

## Aktivitas Antifungi Formula Kitosan-Tripolifosfat Terhadap Infeksi *Colletotrichum* spp. Pada Cabai

### *Antifungal Activity of Chitosan-Tripolyphosphate Formula to Colletotrichum spp. Infection on Chilli*

Yadi Suryadi<sup>1\*</sup>, Dwi Ningsih Susilowati<sup>2</sup>, I Made Samudra<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Balai Besar Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik (BB Biogen) Bogor

<sup>1,3</sup>Lab Biokimia BB Biogen, Bogor

<sup>2</sup>Lab Mikrobiologi BB Biogen, Bogor

Jl. Tentara Pelajar 3A, Bogor 16111, Indonesia

email: <sup>1</sup>yshid@yahoo.co.uk, <sup>2</sup>d\_nengsusi@yahoo.com, <sup>3</sup>madesam@yahoo.com

#### ABSTRAK

DOI;  
10.30595/jrst.v5i2.10225

#### Histori Artikel:

Diajukan:  
29/03/2021

Diterima:  
18/09/2022

Diterbitkan:  
19/09/2022

*Colletotrichum* spp. penyebab penyakit antraknosa banyak menginfeksi tanaman cabai, sehingga perlu dikendalikan dengan agen hayati ramah lingkungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji aktivitas antifungi campuran formulasi berbagai konsentrasi kitosan (K) (0.2%, 0.3% dan 0.5%) hasil ekstraksi kitinase isolat E65 dan NaTPP (0.1%) pada ratio [5:2] terhadap penghambatan pertumbuhan jamur *Colletotrichum* spp. pada cabai. Daya hambat formulasi K-TPP terhadap pertumbuhan *Colletotrichum* spp. masing-masing dilakukan dengan metode *in vitro* (pada media PDA) dan *in vivo* (pada buah cabai). Konsentrasi K (0.5%) : TPP (0.1%) pada rasio [5:2], menunjukkan daya hambat paling tinggi terhadap infeksi *Colletotrichum* spp. Penelitian lanjutan perlu dilakukan terhadap aktivitas antifungi berbagai formulasi dan konsentrasi K-TPP lainnya terhadap cabai di lapangan.

**Kata Kunci:** Kitosan, Cabai, *Capsicum annum* L, K-TPP

#### ABSTRACT

*Colletotrichum* spp. the causal agent of anthracnose disease may infect chili plants so that it needs to be controlled using environmentally friendly bioagents. This study aimed to test the antifungal activity of formulations mixture of various chitosan (CS) concentrations (0.2%, 0.3%, and 0.5%) extracted from chitinase (isolates E65 and E76) and NaTPP (0.1%) at a ratio of [5: 2] which can inhibit the growth of the fungus *Colletotrichum* spp. on chilies. The inhibition of CS-TPP formulation on the growth of *Colletotrichum* spp. was carried out by *in vitro* (on PDA media) and *in vivo* (on chilies) assays, respectively. The concentration of CS (0.5%): TPP (0.1%) at ratio [5: 2], showed the highest inhibition against *Colletotrichum* spp. Further antifungal activity of CS-TPP research needs to be done using various formulations and other concentrations on chili in the field.

**Keywords:** Chitosan, Chili, *Capsicum annum* L, CS-TPP

#### 1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, cabai dikenal sebagai salah satu komoditas sayuran bernilai ekonomi tinggi dengan luas lahan tanam sekitar 165.000 ha dan produktivitas mencapai 800.000 ton/tahun.

Secara nasional tingkat produktivitas selama 5 tahun terakhir mencapai sekitar 6 ton/ha masih jauh dibawah potensi hasilnya (12-20 ton/ha) (BPS, 2018).

Salah satu penyebab rendahnya hasil panen tanaman cabai adalah adanya serangan jamur penyebab penyakit sejak di persemaian sampai panen. Penyakit antraknosa yang disebabkan oleh jamur *Colletotrichum* spp. dilaporkan banyak menyerang tanaman cabai. Gejala pada tanaman yaitu kematian pada bagian pucuk dan berlanjut ke bagian bawah tanaman seperti daun, batang dan cabang menjadi kering berwarna cokelat (Than et al, 2008)

Pencegahan infeksi patogen pada tanaman biasanya dilakukan dengan menggunakan varietas tahan (Syukur et al, 2009) dan fungisida kimia sintetik. Namun, meningkatnya penggunaan pestisida menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan manusia, kualitas lingkungan, dan meningkatnya perkembangan populasi jasad pengganggu tanaman (Herdianti, 2018). Oleh karena itu, diperlukan cara pengendalian lainnya yang mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* spp., serta aman bagi manusia serta lingkungan.

Kitosan merupakan agen pengendali alternatif sebagai produk turunan dari polimer kitin yang berasal dari limbah kulit udang. Kitosan dilaporkan telah dimanfaatkan pada berbagai bidang seperti medis, kosmetik, makanan, termasuk pengendalian penyakit tanaman dan peningkatan daya simpan produk pasca panen (Bautista-Baños et al., 2006). Kitosan dilaporkan efektif sebagai agen antimikroba dan dapat diaplikasikan sebagai bahan pelapis (*coating*) pada berbagai jenis makanan, termasuk buah-buahan. Hasil kajian melaporkan penambahan kitosan asal kulit udang mampu menghambat pertumbuhan *C. musae* baik secara vegetatif maupun reproduktif (Pamekas, et al. 2009).

Efektifitas kitosan dapat ditingkatkan secara enzimatis menjadi kitosan yang memiliki bobot molekul rendah (K-BMR) (Águila-Almanza et al, 2019), selanjutnya ukuran pori dari partikel kitosan dapat diperkecil untuk meningkatkan luas kontak partikel dengan suatu materi. Salah satu usaha untuk memperkecil ukuran pori kitosan adalah dengan metode ion gelasi menggunakan Natrium Tripolifosfat menjadi nanopartikel yang memiliki ukuran sekitar 10 – 1000 nm. Kitosan dalam bentuk nanopartikel ini bersifat netral, tidak toksik, dan memiliki stabilitas yang konstan (Wang et al, 2011).

Perbedaan konsentrasi kitosan diduga memiliki pengaruh daya hambat terhadap jamur

patogen. Hasil penelitian mengungkapkan uji *in vitro* terhadap kitosan menunjukkan K-BMR pada konsentrasi 2% lebih baik dalam menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* spp. sebesar 94.22%, serta menekan perkecambahan spora sebesar 74.12%. Uji *in vivo* K-BMR yang dilakukan terhadap *C. gloeosporioides* pada pepaya menunjukkan penghambatan terbaik sebesar 88.88% pada konsentrasi 2%, sedangkan pada cabai menunjukkan penghambatan terbaik sebesar 55.55% pada konsentrasi 2% dan 3% (Suryadi, et al, 2016). Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa pada uji *in vitro*, kisaran konsentrasi kitosan 0.75 - 1% mampu menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* spp. berkisar dari 72.17 - 85.21%. Aplikasi pelapisan permukaan buah pepaya dengan kitosan mampu menekan terjadinya keparahan penyakit antraknosa. Konsentrasi kitosan 0.75% selain dapat menekan kejadian dan keparahan penyakit antraknosa, juga meningkatkan daya simpan buah 2 kali lebih lama dibandingkan dengan kontrol (Hamdayanti et al, 2017). Berdasarkan hal tersebut, perlu diuji berbagai konsentrasi formulasi antara K-BMR, dan NaTPP sehingga dapat diketahui kemampuan daya hambat formulasinya terhadap infeksi jamur patogen *Colletotrichum* spp. pada cabai. Penelitian ini bertujuan untuk menguji aktivitas antifungi berbagai konsentrasi formulasi kitosan dan NaTPP terhadap penghambatan jamur patogen *Colletotrichum* spp. pada cabai secara *in vitro* dan *in vivo*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Perbanyak Isolat Bakteri *Bacillus firmus* E.65 dan *Burkholderia cepacia* E.76

Isolat bakteri *Bacillus firmus* E.65 dan *Burkholderia cepacia* E.76 koleksi Lab Mikrobiologi BB Biogen masing-masing ditumbuhkan dalam 10 mL media cair NB, kemudian digojok selama 24 jam. Sebanyak 1 mL masing-masing biakan E.65 dan E.76 dipindahkan ke dalam 10 mL media kitin cair, kemudian digojok selama 72 jam dengan *rotary shaker*. Biakan lalu dipindahkan pada tabung eppendorf berukuran 2 mL kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 20 menit pada suhu 4°C.

Supernatan hasil sentrifugasi yang didapat dari masing-masing isolat kemudian dicampur dengan Ammonium Sulfat 70% dengan volume yang sama. Larutan campuran kemudian

disentrifugasi kembali dengan kecepatan 10.000 rpm selama 30 menit pada suhu 4°C. Pelet yang dihasilkan ditambahkan PBS dengan pH 6.8 dan larutan dikocok sampai pelet dan larutan PBS tercampur, kemudian disimpan dalam pendingin sebelum digunakan (Suryadi *et al*, 2017).

## 2.2. Isolasi Enzim dan Uji Kuantitas Kitinase

Depolimerasi kitosan dilakukan mengikuti prosedur (Águila-Almanza *et al*, 2019) dengan modifikasi. Isolat bakteri E.76 dan E.65 masing-masing ditumbuhkan pada 10 mL media kitin cair (0.1 g *L-sistein*, 0.25 g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, 0.26 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.01 g.7H<sub>2</sub>O, 0.3 g KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0.58 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, 0.2 g CaCl<sub>2</sub>, 0.45 g *yeast extract*, 1 g koloidal kitin, dan 0.1 g pepton) kemudian digojok dengan kecepatan 120 rpm selama 48 jam, setelah itu disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit pada suhu 4°C. Sebanyak 150 µL supernatan masing-masing bakteri E.76 dan E.65 ditambahkan 150 µL PBS (10mM) pH 7 dan 300 µL koloid kitin 0,3% kemudian divortex sampai homogen. Larutan kemudian diinkubasi pada *water bath* dengan suhu 37°C selama 30 menit. Hasil inkubasi di sentrifugasi dengan kecepatan 5.000 rpm selama 5 menit pada suhu 4°C. Sebanyak 500 µL supernatan kemudian ditambahkan 500 µL akuades dan 1.000 µL reagen Schales, kemudian dididihkan pada suhu 100°C selama 10 menit. Setelah didinginkan, sampel enzim kitinase dari bakteri E.65 dan E.76 diukur nilai absorbansinya pada panjang gelombang 420 nm dengan spektrofotometer. Sebagai standar digunakan larutan N-asetil glukosamin (GlcNAc) sebanyak 0.01 g dilarutkan dalam 100 mL akuades.

## 2.3. Formulasi K-BMR Termodifikasi NaTPP (K-TPP)

Preparasi CS mengikuti prosedur (Zhao *et al*, 2011) dengan modifikasi. CS (Sigma) sebanyak 2 g dan dilarutkan pada 100 mL asam asetat pH 3,5 dan digojok selama 24 jam. Larutan diatur pHnya sampai 5,3 dengan penambahan NaOH. Kemudian ke dalam 20 mL larutan kitosan, masing-masing ditambahkan 0,2 mL kitinase (asal isolat E.65 dan E.76) dan digojok pada suhu 37°C selama 2 jam. Larutan selanjutnya dididihkan dalam *waterbath* pada suhu 100°C selama 5 menit, dan disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 10 menit. Supernatan hasil sentrifugasi dibuang, sedangkan peletnya (K-BMR) dibilas akuades beberapa kali sampai pH netral.

Larutan K-BMR stok 1% diencerkan menjadi konsentrasi 0,2%, 0,3% dan 0,5% lalu diaduk dengan *stirrer*, kemudian disimpan pada lemari pendingin. Pembuatan K-TPP dilakukan dengan cara masing-masing konsentrasi K-BMR (0.2%, 0.3% dan 0.5%) ditambahkan larutan NaTPP (0,1%) dengan perbandingan komposisi [5:2] (v/v). Penambahan NaTPP 0,1% dilakukan perlahan setetes demi setetes, lalu ditambahkan 0,25 mL larutan Tween 80 (0,2%) sambil diaduk dalam suhu ruang selama 1 jam.

## 2.4. Uji K-TPP secara *in vitro*

Jamur *Colletotrichum* spp. diremajakan dan diperbanyak dengan menumbuhkan jamur selama 2 minggu. Sebanyak 1 mL formulasi K-TPP masing-masing konsentrasi dimasukkan kedalam cawan petri, kemudian media PDA steril ditambahkan pada cawan petri tadi, sampai keduanya tercampur merata dan memadat. Jamur *Colletotrichum* spp. ditumbuhkan pada media PDA menggunakan *cork borer* dan pengamatan dilakukan setelah 4 hari inkubasi.

## 2.5. Uji K-TPP Secara *in vivo* Pada Cabai

Pemanenan jamur *Colletotrichum* spp. yang tumbuh menutupi seluruh cawan Petri dilakukan dengan penambahan akuades steril sebanyak 100 mL kemudian jamur digosok dengan menggunakan kuas steril, lalu dipindahkan pada labu Erlenmeyer steril dan ditambahkan 200 µL Tween 80 dan dikocok hingga tercampur.

Cabai segar dicuci bersih dengan air mengalir dan dilap dengan kertas tisu. Cabai dicelupkan pada berbagai konsentrasi larutan K-TPP dan dikeringanginkan, kemudian cabai diinokulasi dengan patogen dengan cara ditusuk-tusuk menggunakan jarum steril yang dicelupkan pada larutan jamur. Selanjutnya cabai disimpan pada baki dialasi kertas tisu lembab, kemudian ditutup dengan *seal* dan diinkubasi selama 6 hari dan diamati perkembangan jamurnya.

## 2.6. Analisis Data

Pengamatan dilakukan dengan mengukur luas pertumbuhan jamur untuk pengujian secara *in vitro* pada media PDA, dan skoring keparahan untuk pengujian *in vivo* pada cabai. Pengukuran luas pertumbuhan jamur dilakukan dengan cara mengukur diameter jamur pada cawan petri. Data skor keparahan diperoleh dari persentase

luas koloni terhadap luas total permukaan buah (Suryadi et al., 2017) sebagai berikut:

$$\text{Skor penyakit} = \frac{\text{Luas koloni Jamur}}{\text{luas permukaan cabai}} \times 100\% \quad (1)$$

Skor keparahan penyakit antraknosa pada cabai diamati berdasarkan kriteria skor 0 = 0 ≤ x ≤ 1%; skor 1 = 2 ≤ x ≤ 20%; skor 2 = 21 ≤ x ≤ 40%; skor 3 = 41 ≤ x ≤ 60%; skor 4 = 61 ≤ x ≤ 80%; skor 5 = 81 ≤ x ≤ 100%. Keparahan penyakit (KP) selanjutnya ditentukan dengan rumus:

$$\text{KP} (\%) = \frac{\sum n \cdot x \cdot v}{\sum N \cdot x \cdot v} \times 100\% \quad (2)$$

dimana: n= jumlah sampel per kategori serangan; v= skor keparahan; N= jumlah sampel yang diamati; V= skor tertinggi.

Aktivitas antifungi K-TTP ditentukan dengan rumus pengambatan penyakit (PP) :

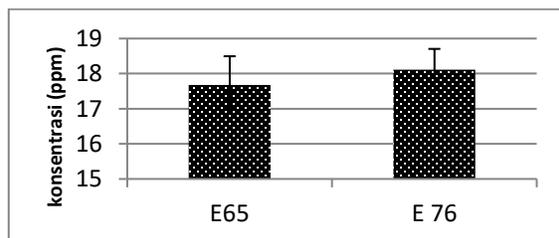
$$\text{PP} = \frac{\text{Kpk} - \text{Kpp}}{\text{Kpk}} \times 100\% \quad (3)$$

dimana: Kpk=keparahan pada kontrol; Kpp= keparahan pada perlakuan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolat bakteri *Burkholderia cepacia* E.76 dan *Bacillus firmus* E.65 merupakan bakteri endofit koleksi BB-Biogen tergolong bakteri kitinolitik yang menghasilkan enzim kitinase.

Hasil pengukuran nilai absorbansi untuk uji kitinase pada sampel isolat E.65 sebesar 0.294 lebih kecil daripada isolat E.76 yang memiliki nilai absorbansi sebesar 0.302. Aktivitas dari enzim kitinase pada sampel isolat E.65 dan E.76 masing-masing sebesar 17,676 ± 0.82 ppm dan 18.115 ± 0.59 ppm (Gambar 1).



Gambar 1. Konsentrasi kitinase asal isolat E 65 dan E 76.

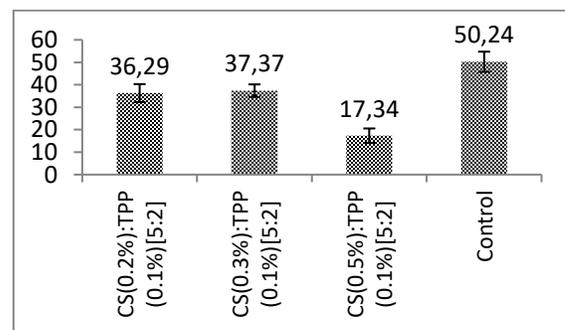
Kitosan dapat diubah kedalam bentuk yang lebih kecil dengan bantuan kitinase yaitu

enzim yang menghidrolisis senyawa β-1,4-Nasetil-glukosamin menjadi monomer GlcNAc. Enzim kitinase antara lain dihasilkan oleh mikroorganisme kitinolitik yang sebagian besar terdapat di lingkungan tanah dan air (Soeka & Sulistiani, 2012).

Hasil penelitian terdahulu dilaporkan bahwa aktivitas kitinase yang diperoleh dari isolat *B.cepacia* E.76 cukup tinggi karena bakteri kitinolitik tersebut menghasilkan enzim yang berfungsi untuk mendegradasi kitosan menjadi K-BMR, dan selanjutnya menghasilkan formulasi K-TTP yang lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan *Colletotrichum spp.* (Suryadi et al., 2016; Suryadi et al., 2017).

#### 3.1. Uji Daya Hambat Formulasi K-TTP terhadap Pertumbuhan *Colletotrichum spp* secara *In vitro*

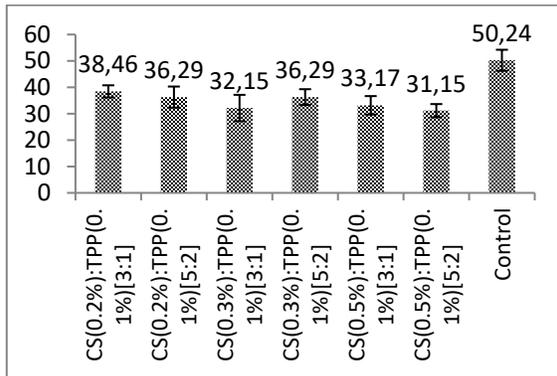
Perbedaan perbandingan konsentrasi K-BMR terhadap NaTPP dilakukan untuk mengetahui formula yang paling efektif. Kemampuan daya hambat formulasi hasil ekstraksi kitinase isolat E.65 terhadap pertumbuhan *Colletotrichum spp.* menunjukkan luas pertumbuhan jamur terendah pada konsentrasi 0,5% dengan rasio K-TTP [5:2], yang menunjukkan bahwa konsentrasi tersebut memiliki kemampuan daya hambat paling tinggi dibandingkan konsentrasi lainnya. Pada hari ke-4 setelah inokulasi jamur, pertumbuhan *Colletotrichum spp.* pada perlakuan kontrol sebesar 50,24 cm<sup>2</sup> (Gambar 2).



Gambar 2. Pengaruh konsentrasi K-TTP yang dimodifikasi enzim kitinase asal isolat *B firmus* E65 terhadap pertumbuhan jamur *Colletotrichum spp.* *in vitro*.

Hal yang hampir sama, pertumbuhan *Colletotrichum spp.* terendah pada media perlakuan formulasi hasil ekstraksi kitinase isolat E.76 adalah konsentrasi 0,5% dengan

perbandingan K-TPP [5:2] yaitu dengan luas pertumbuhan luas jamur sebesar 31.15 cm<sup>2</sup> (Gambar 3). Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, formulasi memiliki daya hambat paling tinggi terhadap pertumbuhan *Colletotrichum* spp.



Gambar 3. Pengaruh K-TPP yang dimodifikasi kitinase asal isolat *Burkholderia cepacia* isolat E76 terhadap pertumbuhan jamur *Colletotrichum* spp. *in vitro*.

Perbandingan kemampuan daya hambat K-TPP isolat E.65 dan E.76, diketahui bahwa isolat E.65 memiliki daya hambat lebih baik terhadap pertumbuhan *Colletotrichum* spp. dibandingkan isolat E.76, walaupun pada pengujian aktivitas kitinase isolat E.76 memiliki nilai aktivitas kitinase lebih tinggi dibandingkan isolat E.65. Kemampuan daya hambat kedua isolat tersebut tertinggi pada formulasi K-BMR 0,5% dan NaTPP 0,1% pada rasio [5:2] yang merupakan konsentrasi tertinggi dibandingkan lainnya.

Sebagai antimikroba, kitosan diduga mempunyai konsentrasi minimum dalam menghambat pertumbuhan patogen. Hal ini ditunjukkan dengan konsentrasi K-BMR yang berpengaruh terhadap kemampuan daya hambat pertumbuhan *Colletotrichum* spp.

### 3.2. Uji Daya Hambat Formulasi K-TPP terhadap Pertumbuhan *Colletotrichum* spp. secara *In vivo*

Tabel. 1 menunjukkan hasil pengujian daya hambat secara *in vivo* pada hari ke-7 formulasi hasil ekstraksi isolat E.65 dengan konsentrasi K-BMR 0,2 %, 0,3% dan 0,5% dan NaTPP (0.1%) dengan rasio [5:2]. Kisaran PP berkisar dari 22.2 sampai 87.88%.

Tabel 1. Hasil Uji Pengamatan *in vivo* aplikasi K-TPP isolat E65 pada Cabai (7 hari setelah aplikasi)

Perlakuan	skor	KP (%)	PP (%)
K(0.2%): TPP(0.1%) [5:2]	4	70	22.2
K(0.3%):TPP(0.1%) [5:2]	4	60	33.33
K(0.5%):TPP(0.1%) [5:2]	2	11	87.78
Kontrol	5	90	-

KP=keparahan penyakit; PP=persen penghambatan penyakit

Cabai sudah mulai ditumbuhi oleh *Colletotrichum* spp. sejak hari ke-4 setelah aplikasi, ditandai dengan adanya bercak berwarna kehitaman, dan pada bagian tertentu sudah terlihat pertumbuhan miselium *Colletotrichum* spp. Perlakuan pelapisan cabai dengan K (0,5%) hasil ekstraksi kitinase isolat E.65 TPP (0.1%) dengan rasio [5:2] menunjukkan pertumbuhan *Colletotrichum* spp. yang rendah dibandingkan dengan kontrol, dengan KP sebesar 11% (PP= 87.88%), dan ditandai dengan sedikitnya bercak atau kerusakan pada cabai. Hasil penelitian lain melaporkan bahwa uji *in vivo* pada cabai, perlakuan kitosan formulasi K-BMR 0,2% : TPP 0.1% dengan rasio [5 : 2] lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* spp. dibandingkan rasio [3:1]), hal ini diduga karena formula K-TPP memiliki luas permukaan yang lebih besar. Kemungkinan apabila konsentrasi kitosan diperbesar akan meningkatkan aktivitas penghambatan jamur. Kualitas partikel kitosan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu, konsentrasi kitosan, pH, pelarut, bobot molekul dan lama pengadukan (Hembram *et al.*, 2016; Suryadi *et al.*, 2017). Perlakuan kitosan, mampu menekan infeksi *Colletotrichum* spp. secara *in vitro* dengan tingkat hambat relatif (THR) yang semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi kitosan yang digunakan (Hamdayanti *et al.*, 2017). Demikian pula (Pamekas *et al.*, 2009) menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi kitosan yang digunakan, maka semakin besar

pula penghambatan terhadap pertumbuhan *C. musae*.

Sejalan dengan penelitian ini, K-TPP lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan jamur *Colletotrichum* spp. (Dzung et al., 2017). Hasil penelitian lain melaporkan bahwa aplikasi kombinasi kitosan dengan Cu dalam bentuk nano partikel dapat menghambat pertumbuhan *C. capsici* secara *in vitro* sebesar 92.38% (Wahyuni et al, 2020). Daya hambat formula K-TPP ratio [5:2] terhadap pertumbuhan *C. gloeosporioides* pada uji *in vitro* sebesar 59.63% dan uji *in vivo* pada pepaya dan cabai, masing-masing sebesar 57.00% (Suryadi et al., 2017).

Penelitian aplikasi K-TPP ini masih dalam skala terbatas dan belum diproduksi dalam skala besar, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk menguji aktivitas antifungi formula K-TPP yang lebih besar daya hambatnya, serta menguji efikasinya terhadap jamur patogen di berbagai lokasi.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan formulasi yang paling baik dalam penghambatan *Colletotrichum* spp. pada cabai secara *in vitro* maupun *in vivo* yaitu kitosan 0,5% hasil hidrolisis kitinase asal isolat E.65 yang diformulasikan TPP 0,1% dengan rasio [5:2].

Karena kitosan memiliki potensi yang besar menghambat pertumbuhan *Colletotrichum* spp. serta sebagai bahan pelapis buah yang aman, diperlukan penelitian lanjutan pada aktivitas antifungi formulasi lainnya dengan peningkatan konsentrasi K:TPP.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Águila-Almanza, E., Salgado-Delgado, R., Vargas-Galarza, Z., García-Hernández, E., & Hernández-Cocoletzi, H. (2019). Enzymatic Depolymerization of Chitosan for the Preparation of Functional Membranes. *Journal of Chemistry*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5416297>
- Bautista-Baños, S., Hernández-Lauzardo, A. N., Velázquez-Del Valle, M. G., Hernández-López, M., Ait Barka, E., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L. (2006). Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Protection*, 25(2), 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.03>.

010

- BPS, 2018. (2018). *Statistik sayuran 2017*. 2018.
- Dzung, P. D., Phu, D. Van, Du, B. D., Ngoc, L. S., Duy, N. N., Hiet, H. D., ... Hien, N. Q. (2017). Effect of foliar application of oligochitosan with different molecular weight on growth promotion and fruit yield enhancement of chili plant. *Plant Production Science*, 20(4), 389–395. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2017.1399803>
- Hamdayanti, R.Yunita, N. A. and T. D. (2017). Pemanfaatan Kitosan untuk Mengendalikan Antraknosa pada Pepaya (*Colletotrichum gloeosporioides*) dan Meningkatkan Daya Simpan Buah. *Jurnal Fitopatologi Indonesia*, 8(4), 97–102. <https://doi.org/10.14692/jfi.8.4.97>
- Hembram, K. C., Prabha, S., Chandra, R., Ahmed, B., & Nimesh, S. (2016). Advances in preparation and characterization of chitosan nanoparticles for therapeutics. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 44(1), 305–314. <https://doi.org/10.3109/21691401.2014.948548>
- Herdianti, H. (2018). Hubungan Lama, Tindakan Penyemprotan, Dan Personal Hygiene Dengan Gejala Keracunan Pestisida. *PROMOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 72. <https://doi.org/10.31934/promotif.v8i1.232>
- Pamekas, T., Sumardiyono, C., Pusposendjojo, N., & Indradewa, D. (2009). Ekstraksi, Karakterisasi dan Daya Penghambatan kitosan alami terhadap *C musae* secara *in vitro*. *J Perlindungan Tanaman Indonesia*, 15(1), 39–44.
- Soeka, Y. S., & Sulistiani, S. (2012). Seleksi, Karakterisasi, dan Identifikasi Bakteri Penghasil Kitinase yang Diisolasi dari Gunung Bromo Jawa Timur. *Jurnal Natur Indonesia*, 13(2), 155. <https://doi.org/10.31258/jnat.13.2.155-161>
- Suryadi, Y., Priyatno, T. P., Samudra, I. M., & Susilowati, D. N. (2016). Waktu Inkubasi pada Derajat Distilasi Kitosan Enzim dan Efektifitas Penghambatannya terhadap

- Penyakit Antraknosa JFI 12, 209–217.  
<https://doi.org/10.14692/jfi.12.6.209>
- Suryadi, Y., Priyatno, T. P., Samudra, I. M., Susilowati, D., & Sriharyani, T. S. (2017). Control of Anthracnose Disease ( Colletotrichum gloeosporioides ) Using Nano Chitosan Hydrolyzed by Chitinase Derived from Burkholderia cepacia Isolate E76 J. Agrobiogen 13(2), 111–122.
- Syukur, M., Sujiprihati, S., & Koswara, J. (2009). Ketahanan terhadap Antraknosa yang Disebabkan oleh Colletotrichum acutatum pada Beberapa Genotipe Cabai ( Capsicum annum L.) dan Korelasinya dengan Kandungan Kapsaicin dan Peroksidase J. Agron. Indonesia, 37(3), 233–239.
- Than, P. P., Prihastuti, H., & Phoulivong, S. (2008). Chilli anthracnose disease caused by Colletotrichum species, *Journal of Zhejiang University. SCIENCE. B* 9(10), 764–778.  
<https://doi.org/10.1631/jzus.B0860007>
- Wahyuni, S., Prasetyo, M. A., Eris, D. D., Priyono, & Siswanto. (2020). Sintesis dan uji in vitro penghambatan nanokitosan-Cu terhadap pertumbuhan Fusarium oxysporum dan Colletotrichum capsici. *E-Journal Menara Perkebunan*, 88(1), 52–60.  
<https://doi.org/10.22302/iribb.jur.mp.v88i1.367>
- Wang JJ, Zeng ZW, Xiao RZ, Xie T, Zhou GL, Zhan XR, Wang SL. (2011). Recent advances of chitosan nanoparticles as drug carriers. *Int J Nanomedicine*;6:765-74. doi: 10.2147/IJN.S17296. Epub 2011 Apr 11. PMID: 21589644; PMCID: PMC3090273.
- Zhao, L. M., Shi, L. E., Zhang, Z. L., Chen, J. M., Shi, D. D., Yang, J., & Tang, Z. X. (2011). Preparation and application of chitosan nanoparticles and nanofibers. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 28(3), 353–362. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322011000300001>