *soft rot* pada umbi kentang yang menunjukkan degradasi jaringan dengan tekstur lunak, berair, dan berlendir (Gambar 1f).

Diameter zona hambat

Hasil pengamatan pembentukan diameter zona hambat yang dihasilkan oleh aplikasi pestisida nabati ditampilkan pada Tabel 1. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan C3K4 menghasilkan diameter zona hambat terbesar (10,23 mm) dan berbeda nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Nilai tersebut diikuti oleh C3K3 (9,23 mm), C3K2 (8,15 mm), dan C3K1 (7,78 mm). Pada kelompok C2, diameter zona hambat berkisar antara 6,12–7,41 mm, sedangkan kelompok C1 menunjukkan efektivitas terendah dengan nilai minimum 3,26 mm pada C1K1. Secara keseluruhan, variasi jenis cengkeh dan konsentrasi ekstrak berpengaruh nyata terhadap diameter zona hambat.

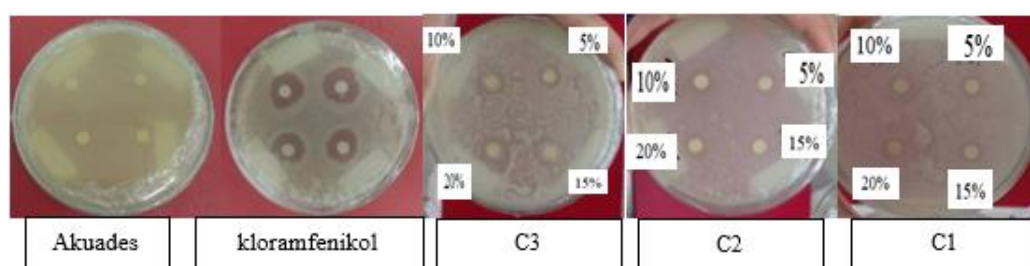
Tabel 1. Hasil pengamatan diameter zona hambat setelah 24 jam inkubasi (mm)

Perlakuan (%)	Rata-rata
C3K4	10.23 a
C3K3	9.23 b
C3K2	8.15 c
C3K1	7.78 cd
C2K4	7.41 de
C2K3	7.18 ef
C2K2	6.83 f
C2K1	6.12 g
C1K4	5.05 h
C1K3	4.58 i
C1K2	3.94 j
C1K1	3.26 k
Kloramfenikol	11,75

Keterangan: Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut Tukey α 5%

Berdasarkan Gambar 2, kontrol negatif (akuades) tidak menunjukkan zona hambat, sedangkan kontrol positif (kloramfenikol) menghasilkan zona hambat yang besar. Ekstrak daun cengkeh (C1, C2, C3)

membentuk zona hambat dengan ukuran yang meningkat seiring kenaikan konsentrasi. Ekstrak cengkeh Tuni (C3) menunjukkan daya hambat tertinggi, diikuti cengkeh Raja (C2) dan cengkeh Hutan (C1).



Gambar 2. Diameter zona hambat perlakuan Akuades; Kloramfenikol; C1: ekstrak daun cengkeh Hutan; C2: ekstrak daun cengkeh Raja; C3: ekstrak daun cengkeh Tuni

Penghambatan relatif panjang/lebar gejala busuk lunak

Perkembangan panjang gejala busuk lunak berbeda pada tiap perlakuan dapat dilihat pada Tabel 2. Perlakuan C3K4 menunjukkan peningkatan gejala yang relatif rendah dan stabil hingga sekitar 4,80 cm,

sedangkan C3K3 meningkat bertahap hingga 5,68 cm pada 7 HSI. Kontrol negatif (akuades) menunjukkan perkembangan tercepat dan tertinggi, mencapai 15,70 cm, sementara kloramfenikol tidak menimbulkan gejala sama sekali (0 cm). Hal ini menunjukkan adanya perbedaan efektivitas yang nyata antarperlakuan dalam menekan perkembangan penyakit.

Tabel 2. Perkembangan panjang gejala busuk lunak *Pcc* pada sawi putih

Perlakuan	Panjang gejala busuk (cm) Pada hari setelah inokulasi						
	1 HSI±sd	2 HSI±sd	3 HSI±sd	4 HSI±sd	5 HSI±sd	6 HSI±sd	7 HSI±sd
C3K4	3.40±0.89	4.00±0.70	4.62±0.48	4.80±0.67	4.80±0.67	4.80±0.76	4.80±0.67
C3K3	4.06±0.13	4.90±0.87	5.10±0.55	5.34±0.52	5.54±0.61	5.62±0.69	5.68±0.74
Akuades	5.80±0.83	7.40±0.75	8.80±0.84	10.50±1.57	12.76±1.92	13.98±1.50	15.70±1.68
Khloramfenikol	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0

Keterangan: SD = Standar Deviasi

Hasil pengamatan persentase penghambatan panjang gejala busuk lunak pada daun sawi putih menunjukkan perbedaan tingkat penghambatan antarkombinasi perlakuan selama 7 hari setelah inokulasi (HSI) yang dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan C3K4 memiliki tingkat penghambatan tertinggi yang meningkat dari 41,38% hingga

69,43% selama 1–7 HSI. Perlakuan C3K3 juga menunjukkan peningkatan penghambatan, namun lebih rendah, yaitu dari 30,00% hingga 63,82%. Kontrol negatif (akuades) tidak menunjukkan penghambatan (0%), sedangkan kontrol positif (kloramfenikol) mencapai penghambatan maksimal sebesar 100% sepanjang pengamatan.

Tabel 3. Penghambatan panjang gejala busuk (%) pada hari setelah inokulasi

Perlakuan	Penghambatan panjang gejala busuk (%) pada hari setelah inokulasi						
	1	2	3	4	5	6	7
C3K4	41.38	45.95	47.50	54.29	62.38	65.66	69.43
C3K3	30.00	33.78	42.05	49.14	56.58	59.80	63.82
Akuades	0	0	0	0	0	0	0
Kloramfenikol	100	100	100	100	100	100	100

Hasil pengamatan perkembangan lebar gejala busuk lunak dapat dilihat pada Tabel 4. Perkembangan lebar gejala busuk lunak berbeda antarperlakuan. Perlakuan C3K4 menunjukkan peningkatan yang relatif rendah dan stabil hingga sekitar 4,40 cm, sedangkan C3K3 meningkat bertahap hingga 5,50 cm pada akhir pengamatan. Kontrol

negatif (akuades) menunjukkan perkembangan tercepat dan terbesar, mencapai 8,40 cm, sementara kontrol positif (kloramfenikol) tidak menunjukkan gejala (0 cm). Hal ini menunjukkan perbedaan efektivitas perlakuan dalam menekan perkembangan penyakit.

Tabel 4. Perkembangan lebar gejala busuk lunak *Pcc* pada sawi putih

Perlakuan	Lebar gejala busuk (cm) pada hari setelah inokulasi						
	1 HSI±sd	2 HSI±sd	3 HSI±sd	4 HSI±sd	5 HSI±sd	6 HSI±sd	7 HSI±sd
C3K4	3.20±0.44	3.80±0.77	4.28±0.86	4.40±0.89	4.40±0.89	4.40±0.89	4.40±0.89
C3K3	3.76±0.51	4.36±0.98	4.90±0.35	5.40±0.44	5.48±0.44	5.50±0.35	5.50±0.35
Akuades	4.36±0.56	5.06±0.37	5.86±0.51	6.58±1.02	6.68±1.02	7.10±0.89	8.40±1.81
Kloramfenikol	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0	0±0

Keterangan: SD = Standar Devias

Hasil pengamatan persentase penghambatan lebar gejala busuk lunak pada daun sawi putih menunjukkan perbedaan tingkat penghambatan antar kombinasi perlakuan selama 7 hari setelah inokulasi (HSI). Penghambatan relatif lebar gejala busuk lunak dapat dilihat pada Tabel 5. Persentase penghambatan lebar gejala menunjukkan bahwa C3K4 memiliki efektivitas tertinggi,

meningkat dari 26,61% hingga 47,62% selama 1–7 HSI. Perlakuan C3K3 juga meningkat, namun lebih rendah, dari 13,76% menjadi 34,52%. Kontrol negatif (akuades) tidak menunjukkan penghambatan (0%), sedangkan kontrol positif (kloramfenikol) mencapai penghambatan maksimal (100%) sepanjang pengamatan.

Tabel 5. Penghambatan lebar gejala busuk lunak (%) pada hari setelah inokulasi

Perlakuan	Penghambatan lebar gejala busuk (%) pada hari setelah inokulasi						
	1	2	3	4	5	6	7
C3K4	26.61	26.92	26.96	33.13	34.13	38.03	47.62
C3K3	13.76	16.15	16.38	17.93	17.96	22.54	34.52
Akuades	0	0	0	0	0	0	0
Kloramfenikol	100	100	100	100	100	100	100

3.2 Pembahasan

Isolat bakteri *Pcc* dari daun sawi putih bergejala busuk lunak menunjukkan karakteristik khas pada media Yeast Dextrose Carbonate Agar (YDCA). Setelah inkubasi 24 jam, koloni berwarna putih krem dengan permukaan licin (Gambar 1a). Media YDCA digunakan untuk membedakan bakteri pektinolitik berdasarkan warna koloni, di mana *Pantoea* menghasilkan koloni kuning, sedangkan *Pectobacterium* menghasilkan koloni putih hingga krem^[14]. Pemurnian pada media Nutrient Agar (NA) menunjukkan koloni berbentuk bulat, berwarna putih susu, berelevasi cembung, serta bertepian rata dan licin (Gambar 1b), sesuai dengan karakteristik *Pcc* yang dilaporkan oleh Sekarsari^[15].

Uji Gram menggunakan larutan KOH 3% menunjukkan terbentuknya benang (string) saat suspensi diangkat dengan jarum ose (Gambar 1 c), menandakan isolat merupakan bakteri Gram-negatif akibat lisisnya dinding sel yang melepaskan DNA. Hasil ini sesuai dengan karakteristik *Pcc*^[16]. Uji reaksi hipersensitif pada daun tembakau menunjukkan nekrosis lokal tiga hari setelah inokulasi, sedangkan kontrol tidak

menunjukkan gejala (Gambar 1d), yang mengonfirmasi sifat patogenik isolat^[17].

Uji patogenisitas pada daun sawi putih menghasilkan gejala busuk lunak berupa jaringan basah, melunak, berwarna cokelat keabu-abuan, dan nekrosis yang meluas (Gambar 1e). Gejala tersebut disebabkan oleh aktivitas enzim pektinolitik yang mendegradasi pektin pada lamela tengah dinding sel sehingga jaringan kehilangan kohesi. Mekanisme ini sesuai dengan karakteristik *Pectobacterium* yang menghasilkan enzim pektinase, selulase, dan protease sebagai faktor virulensi utama. Hasil serupa diperoleh pada uji umbi kentang yang menunjukkan pelunakan jaringan dan pembusukan berlendir (Gambar 1f), akibat degradasi pektin pada lamela tengah^[18].

Uji Penghambatan Ekstrak Daun Cengkeh Terhadap *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* secara *in vitro*

Hasil uji lanjut Tukey taraf 5% menunjukkan bahwa perlakuan C3K4 menghasilkan daya hambat tertinggi dan berbeda nyata dibandingkan perlakuan lainnya, sedangkan C1K1 menunjukkan daya

hambat terendah (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi jenis cengkeh dan konsentrasi ekstrak berperan penting dalam menentukan aktivitas antibakteri terhadap *Pcc*. Secara umum, peningkatan konsentrasi ekstrak dari 5% hingga 20% diikuti oleh peningkatan diameter zona hambat pada seluruh jenis cengkeh. Namun, besarnya peningkatan berbeda antarjenis cengkeh, yang mengindikasikan adanya pengaruh komposisi senyawa bioaktif pada masing-masing varietas. Perlakuan C3 menunjukkan peningkatan daya hambat yang lebih tinggi dibandingkan C1, sehingga mengindikasikan adanya interaksi antara jenis cengkeh dan konsentrasi ekstrak dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

Perlakuan C3K4 menghasilkan diameter zona hambat sebesar 10,23 mm, sedangkan kontrol positif kloramfenikol menghasilkan diameter zona hambat sebesar 11,75 mm. Berdasarkan klasifikasi yang dikemukakan oleh Dhani *et al.*,^[19] diameter zona hambat 5–10 mm termasuk kategori sedang, 11–19 mm kategori kuat, dan >20 mm kategori sangat kuat. Dengan demikian, daya hambat perlakuan C3K4 berada pada batas kategori sedang menuju kuat dan mendekati efektivitas kontrol positif. Meskipun masih lebih rendah dibandingkan kloramfenikol, hasil tersebut menunjukkan bahwa ekstrak daun cengkeh Tuni konsentrasi 20% memiliki potensi sebagai antibakteri nabati untuk menghambat pertumbuhan *Pcc* secara *in vitro*.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Ramadhani *et al.*,^[20] yang melaporkan bahwa ekstrak daun cengkeh pada konsentrasi 5–20% mampu menghambat pertumbuhan *Staphylococcus epidermidis*, dengan peningkatan daya hambat seiring bertambahnya konsentrasi ekstrak. Selain itu, Imran *et al.*,^[21] juga melaporkan bahwa minyak atsiri cengkeh efektif menekan perkembangan *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli*.

Perbedaan efektivitas antarjenis

cengkeh diduga berkaitan dengan perbedaan kandungan senyawa bioaktifnya. Kandungan eugenol pada cengkeh Tuni mencapai 78%, cengkeh Raja 49,3%, dan cengkeh Hutan 3,65%^{[12],[13]}. Tingginya kandungan eugenol pada cengkeh Tuni diduga menjadi faktor utama yang menyebabkan perlakuan C3 menghasilkan daya hambat lebih besar dibandingkan jenis cengkeh lainnya. Peningkatan konsentrasi ekstrak juga meningkatkan jumlah senyawa aktif yang berdifusi ke dalam media sehingga memperbesar peluang interaksi dengan sel bakteri.

Eugenol bekerja dengan meningkatkan permeabilitas membran sel bakteri, menyebabkan kebocoran komponen intraseluler, mengganggu keseimbangan ion, menurunkan produksi ATP, serta menghambat sistem metabolisme sel^[22]. Selain eugenol, aktivitas antibakteri ekstrak daun cengkeh juga didukung oleh keberadaan flavonoid, alkaloid, saponin, tanin, dan terpenoid. Flavonoid dapat menghambat sintesis dinding sel bakteri^[7], tanin mengganggu fungsi protein dan permeabilitas membran^[23], saponin menyebabkan kebocoran membran sel^{[24],[25],[26],[27]}, alkaloid menghambat fungsi DNA melalui mekanisme interkalasi, sedangkan terpenoid mengganggu permeabilitas membran dan sintesis protein^[28]. Interaksi berbagai senyawa tersebut menghasilkan efek sinergis yang meningkatkan kemampuan ekstrak dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

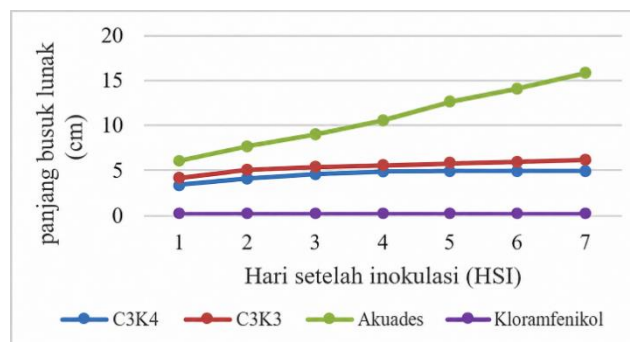
Sebagai bakteri Gram-negatif, *Pcc* memiliki membran luar yang tersusun atas lipopolisakarida (LPS) sehingga relatif lebih tahan terhadap senyawa antimikroba dibandingkan bakteri Gram-positif^[30]. Namun, sifat lipofilik eugenol memungkinkan senyawa tersebut menembus lapisan lipid membran luar bakteri sehingga tetap efektif dalam menghambat pertumbuhan *Pcc*.

Penghambatan Relatif Ekstrak Daun

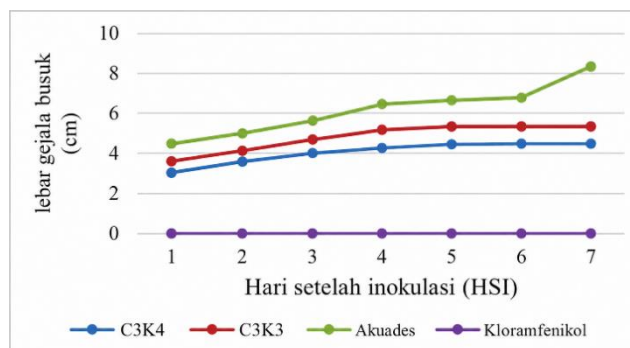
Cengkeh Terhadap *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* secara *In vivo*

Tren perkembangan panjang dan lebar gejala busuk lunak dapat dilihat di Tabel 3 dan Tabel 4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan C3K4 dan C3K3 efektif menekan perkembangan gejala busuk lunak sejak awal. Pada C3K4, penghambatan panjang gejala

meningkat dari 41,38% menjadi 69,43%, sedangkan C3K3 dari 30,00% menjadi 63,82%. Pada lebar gejala, C3K4 meningkat dari 26,61% menjadi 47,62% dan C3K3 dari 13,76% menjadi 34,52%. Selain itu, perkembangan gejala cenderung terhambat setelah hari ke-3, menunjukkan bahwa ekstrak daun cengkeh mampu menekan penyebaran penyakit baik secara memanjang maupun melebar.



Gambar 3. Tren perkembangan panjang gejala busuk lunak C3K3 (Cengkeh Tuni konsentrasi 15%); C3K4 (Cengkeh Tuni konsentrasi 20%); (Akuades); (Kloramfenikol)



Gambar 4. Tren perkembangan lebar gejala busuk lunak C3K3 (Cengkeh Tuni konsentrasi 15%); C3K4 (Cengkeh Tuni konsentrasi 20%); (Akuades); (Kloramfenikol)

Peningkatan persentase penghambatan dari hari pertama hingga ketujuh menunjukkan efek kumulatif senyawa bioaktif dalam menekan populasi bakteri. Patogen *Pcc* menyebabkan busuk lunak melalui enzim pektinolitik (PCWDEs) yang merusak jaringan tanaman [31]. Perlakuan C3K4 yang lebih efektif dibandingkan dengan C3K3 menegaskan adanya hubungan dosis-respons, di mana konsentrasi ekstrak yang lebih tinggi meningkatkan aktivitas antibakteri. Eugenol sebagai senyawa utama

bekerja dengan merusak membran sel, meningkatkan permeabilitas, menyebabkan kebocoran komponen intraseluler, serta mengganggu sistem energi dan sintesis ATP [32],[33],[34],[35],[36]. Kerusakan juga melibatkan gangguan pada LPS membran luar bakteri, sehingga meningkatkan penetrasi senyawa aktif [30], serta menghambat sistem quorum sensing yang mengatur produksi enzim virulensi [37]. Hal ini menyebabkan penurunan produksi enzim perusak jaringan dan memperlambat perkembangan gejala.

Selain eugenol, senyawa lain seperti flavonoid, tanin, saponin, alkaloid, dan terpenoid turut berkontribusi melalui berbagai mekanisme, seperti merusak membran, mengganggu DNA, dan menghambat sintesis protein ^{[28],[29],[38]}. Efek sinergis senyawa-senyawa ini memperkuat daya hambat ekstrak.

Secara keseluruhan, ekstrak daun cengkeh, khususnya varietas Tuni dengan konsentrasi tinggi, berpotensi sebagai bakterisida nabati yang efektif, ramah lingkungan, dan ekonomis. Pemanfaatannya tidak hanya mendukung pengendalian penyakit di lapangan, tetapi juga berpotensi diterapkan pada penanganan pascapanen untuk memperpanjang umur simpan serta meningkatkan nilai jual produk pertanian.

KESIMPULAN

Ekstrak daun cengkeh varietas Tuni pada konsentrasi 20% (C3K4) merupakan perlakuan paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* penyebab penyakit busuk lunak pada sawi putih, baik pada pengujian *in vitro* maupun *in vivo*. Varietas Tuni menunjukkan aktivitas antibakteri yang lebih tinggi dibandingkan varietas Raja dan Hutan, sedangkan peningkatan konsentrasi ekstrak hingga 20% meningkatkan efektivitas penghambatan bakteri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ekstrak daun cengkeh varietas Tuni berpotensi dikembangkan sebagai pestisida nabati ramah lingkungan untuk pengendalian penyakit busuk lunak pada sawi putih serta mendukung pemanfaatan sumber daya hayati lokal dalam sistem pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Jelušić, P. Mitrović, S. Marković, R. Ilić, P. Milovanović, S. Stanković, and T. Popović Milovanović, "Diversity of bacterial soft rot-causing *Pectobacterium* species affecting cabbage in Serbia," *Microorganisms*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.3390/microorganisms11020335.
- [2] R. Zhu, X. Liu, X. Li, K. Zeng, and L. Yi, "Transformation of inferior tomato into preservative: Fermentation by multi-bacteriocin producing *Lactobacillus paracasei* WX322," *Foods*, vol. 10, no. 6, 2021, doi: 10.3390/foods10061278.
- [3] R. S. Meena, S. Kumar, R. Datta, R. Lal, V. Vijayakumar, M. Brtnicky, M. P. Sharma, G. S. Yadav, M. K. Jhariya, C. K. Jangir, S. I. Pathan, T. Dokulilova, V. Pecina, and T. D. Marfo, "Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: A review," *Land*, vol. 9, no. 2, 2020, doi: 10.3390/land9020034.
- [4] Y. Sun, H. Utpal, Y. Wu, Q. Sun, Z. Feng, Y. Shen, R. Zhang, X. Zhou, and J. Wu, "Comparative genomic and transcriptome analyses of two *Pectobacterium brasiliense* strains revealed distinct virulence determinants and phenotypic features," *Frontiers in Microbiology*, vol. 15, 2024, doi: 10.3389/fmicb.2024.1362283.
- [5] World Flora Online Consortium, *World Flora Online Plant List June 2023*. Zenodo, 2023, doi: 10.5281/zenodo.8079052.
- [6] M. Tariq, A. Khan, M. Asif, F. Khan, T. Ansari, M. Shariq, and M. A. Siddiqui, "Biological control: A sustainable and practical approach for plant disease management," *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, vol. 70, no. 6, pp. 507–524, 2020, doi: 10.1080/09064710.2020.1784262.
- [7] Y. Liu, J. Zhu, Z. Liu, Y. Zhi, C. Mei, and H. Wang, "Flavonoids as promising natural compounds for combating bacterial infections," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 26, no. 6, 2025, doi: 10.3390/ijms26062455.

- [8] A. Pradana, D. Santosa, and T. N. S. Sulaiman, "Potensi cengkeh (*Syzygium aromaticum* (L.) Merr. & Perry) di Indonesia sebagai sumber daya alam dan bahan baku obat antibakteri dan antijamur," *Majalah Farmaseutik*, vol. 20, no. 1, p. 70, 2024, doi: 10.22146/farmaseutik.v20i1.86004.
- [9] M. A. Ramadhani, S. D. Nadifah, N. A. Putri, and S. Sulastri, "Uji aktivitas antibakteri berbagai ekstrak tanaman herbal terhadap *Staphylococcus epidermidis*," *Generics: Journal of Research in Pharmacy*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.14710/genres.v4i1.22681.
- [10] E. Hakalová, J. Čechová, D. A. Tekielska, A. Eichmeier, and J. F. Pothier, "Combined effect of thyme and clove phenolic compounds on *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* and biocontrol of black rot disease on cabbage seeds," *Frontiers in Microbiology*, vol. 13, 2022, doi: 10.3389/fmicb.2022.1007988.
- [11] Lubis, "Uji efektivitas berbagai ekstrak tanaman sebagai biobakterisida terhadap *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* (Xoo) penyebab penyakit hawar daun bakteri pada tanaman padi (*Oryza sativa* L.) secara *in vitro*," Skripsi, Universitas Medan Area, 2022.
- [12] A. S. Mahulette, H. Hariyadi, S. Yahya, and A. Wachjar, "The physicochemical components and characteristics of essential oils of forest cloves (*Syzygium aromaticum*) in Maluku Province, Indonesia," *Journal of Tropical Crop Science*, vol. 19, no. 2, 2019.
- [13] Hariyadi, A. S. Mahulette, S. Yahya, and A. Wachjar, "Agro-morphologies and physicochemical properties of flower bud, stem and leaf oils in two clove varieties (*Syzygium aromaticum* L. Merr. and Perry.) originated from Ambon Island," *Chiang Mai University Journal of Natural Sciences*, vol. 19, no. 3, 2020, doi: 10.12982/CMUJNS.2020.0034.
- [14] N. Schaad, J. Jones, and W. Chun, *Laboratory Guide for the Identification of Plant Pathogenic Bacteria*, 3rd ed. America: American Phytopathological Society Press, 2001.
- [15] P. L. Sekarsari, "Eksplorasi bakteri rizosfer tanaman wortel organik yang berpotensi sebagai agens pengendali hayati *Pectobacterium carotovorum* penyebab penyakit busuk lunak pada tanaman wortel," Skripsi, Universitas Brawijaya, Malang, 2020.
- [16] E. Rinihapsari and S. Julianasya, "Penggunaan KOH string test sebagai alternatif identifikasi awal bakteri Gram negatif," *Jurnal Ilmu Kedokteran dan Kesehatan Indonesia*, vol. 1, no. 1, 2021, doi: 10.55606/jikki.v1i1.2882.
- [17] M. Haghpanah, A. Namdari, M. K. Kaleji, A. Nikbakht-dehkordi, A. Arzani, and F. Araniti, "Interplay between ROS and hormones in plant defense against pathogens," *Plants*, vol. 14, no. 9, 2025, doi: 10.3390/plants14091297.
- [18] Y. Sun, H. Utpal, Y. Wu, Q. Sun, Z. Feng, Y. Shen, R. Zhang, X. Zhou, and J. Wu, "Comparative genomic and transcriptome analyses of two *Pectobacterium brasiliense* strains revealed distinct virulence determinants and phenotypic features," *Frontiers in Microbiology*, vol. 15, 2024, doi: 10.3389/fmicb.2024.1362283.
- [19] R. Dhani, R. M. Roza, and Fitmawati, "Antibacterial activity of bitter drugs from Lingga Malay ethnic in Riau Archipelago against bacterial causing skin and diarrhea diseases," *Jurnal Biologi Tropis*, vol. 23, no. 4, pp. 645–654, 2023, doi: 10.29303/jbt.v23i1.4430.
- [20] M. A. Ramadhani, S. D. Nadifah, N. A. Putri, and S. Sulastri, "Uji aktivitas antibakteri berbagai ekstrak tanaman

- herbal terhadap *Staphylococcus epidermidis*,” *Generics: Journal of Research in Pharmacy*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.14710/genres.v4i1.22681.
- [21] M. Imran, K. A. M. Abo-Elyousr, M. S. Al-Harbi, E. F. Ali, N. M. A. Sallam, and H. M. M. Khalil Bagy, “Antibacterial efficacy of clove essential oil against *Xanthomonas phaseoli* pv. *phaseoli* and its influence on pathogen responses in bean,” *Gesunde Pflanzen*, vol. 75, no. 2, 2023, doi: 10.1007/s10343-022-00721-3.
- [22] M. Ulanowska and B. Olas, “Biological properties and prospects for the application of eugenol—A review,” *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22, no. 7, 2021, doi: 10.3390/ijms22073671.
- [23] M. A. Ramadhani and A. P. Novema, “Aktivitas antibakteri ekstrak kasar dan terpurifikasi daun cengkeh (*Syzygium aromaticum*) terhadap *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus*,” *Borobudur Pharmacy Review*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.31603/bphr.v2i1.6934.
- [24] A. Grzywaczyk, W. Smułek, and E. Kaczorek, “*Saponaria officinalis* saponins as a factor increasing permeability of *Candida* yeasts’ biomembrane,” *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, vol. 40, no. 5, 2024, doi: 10.1007/s11274-024-03961-9.
- [25] J. Setiaji, V. F. Prokoso, Heriyanto, H. Melati, T. S. Raza’i, Suryanti, and E. Ayuni, “The activity of *Pometia pinnata* leaf extract against pathogenic bacteria in fish,” *BIO Web of Conferences*, vol. 87, 2024, doi: 10.1051/bioconf/20248703003.
- [26] A. Shakeel, J. J. Noor, U. Jan, A. Gul, Z. Handoo, and N. Ashraf, “Saponins, the unexplored secondary metabolites in plant defense: Opportunities in integrated pest management,” *Plants*, vol. 14, no. 6, 2025, doi: 10.3390/plants14060861.
- [27] P. Zhang, Y. Xiong, L. Bi, H. Zhong, J. Ren, and B. Zhou, “Non-antibiotic feed additives production by *Acremonium terricola* solid-fermented *Camellia oleifera* meal,” *Bioresources and Bioprocessing*, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.1186/s40643-024-00808-x.
- [28] Y. Yan, X. Li, C. Zhang, L. Lv, B. Gao, and M. Li, “Research progress on antibacterial activities and mechanisms of natural alkaloids: A review,” *Antibiotics*, vol. 10, no. 3, 2021, doi: 10.3390/antibiotics10030318.
- [29] M. H. Refwalu, A. Indrayati, and I. Purwidyaningrum, “Studi literatur mekanisme molekuler antibakteri dari daun telang (*Clitoria ternatea* L.),” *Jurnal Farmasi Indonesia*, vol. 20, no. 1, pp. 32–45, 2023.
- [30] L. Goltermann, M. Zhang, A. E. Ebbensgaard, M. Fiodorovaite, N. Yavari, A. Løbner-Olesen, and P. E. Nielsen, “Effects of LPS composition in *Escherichia coli* on antibacterial activity and bacterial uptake of antisense peptide-PNA conjugates,” *Frontiers in Microbiology*, vol. 13, 2022, doi: 10.3389/fmicb.2022.877377.
- [31] K. N. Naligama and A. P. Halmillawewa, “*Pectobacterium* spp. isolated from rotting carrots obtained from markets in Gampaha district, Sri Lanka exhibit the potential of having broad host ranges,” *European Journal of Plant Pathology*, vol. 163, no. 4, 2022, doi: 10.1007/s10658-022-02523-9.
- [32] V. Khwaza and B. A. Aderibigbe, “Antibacterial activity of selected essential oil components and their derivatives: A review,” *Antibiotics*, vol. 14, no. 1, 2025, doi: 10.3390/antibiotics14010068.
- [33] H. Falleh, “Demystifying the power of essential oils: A review of their

- antibacterial properties and potential as natural food preservatives,” *EXCLI Journal*, vol. 24, 2025, doi: 10.17179/excli2025-8439.
- [34] A. Touati, A. Mairi, N. A. Ibrahim, and T. Idres, “Essential oils for biofilm control: Mechanisms, synergies, and translational challenges in the era of antimicrobial resistance,” *Antibiotics*, vol. 14, no. 5, 2025, doi: 10.3390/antibiotics14050503.
- [35] [35] J. Fidelis, Y. A. de A. Bernardo, H. C. A. de Souza, C. A. Conte-Junior, and V. M. F. Paschoalin, “Modulating bacterial virulence: The role of food-plant essential oils in counteracting foodborne pathogen threats—A systematic review,” *International Journal of Food Microbiology*, vol. 442, 2025, doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111382.
- [36] A. Kumar, S. Das, S. Ali, S. G. Jaiswal, A. Rabbani, S. M. E. Rahman, R. Chelliah, D. H. Oh, S. Liu, and S. Wei, “Mechanisms, applications and challenges of natural antimicrobials in food system,” *Food Bioscience*, vol. 74, p. 107864, 2025, doi: 10.1016/j.fbio.2025.107864.
- [37] T. A. N. Ribeiro, G. A. dos Santos, C. T. dos Santos, D. C. F. Soares, M. F. Saraiva, D. H. S. Leal, and D. Sachs, “Eugenol as a promising antibiofilm and anti-quorum sensing agent: A systematic review,” *Microbial Pathogenesis*, vol. 196, p. 106937, 2024, doi: 10.1016/j.micpath.2024.106937.
- [38] S. Sunani and R. Hendriani, “Review jurnal: Klasifikasi dan aktivitas farmakologi dari senyawa aktif tanin,” *Indonesian Journal of Biological Pharmacy*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.24198/ijbp.v3i2.44297.