

Kajian Asap Cair Tempurung Kelapa untuk Mengendalikan *Bean common mosaic virus* strain *Blackeye Cowpea* (BCMV-B1C) pada Tanaman Kacang Panjang (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* Verdc)

Study of Coconut Shell Liquid Smoke to Control *Bean common mosaic virus* strain *Blackeye Cowpea* (BCMV-B1C) on Yardlong Bean (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* Verdc)

Monica Naibaho, Tri Asmira Damayanti*, Giyanto

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680.

Histori artikel:

Diterima: 21 Desember 2025

Diperbaiki: 23 April 2026

Disetujui: 23 Juni 2026

*Penulis korespondensi:

Tri Asmira Damayanti
triadys@apps.ipb.ac.id

Copyright © 2026 by Authors, published by Jurnal Fitopatologi Indonesia. This is an open-access article distributed under the CC BY-SA 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>



ABSTRAK

Bean common mosaic virus strain *Blackeye cowpea* (BCMV-B1C) merupakan patogen penting pada tanaman famili Fabaceae yang menyebabkan kehilangan hasil panen yang signifikan. Virus ini ditularkan oleh kutudaun dan melalui benih, sehingga sulit dikendalikan. Keterbatasan varietas tahan mendorong perlunya alternatif pengelolaan virus yang lebih aman dan berkelanjutan. Asap cair merupakan produk kondensasi hasil pirolisis biomassa yang menunjukkan aktivitas antimikroba dan berpotensi sebagai penginduksi ketahanan tanaman. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keefektifan asap cair tempurung kelapa (ACTK) dalam menghambat infeksi BCMV-B1C. Tahapan penelitian meliputi: pengujian fitotoksisitas ACTK pada benih, penentuan konsentrasi dan waktu aplikasi yang optimal untuk mengurangi jumlah lesi lokal nekrotik (LLN) yang disebabkan oleh infeksi BCMV-B1C pada tanaman indikator *Chenopodium amaranticolor*, dan pengujian efikasi ACTK untuk menghambat infeksi BCMV-B1C pada kacang panjang di bawah kondisi rumah kaca. Konsentrasi ACTK 3.0% menunjukkan fitotoksisitas, sedangkan konsentrasi di bawah level ini tidak fitotoksik. Aplikasi ACTK melalui penyemprotan daun setelah inokulasi virus (ST) secara signifikan memperpanjang masa inkubasi dan secara efektif menekan jumlah LLN, dengan efikasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan aplikasi sebelum inokulasi (SB). Perlakuan ACTK pada tanaman kacang panjang dapat memperpanjang masa inkubasi, tetapi tidak secara signifikan mengurangi keparahan penyakit, kecuali untuk perlakuan ACTK 0.7ST dan 1.0ST, yang mampu mengurangi keparahan penyakit dan titer virus dibandingkan dengan kontrol. Perlakuan ACTK 1.0ST meningkatkan aktivitas enzim antioksidan peroksidase, polifenol oksidase, dan ekspresi gen PR3 lebih tinggi daripada perlakuan lain, yang berkontribusi pada gejala ringan dan titer virus terendah secara signifikan dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan lainnya. ACTK pada konsentrasi 1.0% merupakan perlakuan yang paling efektif dalam menekan infeksi BCMV-B1C melalui mekanisme induksi pertahanan alami tanaman.

Kata kunci: ACTK, BCMV-B1C, fabaceae, fitotoksisitas, induksi pertahanan tanaman

ABSTRACT

Bean common mosaic virus strain *Blackeye cowpea* (BCMV-B1C) is an important pathogen of Fabaceae crops that causes significant yield losses. The virus is transmitted by aphids and through seeds, making it challenging to control. The limited availability of resistant varieties necessitates the development of alternative, safe, and sustainable virus management. Liquid smoke is a condensed product of biomass pyrolysis, exhibits antimicrobial activity, and has potential as a plant resistance inducer. The research aimed to evaluate the effectiveness of coconut shell liquid smoke (CSLS) in inhibiting BCMV-B1C infection. The research phases comprised: phytotoxicity testing of liquid smoke on seeds, determination of optimal concentration and application timing to reduce necrotic local lesion (NLL) numbers caused by BCMV-B1C infection on indicator plant *Chenopodium amaranticolor*, and efficacy testing of CSLS to inhibit BCMV-B1C infection on yardlong bean under greenhouse conditions. CSLS at concentrations 3.0% exhibited phytotoxicity, while concentrations below this level did not. Foliar application of CSLS post-virus inoculation significantly prolonged the incubation period and effectively suppressed NLL numbers, with higher efficacy compared to pre-inoculation application. CSLS treatment on yardlong bean plants showed that it could extend the incubation period, but did not significantly reduce the severity of the disease, except for CSLS 0.7ST and 1.0ST treatments, which were able to reduce the severity of the disease and virus titer compared to the

control. CSLS at concentration 1.0% treatments increased antioxidant enzyme activities of peroxidase, polyphenol oxidase, and PR3 gene expression higher than other treatments, which contributed to mild symptoms and the lowest virus titer significantly compared to control and other treatments. CSLS at a concentration 1.0% is the most effective treatment in suppressing BCMV-BIC infection by inducing the plant's innate defense.

Keywords: BCMV-BIC, CSLS, fabaceae, phytotoxicity, induce plant's defense

PENDAHULUAN

Kacang panjang (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) merupakan tanaman hortikultura yang memiliki nilai ekonomi penting di Indonesia, karena memiliki kandungan gizi yang baik serta proses budi daya yang mudah. Produksi kacang panjang mengalami penurunan dari tahun 2017-2024 seiring dengan penurunan luas lahan produksi (BPS 2024). Permintaan pasar terhadap kacang panjang meningkat setiap tahun, sehingga perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan produksinya. Beberapa cara dalam intensifikasi kacang panjang sebagai upaya untuk meningkatkan produktivitas dilakukan melalui penggunaan varietas tanaman berkualitas, teknik budi daya, pengelolaan pasca panen, dan pengelolaan hama dan penyakit. Pengelolaan hama dan penyakit di lapangan sangat penting dilakukan, karena serangan hama dan patogen dapat menurunkan produksi kacang panjang hingga 100% (Damayanti *et al.* 2009).

Penyakit mosaik oleh *Bean common mosaic virus* (BCMV) merupakan salah satu penyakit yang sangat umum ditemukan dalam budi daya tanaman kacang panjang (Li *et al.* 2014). Virus ini dapat menyebabkan kerugian sebesar 35%-98% (Prasad *et al.* 2007). Gejala akibat infeksi BCMV di antaranya ialah mosaik, belang hijau dan kuning pada helaian daun, serta penebalan tulang daun (*vein banding*). Infeksi lanjut dapat mengakibatkan daun mengalami malformasi seperti mengerut, mengalami pengecilan dan melengkung ke atas serta melengkung ke bawah (Mwaipopo *et al.* 2018). Infeksi virus pada umur tanaman yang berbeda akan menunjukkan respons yang berbeda. Semakin muda tanaman diinfeksi virus, insidensi penyakit semakin tinggi, periode inkubasi menjadi lebih singkat, dan distribusi virus semakin cepat (Worral *et al.* 2015).

BCMV di lapangan ditularkan dan disebarkan oleh serangga vektor kutudaun dan terbawa benih dengan efisiensi yang tinggi, yang menyebabkan BCMV sulit untuk dikendalikan. Upaya pengendalian virus tanaman yang umum dilakukan ialah menggunakan varietas tahan. Kacang panjang varietas Parade, New Jaliteng, Long Silk, Super Sainan, dan Pilar tergolong rentan terhadap BCMV (Susetio dan Hidayat 2014). Upaya pengelolaan BCMV ialah dengan pemanfaatan *plant growth-promoting rhizobacteria* (PGPR) (Shankar *et al.* 2009), kitosan (Damayanti *et al.* 2013), ekstrak daun

tanaman (Damayanti dan Panjaitan 2014), cendawan endofit (Rinika *et al.* 2023), dan nanopartikel kitosan dan ekstrak daun bugenvil (Islami *et al.* 2024). Saat ini pengelolaan infeksi virus tanaman menggunakan bahan kimia berbasis tanaman (fitokimia) seperti asap cair, dinilai lebih ramah lingkungan.

Asap cair merupakan produk hasil pirolisis biomassa tumbuhan yang telah melalui proses kondensasi (Cheng *et al.* 2021) dan memiliki sifat fungsional sebagai pemacu pertumbuhan tanaman, antioksidan dan antimikrob (Zhu *et al.* 2021). Asap cair terdiri atas komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin yang menghasilkan cairan kondensat uap dengan kandungan senyawa penyusun utama berupa asam, fenol dan karbonil. Tempurung kelapa termasuk dalam kategori kayu keras dengan kandungan lignin tinggi dan selulosa rendah, yang menghasilkan asap cair dengan kandungan fenol tinggi hingga 90.75% yang bersifat antimikrob (Afrah *et al.* 2024).

Efikasi asap cair dilaporkan mampu mengendalikan cendawan antraknosa dan layu fusarium pada mentimun (Aisyah *et al.* 2013); *Phytophthora* sp. pada buah kakao (Pangestu *et al.* 2014); *Fusarium oxysporum* dan *Meloidogyne* pada tomat (Mugiastuti dan Manan 2009); menekan diameter koloni *Colletotrichum gloeosporioides* penyebab antraknosa pada cabai (Naufal *et al.* 2022); *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* (Aisyah *et al.* 2018), *Fusarium oxysporum* fsp. *cubense* pada tanaman pisang (Angraeni *et al.* 2025), dan *Fusarium* pada tanaman karet (Ristiani *et al.* 2022).

Asap cair tempurung kelapa pada konsentrasi 0.1% mampu meningkatkan pertumbuhan planlet pisang 'Cavendish' dan menekan pertumbuhan *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* secara *in vitro* (Nurrahmawan *et al.* 2021), serta menekan insidensi dan keparahan infeksi BBTV pada tanaman pisang 'Cavendish' (Arubi *et al.* 2022). Asap cair tandan kosong kelapa sawit juga dilaporkan mampu menekan *Sclerotium rolfsii* dan *Puccinia arachidis* pada kacang tanah secara *in vitro* (Pratiwi *et al.* 2024).

Pemanfaatan asap cair lebih banyak dikaji potensinya dalam mengendalikan cendawan dan bakteri patogen, namun kajian potensi asap cair dalam mengendalikan virus masih terbatas. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan mengevaluasi keefektifan asap cair tempurung kelapa (ACTK) dalam menekan infeksi BCMV-BIC.

BAHAN DAN METODE

Propagasi Inokulum BCMV-BIC

Inokulum BCMV-BIC yang digunakan merupakan koleksi Laboratorium Virologi Tumbuhan, Departemen Proteksi Tanaman. Sumber inokulum digerus menggunakan mortar steril dalam 0.01 M bufer fosfat pH 7 yang mengandung 1% *mercaptoethanol* dengan perbandingan 1:10 (b/v). Cairan perasan (sap), dioleskan ke tanaman kacang panjang kultivar Parade Tavi umur 7 hari setelah tanam (HST) yang telah dibubuhi carborundum 600 mesh secara mekanis (Hamdayanti dan Damayanti 2014).

Uji Fitotoksis Asap Cair Tempurung Kelapa (ACTK) pada Benih Kacang Panjang

Asap cair yang digunakan ialah ACTK yang diperoleh dari Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan (PUSTARHUT), Bogor. ACTK merupakan hasil pirolisis pada suhu 400 °C, termasuk dalam asap cair *grade* 3. Stok ACTK diencerkan dengan akuades untuk mendapatkan konsentrasi yang akan diuji.

Pengujian fitotoksisitas ACTK dilakukan dengan 4 taraf konsentrasi asap cair, yaitu 0.5%, 0.7%, 1.0%, dan 3.0%. Permukaan benih kacang panjang disterilkan dengan cara direndam dalam alkohol 70% dan NaOCl 3.0% masing-masing selama 1 menit, kemudian dibilas dengan air steril. Selanjutnya benih direndam dalam 50 mL asap cair selama 60 menit. Sebagai kontrol, benih direndam dalam akuades steril. Setiap pengujian terdiri atas 50 benih, dan pengujian diulang sebanyak tiga kali. Metode pengujian menggunakan uji kertas digulung dan didirikan dalam plastik (UKDdp) berdasarkan standar *International Rules for Seed Testing Association* (ISTA 2010).

Peubah yang diamati adalah daya kecambah, indeks vigor, panjang plumula, dan panjang akar. Indeks vigor dihitung berdasarkan jumlah kecambah normal pada 5 hari setelah perendaman (HSP), dan pengamatan daya berkecambah dilakukan sebanyak 2 kali, yaitu pada 5 dan 7 HSP. Daya berkecambah (DB) dihitung berdasarkan jumlah kecambah normal (KN) pada perhitungan I dan II dengan rumus yang digunakan Widajati *et al.* (2013):

$$DB (\%) = \frac{\sum KN \text{ hitungan I} + \sum KN \text{ hitungan II}}{\sum \text{benih yang diamati}} \times 100\%$$

Indeks vigor (IV) ditentukan mengikuti formula di bawah ini:

$$IV (\%) = \frac{\sum KN \text{ hitungan I}}{\sum \text{benih yang diamati}} \times 100\%$$

Seleksi Konsentrasi dan Masa Aplikasi Terbaik ACTK pada Tanaman Indikator

Benih tanaman indikator *Chenopodium amaranticolor* disemai pada medium tanah dan sekam dengan perbandingan 1:1 (b/b) sampai berumur 20 hari, kemudian dipindahtanamkan ke dalam polibag. Selanjutnya diberi pupuk NPK 0.6 g per tanaman sebanyak dua kali, dan digunakan sebagai tanaman uji pada umur 40–50 hari.

Pengujian dilakukan dengan 4 taraf konsentrasi ACTK, yaitu 0.5%, 0.7%, 1.0%, dan 3.0%; dengan 2 taraf, yaitu aplikasi ACTK sebelum (SB) dan sesudah (ST) penularan mekanis BCMV-BIC. ACTK disemprotkan ke daun, dengan setiap perlakuan terdiri atas 10 daun sebagai ulangan. Pada perlakuan SB, sebanyak 5 mL ACTK disemprotkan ke masing-masing daun dan diinkubasi selama 24 jam untuk kemudian diinokulasikan BCMV-BIC secara mekanis. Perlakuan ST, daun diinokulasi BCMV-BIC terlebih dulu dan diinkubasi selama 24 jam untuk kemudian disemprotkan 5 mL ACTK per daun. Kontrol sakit (tanpa perlakuan ACTK dan diinokulasi BCMV) dan kontrol sehat digunakan sebagai pembanding. Peubah yang diamati terdiri atas masa inkubasi, jumlah lesi lokal nekrotik (LLN) dan tingkat hambatan relatif.

Efikasi Asap Cair Tempurung Kelapa (ACTK) untuk Mengendalikan Infeksi BCMV-BIC pada Tanaman Kacang Panjang di Rumah Kaca

Benih kacang panjang varietas Parade Tavi direndam dalam larutan ACTK pada konsentrasi 0.5%, 0.7%, 1.0%, dan 3.0% selama 60 menit merujuk pada Tang *et al.* (2020), sedangkan kontrol direndam dalam akuades steril. Selanjutnya benih ditanam dalam polibag diameter 30×30 cm dengan media tanah dan pupuk kandang dengan perbandingan 2:1 (b/b). Setiap polibag ditanam 3 benih kacang panjang. Pada saat tanaman telah berumur 7 hari, dipilih satu tanaman dengan pertumbuhan paling baik untuk digunakan dalam pengujian.

Perlakuan SB, bibit kacang panjang umur 6 hari setelah tanam (HST) disemprotkan ACTK sesuai konsentrasi, lalu diinkubasi selama 24 jam kemudian diinokulasikan virus. Perlakuan ST, inokulasi virus dilakukan pada bibit kacang panjang umur 7 HST, selanjutnya diinkubasi 24 jam lalu disemprotkan ACTK sesuai konsentrasi. Sebagai pembanding, digunakan tanaman kontrol sakit dan kontrol sehat. Setiap perlakuan terdiri atas 30 tanaman sebagai ulangan. Peubah yang diamati ialah masa inkubasi, tipe gejala, intensitas penyakit (insidensi dan keparahan penyakit), titer virus, aktivitas enzim antioksidan peroksidase, polifenol oksidase dan deteksi gen PR3 (*pathogenesis related protein 3*) dengan metode *one-step* RT-PCR.

Masa inkubasi diamati setelah inokulasi sampai muncul gejala, intensitas penyakit sejak penularan virus sampai 8 minggu setelah perlakuan (MSP). Keparahan gejala ditentukan mengikuti skor berikut: Skor 0, tanaman tanpa gejala; skor 1, gejala mosaik ringan disertai pemucatan tulang daun; skor 2, gejala mosaik sedang; skor 3, gejala mosaik berat; dan skor 4, gejala mosaik berat dengan malformasi daun yang parah, kerdil, atau mati (Gambar 1).

Pengaruh perlakuan ACTK terhadap titer BCMV ditentukan secara serologi. Sampel daun umur 4 minggu setelah perlakuan (MSP) diambil dan dibuat menjadi tiga sampel komposit setiap perlakuan. Titer BCMV dideteksi dengan metode *triple antibody sandwich enzyme-linked immuno sorbent assay* (TAS-ELISA) mengikuti protokol yang direkomendasikan produsen antiserum (DSMZ, Jerman). Setelah plat ELISA diberi *p-nitrophenyl phosphate*, titer virus dikuantifikasi menggunakan ELISA-reader MULTISKAN FC (*Thermo-Fisher Scientific*, US) pada panjang gelombang 405 nm. Titer virus dinyatakan positif jika nilai absorbansi sampel uji (NAE) $2 \times$ NAE kontrol sehat (-) ELISA.

Aktivitas enzim peroksidase (PO) diukur berdasarkan metode Kar dan Mishra (1976), dan enzim polifenol oksidase (PPO) diukur mengikuti metode Mayer *et al.* (1966). Sampel tanaman 3 HSP dikomposit, yaitu sebanyak 200 mg untuk tiap perlakuan. Aktivitas enzim PO dan PPO dianalisis di Laboratorium *Biotechnology Research* Indonesian-The Netherland (BIORIN), Gedung Pusat Penelitian Sumberdaya Hayati & Bioteknologi (PPSHB), Bogor.

Deteksi DNA *pathogenesis-related protein 3* (PR3) dilakukan dengan metode *one-step* RT-PCR. Tahapan yang dilakukan, yaitu ekstraksi RNA total, amplifikasi dan visualisasi DNA. RNA total diekstraksi dari 0.1 g daun dengan metode CTAB mengikuti protokol yang digunakan Doyle dan Doyle (1987) dengan modifikasi pada lama proses lisis dari 60 menit menjadi 30 menit. RNA total yang didapatkan dilarutkan dalam 50 μ L air bebas nuklease dan disimpan dalam freezer suhu -20°C sampai digunakan.

Primer yang digunakan untuk mengamplifikasi gen PR3 genus *Vigna* adalah PR3Vu-F (5'-GCA TGG CCG TTT TCACAT TC-3') dan PR3Vu-R

(5'-CAC ACA GGG AAA GAC GCA GG-3') dengan ampikon berukuran ± 600 pb (Megasari *et al.* 2019). Adapun reaktan *one-step* RT-PCR terdiri atas *DreamTaq Green PCR Master Mix* (2 $\times$), DTT 50 mM, RNase *inhibitor*, M-MuLV, primer (*forward* dan *reverse*), RNA total, dan air bebas nuklease dengan total volume reaksi 25 μ L merujuk pada Damayanti dan Kurniawati (2022). Amplifikasi didahului dengan sintesis cDNA pada suhu 42 °C selama 60 menit. Selanjutnya tahap denaturasi awal pada suhu 94 °C selama 5 menit, dilanjutkan dengan 35 siklus yang terdiri atas denaturasi pada suhu 94 °C selama 1 menit, penempelan primer (*annealing*) pada suhu 52 °C selama 1 menit dan ekstensi pada suhu 72 °C selama 1 menit. Ekstensi akhir dilakukan pada suhu 72 °C selama 7 menit.

DNA hasil PCR dielektroforesis pada gel agarosa 1%. Sebanyak 0.3 g agarosa dilarutkan dalam 30 mL bufer 0.5 $\times$ TBE (*Tris-Boric Acid EDTA*) dan dipanaskan dalam *microwave* selama 1 menit hingga tercampur rata. Sebanyak 3 μ L pewarna asam nukleat *FlouoVue™* (Smobio, Taiwan) dicampurkan secara merata ke dalam gel agarosa lalu dituang ke dalam cetakan gel, dan didiamkan selama ± 30 menit hingga mengeras. Elektroforesis dilakukan pada tegangan 100 volt selama 30 menit. Hasil elektroforesis selanjutnya divisualisasi dengan UV *transilluminator* dan didokumentasikan dengan kamera digital.

Kuantifikasi DNA PR3 dilakukan dengan peranti lunak ImageJ (<https://imagej.net/ij/>) untuk menganalisis intensitas pita DNA. ImageJ mengukur piksel dalam pita DNA, lalu hasilnya dibandingkan dengan kurva standar DNA untuk mendapatkan nilai konsentrasi DNA. Intensitas (kecerahan) pita berbanding lurus dengan konsentrasi DNA.

Analisis Data

Percobaan disusun dalam rancangan acak lengkap. Data ditabulasi menggunakan Microsoft Excel 2019 dan dianalisis ragam (ANOVA) menggunakan aplikasi IBM SPSS versi 22. Perlakuan yang berbeda nyata diuji lanjut dengan uji Tukey pada taraf nyata 5%. DNA hasil PCR PR3 dikuantifikasi menggunakan peranti lunak ImageJ (<https://imagej.net/ij/>).



Gambar 1 Skor keparahan penyakit *Bean common mosaic virus* mengikuti Damayanti *et al.* (2013).
(Figure 1 Disease severity scoring of *Bean common mosaic virus* as described by Damayanti *et al.* (2013)).

HASIL

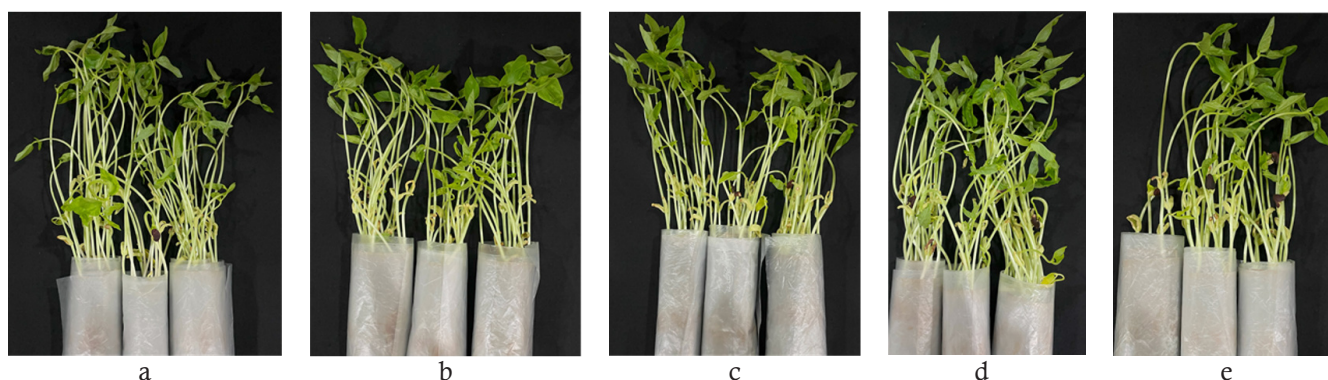
Uji Fitotoksissitas Asap Cair Tempurung Kelapa (ACTK) pada Benih Kacang Panjang

Uji fitotoksissitas asap cair pada benih kacang panjang secara visual memperlihatkan bahwa pertumbuhan benih masih merata pada konsentrasi ACTK 0.5%, 0.7%, dan 1.0%, sedangkan pada konsentrasi 3.0% menunjukkan pertumbuhan yang tidak seragam dan tidak optimal (Gambar 2). Perlakuan ACTK pada konsentrasi 0.5%, 0.7%, dan 1.0% tidak menunjukkan fitotoksik terhadap benih kacang panjang. Indeks vigor dan daya berkecambah paling tinggi ditunjukkan pada ACTK konsentrasi 1.0% yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan

kontrol, ATCK 0.5% dan 0.7%. Perlakuan ACTK pada konsentrasi 3.0%, bersifat fitotoksik, menyebabkan indeks vigor dan daya kecambah benihnya turun sampai 70% (Tabel 1). Konsentrasi ACTK 0.5%-1% masih mendukung pertumbuhan plumula dan akar hingga hari ke-5 dan ke-7, sedangkan pada konsentrasi 3.0% menyebabkan penghambatan pertumbuhan plumula maupun akar (Tabel 2).

Seleksi Konsentrasi dan Masa Aplikasi Terbaik ACTK pada Tanaman Indikator

Perlakuan ACTK konsentrasi 3.0% pada daun tanaman indikator menunjukkan gejala nekrosis cokelat dan daun menggulung. Namun, pada konsentrasi 0.5%, 0.7%, dan 1.0% tidak terlihat gejala



Gambar 2 Pertumbuhan bibit kacang panjang pada berbagai perlakuan konsentrasi asap cair pada 7 hari setelah ditumbuhkan. a, kontrol; b, 0.5%; c, 0.7%; d, 1.0%; dan e, 3.0%.

(Figure 2 Growth of yardlong bean seedlings under various liquid smoke concentration treatments at 7 days after planting. a, control; b, 0.5%; c, 0.7%; d, 1.0%, and e, 3.0%).

Tabel 1 Indeks vigor dan daya berkecambah benih kacang panjang pada berbagai perlakuan konsentrasi asap cair (Table 1 Vigor index and seed germination capacity of yardlong bean seeds under different liquid smoke concentrations)

Konsentrasi (Concentration) (%)	Indeks vigor (Vigor index) (%)*	Daya berkecambah (Germination percentage) (%)*
0.0	81.67 ± 1.07 b	83.00 ± 1.20 b
0.5	76.67 ± 1.83 c	78.00 ± 1.80 c
0.7	74.00 ± 1.05 c	76.67 ± 1.83 c
1.0	86.00 ± 1.00 a	88.70 ± 1.02 a
3.0	64.00 ± 1.08 d	66.67 ± 1.51 d

*Angka (rata-rata) pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf nyata 5%.
(*Numbers (means) in the same column followed by same letters indicate not significantly differences based on Tukey's test at 5% significance level).

Tabel 2 Panjang plumula dan akar benih kacang panjang di hari ke-5 dan ke-7 setelah semai (Table 2 Length of plumulae and root of yardlong bean seedlings on day 5 and day 7 after sowing)

Konsentrasi (Concentration) (%)	Plumula/H5* (Plumule/D5)	Akar/H5* (Root/D5)	Plumula/H7* (Plumule/D7)	Akar/H7* (Root/D7)
0.0	11.17 ± 2.40 b	8.93 ± 2.56 b	19.06 ± 1.92 a	13.74 ± 1.09 a
0.5	7.72 ± 2.13 c	6.75 ± 2.46 bc	12.36 ± 1.04 bc	10.33 ± 1.38 bc
0.7	8.14 ± 1.83 c	7.94 ± 1.69 b	14.50 ± 1.55 b	10.76 ± 1.67 bc
1.0	14.17 ± 2.11 a	11.71 ± 2.29 a	19.82 ± 1.40 a	11.73 ± 1.30 b
3.0	4.53 ± 1.04 d	4.17 ± 0.81 c	10.15 ± 0.98 c	9.79 ± 1.35 c

*Angka (rata-rata) pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf nyata 5%.
(*Numbers (means) in the same column followed by same letters indicate not significantly differences based on Tukey's test at 5% significant level).

fitotoksik. Penampakan daun normal seperti pada perlakuan kontrol (data tidak ditampilkan).

Aplikasi semprot ACTK pada konsentrasi 0.5%, 0.7%, dan 1.0% menunjukkan masa inkubasi nyata lebih lama dibandingkan dengan kontrol sakit tanpa perlakuan. Perlakuan ACTK SB pada seluruh konsentrasi menunjukkan lesi lokal nekrotik (LLN) lebih banyak dibandingkan dengan ST, kecuali perlakuan ACTK 1.0SB yang tidak berbeda nyata dengan ACTK 0.5ST (Tabel 3; Gambar 3). Namun, perlakuan ACTK 0.7SB dan ACTK 1.0SB menunjukkan jumlah LLN yang nyata lebih rendah dibandingkan dengan kontrol sakit tanpa perlakuan.

Perlakuan ACTK 0.7ST dan ACTK 1.0ST mampu menekan pembentukan LLN tertinggi, yaitu sebesar 90.3% dan 95.4%. Perlakuan ACTK 1.0SB dan ACTK 0.5ST menunjukkan keefektifan cukup tinggi sebesar 70.6% dan 79.8% dan tidak berbeda nyata antar kedua perlakuan (Tabel 3).

Efikasi Asap Cair Tempurung Kelapa (ACTK) untuk Menekan Infeksi BCMV-BIC pada Tanaman Kacang Panjang di Rumah Kaca

Tanaman kacang panjang yang diberi perlakuan ACTK pada konsentrasi 0.5%-1.0% menunjukkan insidensi penyakit 100% (data tidak ditampilkan), mengindikasikan perlakuan ACTK tidak menghambat penularan mekanis virus. Namun, masa inkubasi tanaman yang disemprot ACTK nyata lebih panjang dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan. Masa inkubasi terpanjang ditunjukkan pada perlakuan ACTK setelah penularan virus (Tabel 4).

Keparahan penyakit pada tanaman perlakuan ACTK tidak berbeda nyata dengan kontrol sakit (Ksa),

kecuali perlakuan ACTK 0.7ST dan 1.0ST. Pada perlakuan tersebut keparahan penyakitnya lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan ACTK lainnya dan kontrol sakit tanpa perlakuan. Secara umum, titer BCMV pada tanaman perlakuan nyata lebih rendah dibandingkan titer virus kontrol tanpa perlakuan, namun BCMV masih terdeteksi positif, kecuali pada perlakuan ACTK 0.7ST dan 1.0ST (Tabel 4). Rendahnya skor keparahan penyakit selaras dengan gejala yang lebih ringan pada tanaman perlakuan ACTK 0.7ST dan 1.0ST, yaitu mosaik ringan dan mampu menghambat titer virus sebesar 69.27% (Tabel 4; Gambar 4).

Aplikasi ACTK tidak menghambat insidensi penyakit, namun mampu menginduksi ketahanan kacang panjang dengan meningkatkan aktivitas enzim peroksidase (PO), menurunkan keparahan penyakit dan titer virus. Di antara konsentrasi ACTK yang diuji, hanya perlakuan ACTK 1.0ST yang menunjukkan aktivitas enzim PO paling tinggi dibandingkan dengan kontrol sakit tanpa perlakuan dan perlakuan lainnya (Gambar 5a). Hal ini selaras dengan jumlah total protein PO (Gambar 5b). Aktivitas enzim PPO meningkat lebih tinggi pada semua perlakuan dibandingkan dengan kontrol tanpa perlakuan yang ditunjukkan oleh aktivitas PPO tiap 30 detik selama 3 menit dan total protein (Gambar 6a-b). Aktivitas enzim PPO pada perlakuan ACTK setelah penularan virus (ST) lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol dan perlakuan lainnya.

DNA gen PR3 terkait dengan endokitinase (kitinase tanaman) berhasil diamplifikasi dengan ukuran ± 600 pb pada semua perlakuan kecuali pada kontrol sehat. Secara visual perlakuan ACTK setelah

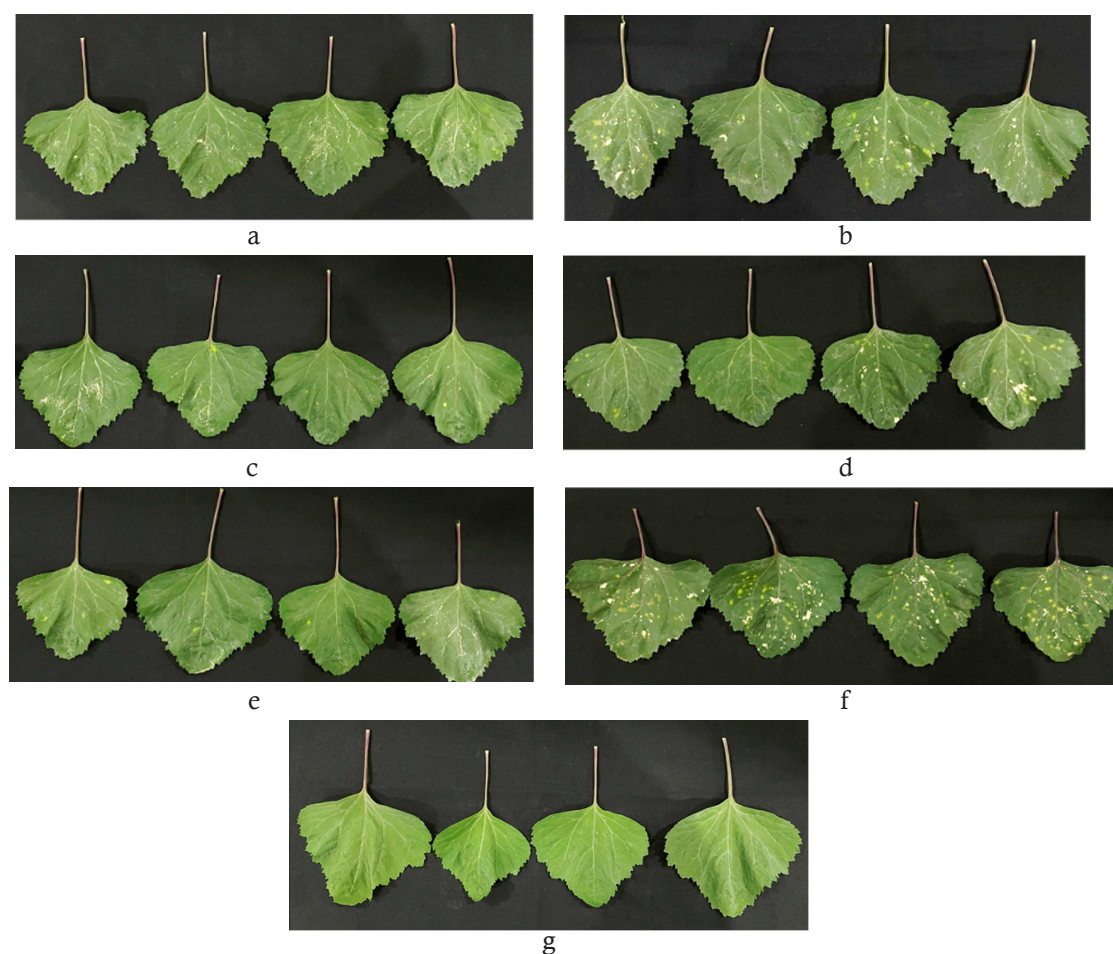
Tabel 3 Masa inkubasi, jumlah dan tingkat hambatan relatif pembentukan lesi lokal nekrotik pada daun *Chenopodium amaranticolor* yang diinokulasi BCMV-BIC pada berbagai perlakuan asap cair

(Table 3 Incubation period and relative inhibition rate of necrotic local lesion formation on *Chenopodium amaranticolor* leaves inoculated with BCMV-BIC under various liquid smoke treatments)

Perlakuan (Treatments)	Masa inkubasi/HSI ^a (Incubation period/DAI ^a)*	Lesio lokal nekrotik/LLN (Necrotic local lesion/NLL)**	Tingkat hambatan LLN (Relative inhibition NLL) (%)**
Kontrol sehat (Healthy plant as control)	-	0.0 $\pm$ 0.0 f	-
Kontrol sakit (Diseased plant as control)	4.00 $\pm$ 0.02 d	21.8 $\pm$ 9.38 b	0.0 $\pm$ 0.0 d
0.5 SB	5.00 $\pm$ 0.05 c	29.4 $\pm$ 8.16 c	-34.8 $\pm$ 4.61 c
0.7 SB	5.00 $\pm$ 0.02 c	14.3 $\pm$ 5.77 c	34.4 $\pm$ 1.31 c
1.0 SB	5.00 $\pm$ 0.06 c	6.4 $\pm$ 4.03 d	70.6 $\pm$ 3.10 b
0.5 ST	6.00 $\pm$ 1.00 b	4.4 $\pm$ 4.79 de	79.8 $\pm$ 5.60 b
0.7 ST	6.00 $\pm$ 1.02 b	2.1 $\pm$ 2.23 ef	90.3 $\pm$ 3.26 a
1.0 ST	7.00 $\pm$ 1.19 a	1.0 $\pm$ 1.49 f	95.4 $\pm$ 2.12 a

SB, (sebelum inokulasi); dan ST (setelah inokulasi). ^aHSI, hari setelah inokulasi. *Angka (median) yang diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan Dunn pada taraf nyata 5%. **Angka (rata-rata) pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf nyata 5%.

(SB, before inoculation; and ST, after inoculation. ^aDAI: days after inoculation. *Numbers (median) followed by different letters indicate significant differences based on Dunn test at 5% significant level. **Numbers (means) in the same column followed by same letters indicate not significantly differences based on Tukey's test at 5% significant level.



Gambar 3 Gejala lesio lokal nekrotik pada daun *Chenopodium amaranticolor* yang disemprot asap cair sebelum (SB) dan setelah (ST) diinokulasi mekanis dengan BCMV-BIC. a, 0.5 ST; b, 0.5 SB; c, 0.7 ST; d, 0.7 SB; e, 1.0 ST; f, 1.0 SB; dan g, tanaman sehat.

(Figure 3 Necrotic local lesion symptoms on *Chenopodium amaranticolor* leaves sprayed with liquid smoke before (SB) and after inoculation (ST) mechanically with BCMV-BIC. a, 0.5 ST; b, 0.5 SB; c, 0.7 ST; d, 0.7 SB; e, 1.0 ST; f, 1.0 SB; g, uninfected plant.)

Tabel 4 Masa inkubasi, skor keparahan penyakit, nilai absorbansi ELISA, tingkat hambatan relatif dan titer virus pada tanaman kacang panjang

(Table 4 Incubation period, disease severity score, ELISA absorbance value, relative inhibition level, and virus titer in yard long bean plants)

Perlakuan (Treatments)	Masa inkubasi/HSI ^a * (Incubation period/ DAI ^a *)	Skor keparahan penyakit (Disease severity score)**	Nilai absorbansi ELISA (ELISA absorbance value)**	Tingkat hambatan relatif (Relative inhibition level) (%)*	Titer virus (Viral titer) ^b
K (-) ELISA	-	-	0.184 ± 0.098	-	-
K (+) ELISA	-	-	0.750 ± 0.020	-	+
Kontrol sehat (Healthy plant as control)	0.00 ± 0.00 f	0.00 ± 0.00 d	0.163 ± 0.045 e	100.00 ± 0.01 a	-
Kontrol sakit (Diseased plant as control)	6.24 ± 1.09 e	3.23 ± 0.29 a	0.576 ± 0.040 a	0.00 ± 0.00 h	+
0.5 SB	7.10 ± 1.09 d	3.42 ± 0.23 a	0.480 ± 0.024 b	16.67 ± 0.12 g	+
0.7 SB	7.63 ± 1.35 cd	3.25 ± 1.20 a	0.468 ± 0.072 b	18.75 ± 0.14 f	+
1.0 SB	7.20 ± 1.71 cd	3.22 ± 0.20 a	0.406 ± 0.036 c	29.51 ± 0.19 e	+
0.5 ST	8.10 ± 1.09 bc	3.15 ± 0.10 a	0.383 ± 0.093 c	33.50 ± 0.17 d	+
0.7 ST	8.63 ± 1.35 ab	2.17 ± 0.03 b	0.336 ± 0.009 d	41.66 ± 0.13 c	-
1.0 ST	9.20 ± 1.71 a	2.02 ± 0.05 c	0.177 ± 0.003 e	69.27 ± 0.11 b	-

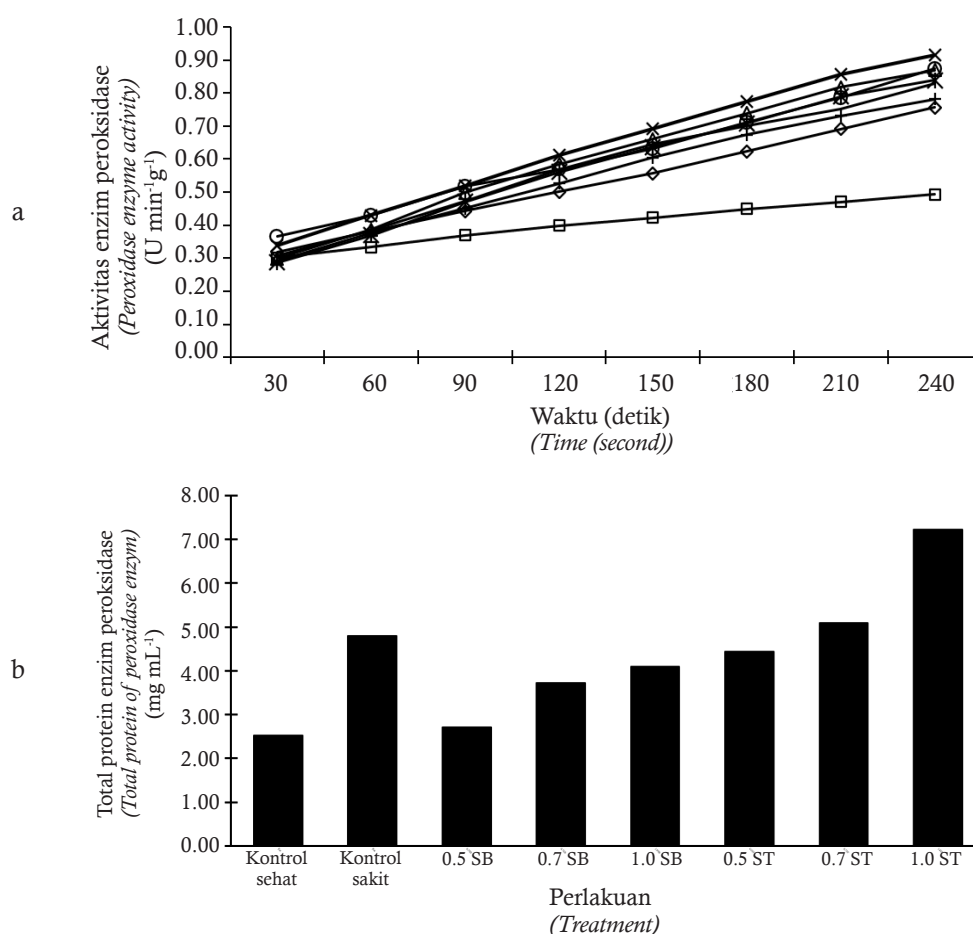
SB, (sebelum inokulasi); dan ST (setelah inokulasi). ^aHSI: hari setelah inokulasi. ^bReaksi positif jika NAE ≥ 0.368 [NAE 2 × K (-) ELISA]. *Angka (median) pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Dunn taraf nyata 5%. **Angka (rata-rata) pada kolom yang sama dan diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan uji Tukey pada taraf nyata 5%.

(SB, before inoculation; and ST, after inoculation. ^aDAI: days after inoculation. ^bA positive reaction is indicated if ELISA absorbance value (EAV) ≥ 0.368 [EAV 2 × healthy ELISA control (K-)]. *Values (mean) in the same column followed by the same letter do not differ significantly according to Dunn's test at the 5% significance level. **Values (mean) in the same column followed by the same letter do not differ significantly according to Tukey's test at the 5% significance level).



Gambar 4 Gejala infeksi BCMV-BIC dan variasinya pada tanaman kacang panjang dengan perlakuan asap cair. a, Sumber inokulum; b, Kontrol sakit; c, 0.5 ST; d, 0.7 ST; dan e, 1.0 ST.

(Figure 4 Symptom of BCMV-BIC infection and its variations on yardlong bean with liquid smoke treatment. a, Inoculum source; b, Diseased control; c, 0.5 ST; d, 0.7 ST; and e, 1.0 ST.)



Gambar 5 Aktivitas enzim (a) dan jumlah total protein peroksidase [PO] (b) pada tanaman kacang panjang yang diberi perlakuan asap cair dengan konsentrasi terseleksi. ○, Kontrol sakit; ◻, Kontrol sehat; ◊, 0.5 SB; ⊕, 0.7 SB; —, 1.0 SB; ✱, 0.5 ST; ⊖, 0.7 ST; dan ✕, 1.0 ST.

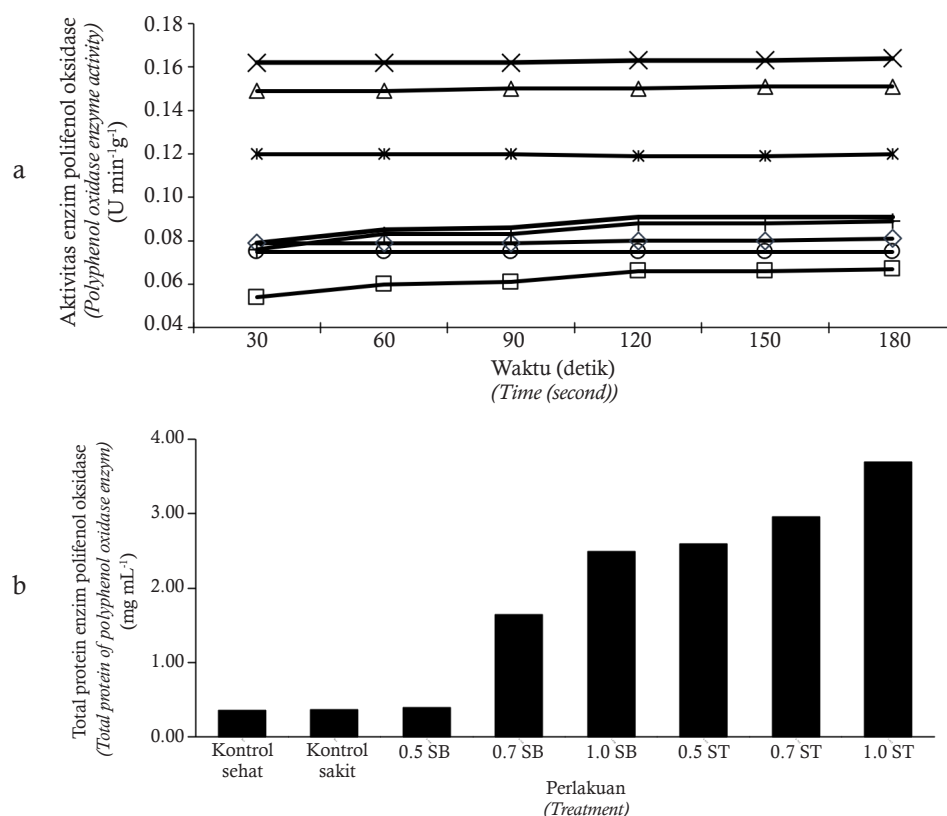
(Figure 5 Peroxidase enzyme activity (a) and their total protein (b) in yardlong bean plants treated with selected concentrations of liquid smoke. ○, Diseased plant as control; ◻, Healthy plant as control; ◊, 0.5 SB; ⊕, 0.7 SB; —, 1.0 SB; ✱, 0.5 ST; ⊖, 0.7 ST; and ✕, 1.0 ST.)

penularan virus (ST) menunjukkan intensitas DNA lebih tebal dibandingkan dengan perlakuan ACTK sebelum penularan virus (SB) dan kontrol tanpa perlakuan (Gambar 7a). Kuantifikasi pita DNA menunjukkan perlakuan ACTK 1.0ST menunjukkan intensitas DNA yang paling tinggi (16.31 μm per pixel) dan mengindikasikan adanya penghambatan infeksi BCMV-BIC. Intensitas DNA terendah ditunjukkan pada perlakuan ACTK 0.5SB dan 0.7SB dibandingkan

dengan kontrol tanpa perlakuan terinfeksi virus (Ksa) (Gambar 7b). Makin tinggi intensitas DNA hasil PCR selaras dengan makin rendahnya keparahan penyakit dan titer virus (Gambar 7; Tabel 4).

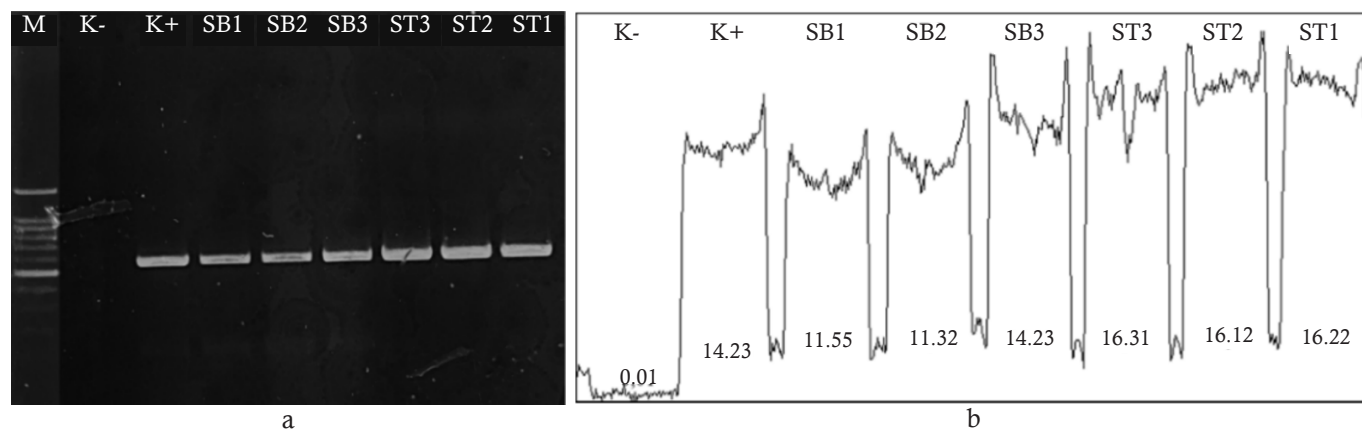
PEMBAHASAN

Benih kacang panjang yang direndam ACTK pada konsentrasi 0.5%–1.0% menunjukkan indeks



Gambar 6 Aktivitas enzim (a) dan jumlah protein polifenol oksidase [PPO] (b) pada tanaman kacang panjang yang diberi perlakuan asap cair dengan konsentrasi terseleksi. ○, Kontrol sakit; ◻, Kontrol sehat; ◊, 0.5 SB; +, 0.7 SB; —, 1.0 SB; *, 0.5 ST; △, 0.7 ST; dan ×, 1.0 ST.

(Figure 6 Polyphenol oxidase (PPO) enzyme activity enzyme activity (a) and their total protein (b) in yardlong bean plants treated with selected concentrations of liquid smoke. ○, Diseased plant as control; ◻, Healthy plant as control; ◊, 0.5 SB; +, 0.7 SB; —, 1.0 SB; *, 0.5 ST; △, 0.7 ST; and ×, 1.0 ST.)



Gambar 7 Elektroforesis DNA gen PR3. a, Visualisasi DNA pada gel agarosa; dan b, Kuantifikasi pita DNA dengan peranti lunak imageJ. SB1, 0.5 SB; SB2, 0.7 SB; SB3, 1.0 SB; ST1, 0.5 ST; ST2, 0.7 ST; dan ST3, 1.0 ST.

(Figure 7 Electrophoresis of DNA PR3 gene. a. DNA visualization on agarose gel; b. DNA bands intensities quantified by using imageJ software. SB1, 0.5 SB; SB2, 0.7 SB; SB3, 1.0 SB; ST1, 0.5 ST; ST2, 0.7 ST; dan ST3, 1.0 ST.)

vigor, daya kecambah dan pertumbuhan kecambah yang baik. Hal ini mengindikasikan adanya senyawa karrikin dalam ACTK yang dapat menginduksi perkecambahan dengan mekanisme pensinyalan kimiawi yang melibatkan α/β -fold hydrolase KAI2 reseptor yang berperan dalam pertumbuhan akar dan rambut akar (Flematti *et al.* 2013; Villaécija-Aguilar *et al.* 2019). Sebaliknya, ACTK pada konsentrasi 3.0%

terbukti bersifat fitotoksik pada benih dan kecambah yang tumbuh. Hal ini karena kandungan fenol, aldehid, dan asam organik dalam jumlah tinggi dapat menghambat respirasi embrio dan mengganggu fisiologi benih (Nugroho dan Aisyah 2013). Laporan sebelumnya menunjukkan semakin tinggi konsentrasi asap cair yang digunakan, semakin rendah tingkat pertumbuhan *plantlet* pisang Cavendish pada fase

induksi perakaran dengan gejala nekrosis, klorosis dan daun menggulung (Nurrahmawan *et al.* 2021).

Aplikasi ACTK baik sebelum atau sesudah penularan virus secara nyata mampu memperpanjang masa inkubasi dan mengurangi jumlah gejala LLN dengan keefektifan nyata lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol sakit tanpa perlakuan, dan perlakuan ACTK 0.5SB. Jumlah gejala LLN pada aplikasi ACTK setelah penularan virus (ST) tampak lebih rendah dibandingkan dengan aplikasi sebelum penularan virus. Aplikasi ACTK sebelum penularan virus mampu menginduksi pertahanan tanaman, sehingga mampu menekan gejala LLN walau lebih rendah dibandingkan dengan aplikasi ACTK setelah penularan virus. Keefektifan aplikasi ACTK sesudah penularan virus nyata lebih tinggi dibandingkan dengan semua perlakuan. Hal ini menunjukkan penularan virus secara mekanis melalui luka dan infeksi virus menyebabkan cekaman mekanik, kemudian aplikasi ACTK mampu menginduksi pertahanan tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan ACTK sebelum penularan virus. Induksi pertahanan tanaman sebagai respons untuk mitigasi kerusakan dan mencegah infeksi patogen (Savatin *et al.* 2014). Mekanisme induksi pertahanan tanaman secara signifikan akan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan sebagai bagian penting respons tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik. Hal ini terjadi agar menetralkan *reactive oxygen species* (ROS) yang berbahaya dan menjaga keseimbangan seluler, sehingga meningkatkan daya tahan dan kelangsungan hidup tanaman (Mohammadi *et al.* 2021).

Berdasarkan aktivitas enzim PO hanya perlakuan ACTK 1.0ST yang menunjukkan aktivitas enzim dan total protein paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya dan kontrol sakit tanpa perlakuan. Aktivitas enzim PO dan total protein pada perlakuan ACTK 0.5-0.7% baik sebelum maupun sesudah penularan virus meningkat dibandingkan dengan kontrol sehat, namun lebih rendah dibandingkan kontrol sakit. Data ini menunjukkan ACTK 1.0ST merupakan perlakuan dengan aktivitas enzim PO paling tinggi sehingga efektif dalam memperpanjang masa inkubasi, menurunkan keparahan penyakit, dan titer virus dibandingkan dengan perlakuan lainnya dan kontrol. Enzim PO penting dalam pertahanan tanaman terhadap patogen dengan pembentukan lignin dan aktivitas biokimia (Mohamed *et al.* 2017).

Aktivitas enzim PPO lebih tinggi pada perlakuan ACTK setelah (ST) dibandingkan dengan perlakuan ACTK sebelum (SB) penularan virus. Makin tinggi konsentrasi ACTK maka aktivitas enzim PPO-nya semakin tinggi. Tingginya aktivitas enzim PPO pada perlakuan ACTK setelah penularan virus mengindikasikan cekaman tanaman yang tinggi, yaitu cekaman biotik karena infeksi virus sehari sebelum perlakuan ACTK yang kemudian meningkat karena

perlakuan ACTK sehari setelah penularan virus. Ketika tanaman diinfeksi oleh patogen, tanaman akan mengaktifkan respons imun umum yang dikenal sebagai *systemic acquired resistance* (SAR) (Abo-Zaid *et al.* 2020). Enzim PPO di dalam tanaman dapat diibaratkan seperti tim reaksi cepat (*quick reaction force*) yang diaktifkan oleh agens biokontrol (Martinez-Medina *et al.* 2016).

Enzim PO dan PPO merupakan enzim penyebab 'browning' dalam tanaman, namun berbeda mekanisme dalam mengubah fenol menjadi quinone. Enzim PO memakai hidrogen peroksida (H_2O_2) untuk mengoksidasi fenol dan menggunakannya sebagai asektor elektron. PPO menggunakan oksigen secara langsung untuk mengubah fenol menjadi quinone. Oleh karena itu, PPO seringkali dianggap sebagai enzim utama penyebab 'browning' karena level H_2O_2 rendah (Wang *et al.* 2020).

Perlakuan ACTK menunjukkan intensitas DNA *pathogenesis-related protein 3* (PR3) yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol terinfeksi BCMV-BIC. Perlakuan ACTK 1.0ST menunjukkan intensitas DNA tertinggi. Gen PR3 mengalami peningkatan pada perlakuan setelah inokulasi virus karena peningkatan PR3 berkorelasi terhadap peningkatan ketahanan tanaman. PR3 terinduksi kuat oleh infeksi virus mosaik pada tanaman kacang buncis (*Phaseolus vulgaris*) (Margis-pinheiro *et al.* 1993).

Aktivasi endokitinase (kitinase tanaman) berperan dalam mitigasi cekaman tanaman untuk meningkatkan toleransi tanaman melalui pengurangan cekaman oksidatif. Endokitinase tidak secara langsung memengaruhi virus tanaman karena virus tidak memiliki kitin, tetapi kitinase tanaman merupakan komponen dan indikator penting dari respons pertahanan terhadap cekaman dan infeksi patogen. Namun, endokitinase adalah bagian dari respon imun tanaman yang lebih luas dan tidak spesifik yang dapat dipicu oleh infeksi virus (Vaghela *et al.* 2022).

Mekanisme kerja asap cair dalam mengendalikan patogen tumbuhan melibatkan dua aspek utama. Pertama, aktivitas antimikrob yang disebabkan oleh kandungan senyawa fenol dan asam yang dapat merusak dinding sel dan membran sitoplasma patogen. Kedua, asap cair dapat menginduksi pertahanan tanaman melalui mekanisme *systemic acquired resistance* (SAR) dengan mengaktifkan enzim pertahanan seperti peroksidase dan polifenol oksidase untuk penguatan dinding sel. Asam salisilat merupakan jalur sinyal utama SAR pada pertahanan tanaman, walau tidak diukur dalam penelitian ini. Namun, peningkatan enzim peroksidase dan PPO merupakan indikator biokimia langsung yang teramati setelah perlakuan asap cair. Peningkatan sistem pertahanan melalui peningkatan enzim antioksidan merupakan suatu strategi proaktif untuk menekan konsentrasi virus (Sofy *et al.* 2020).

Perlakuan ACTK setelah penularan virus lebih efektif menekan BCMV-BIC, kemungkinan dapat saja karena fitokimia yang dikandung ACTK yang bersifat antivirus. Hal ini ditunjukkan oleh titer virus pada tanaman perlakuan ACTK yang nyata lebih rendah dibandingkan kontrol tanpa perlakuan. Perlakuan ACTK pada konsentrasi 1.0ST menunjukkan titer virus paling rendah dibandingkan dengan semua perlakuan dan kontrol. Rendahnya titer virus diduga karena adanya penghambatan replikasi virus oleh ACTK atau ACTK menyebabkan rusaknya partikel virus. Namun hal ini perlu dikonfirmasi lebih lanjut melalui pengamatan partikel virus menggunakan *transmission electron microscope* (TEM).

Sampai saat ini sangat minim informasi terkait peran asap cair dalam menekan infeksi virus tumbuhan. Asap cair tidak secara langsung memiliki efek "virusidal". Asap cair mampu meningkatkan pertahanan alami tanaman sehingga lebih tahan saat terinfeksi virus dan jumlah titer virus yang terdeteksi pun sedikit. Tanaman yang diberi asap cair memiliki daun yang lebih lebar dengan lapisan lignin yang tebal (Noel *et al.* 2022) sehingga tanaman lebih bugar dan lignin menjadi penghalang alami untuk serangga vektor dan patogen (Bagniewska-Zadworna *et al.* 2014).

Berdasarkan hasil penelitian aplikasi asap cair tempurung kelapa pada konsentrasi 1.0% setelah penularan virus terbukti tidak mengganggu daya kecambah dan indeks vigor benih kacang panjang, dan paling baik dalam menekan infeksi BCMV-BIC. Asap cair dengan konsentrasi 1.0% mampu menginduksi pertahanan alami tanaman melalui peningkatan aktivitas enzim PO, PPO dan akumulasi DNA PR3 yang paling tinggi, sehingga mampu secara nyata memperpanjang masa inkubasi, menurunkan keparahan penyakit dan titer virus dengan keefektifan paling tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Asap cair tempurung kelapa berpotensi besar dikembangkan sebagai bagian dari strategi pengelolaan terpadu BCMV-BIC dan organisme pengganggu tanaman (OPT) lainnya. Oleh karena itu, pemanfaatan fitokimia seperti asap cair dalam pengelolaan OPT masih terbuka lebar untuk diteliti lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Keuangan yang telah mendanai penelitian ini melalui dana penelitian program Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) untuk MN dengan nomor induk 202201110300170.

DAFTAR PUSTAKA

Abo-Zaid GA, Matar SM, Abdelkhalek A. 2020. Induction of Plant resistance Against Tobacco

Mosaic Virus using Biocontrol Agent *Streptomyces cellulosa* Isolate Actino 48. Agronomy. 10(11):1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111620>.

Afrah BD, Riady MI, Payomthip P, Ramadhanty RV, Rizki F, Alfayyadh ML. 2024. Analysis of Liquid Smoke Grade Characteristics from Coconut Shells and Palm Kernel Shell Waste Through a Slow Pyrolysis Process. Journal of Engineering and Technological Sciences. 56(4):545-558. DOI: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.4.10>.

Aisyah I, Juli N, Pari G. 2013. Pemanfaatan asap cair tempurung kelapa untuk mengendalikan cendawan penyebab penyakit antraknosa dan layu fusarium pada ketimun. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. 31(2):170-178. DOI: <https://doi.org/10.20886/jphh.2013.31.2.170-178>.

Aisyah I, Giyanto, Sinaga MS, Nawangsih AA, Pari G. 2018. Uji *in vitro* asap cair terhadap *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis* penyebab penyakit darah pisang. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 14(4):145–151. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.14.4.145>.

Anggraeni D, Purnama I, Saidi NB, Novianti F, Baharum NA, Mutamina A, Razali NAS, Boukherroub R. 2025. Antifungal and phytotoxicity of wood vinegar from biomass waste against *Fusarium oxysporum* f.sp. *cubense* TR4 infecting banana plants. Discover Food. 5(98):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00377-8>.

Arubi D, Giyanto, Dinarty D, Susanto A, Hidayat SH. 2022. Response of banana germplasms to *banana bunchy top virus*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 948(1):1-7. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/948/1/012022>.

Bagniewska-Zadworna A, Barakat A, Lakomy P, Smolinski DJ, Zadworny M. 2014. Lignin and Lignans in Plant Defence: Insight from Expression Profiling of Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase Genes during Development and Following Fungal Infection in *Populus*. Plant Sciences. 229:111-121. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.08.015>.

[BPS] Badan Pusat Statistik. 2024. Statistik Pertanian 2024. Produksi Kacang Panjang. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik.

Cheng J, Hu SC, Kang K, Li XM, Geng ZC, Zhu MQ. 2021. The effects of pyrolysis temperature and storage time on the compositions and properties of the pyroligneous acids generated from cotton stalk based on a polygeneration process. Industrial Crops Products. 161:1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113226>.

Damayanti TA, Alabi OJ, Naidu RA, Rauf A. 2009. Severe outbreak of a *yellow mosaic* disease on

- the yardlong bean in Bogor. West Java. Hayati Journal Bioscience. 16(2):78-82. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.16.2.78>.
- Damayanti TA, Haryanto, Wiyono S. 2013. Pemanfaatan kitosan untuk pengendalian *Bean common mosaic virus* (BCMV) pada kacang panjang. Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika. 13(2):110-116. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.213110-116>.
- Damayanti TA, Panjaitan. 2014. Aktivitas antivirus beberapa ekstrak tanaman terhadap *Bean common mosaic virus* strain *Black eye cowpea* (BCMV-BIC) pada kacang panjang. Jurnal Hama dan Penyakit Tumbuhan Tropika. 14(1):32-40. DOI: <https://doi.org/10.23960/j.hptt.11432-40>.
- Damayanti TA, Kurniawati F. 2022. *Pepper mild mottle virus* infection in cayenne and sweet pepper in Indonesia. Australasian Plant Diseases Notes. 17(1):4. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13314-022-00451-5>.
- Doyle JJ, Doyle JL. 1987. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. Phytochemical Bulletin. 19:11-15.
- Flematti GR, Waters MT, Scaffidi A, Merritt DJ, Ghisalberti EL, Dixon KW, Smith SM. 2013. Karrikin and cyanohydrin smoke signals provide clues to new endogenous plant signaling compounds. Molecular Plant. 6(1):29-37. DOI: <https://doi.org/10.1093/mp/sss132>.
- Hamdayanty, Damayanti TA. 2014. Infeksi Bean common mosaic virus pada Umur Tanaman Kacang Panjang yang Berbeda. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 10(6):181-187. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.10.6.181>.
- Islami NF, Damayanti TA, Santoso S, Akhiruddin. 2024. Nanopartikel Kitosan dan Ekstrak Daun Bugenvil: Karakterisasi dan Aplikasinya untuk Mengendalikan *Bean common mosaic virus* strain Blackeye Cowpea. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 20(2):88-100. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.20.2.88-100>.
- ISTA [International Rules for Seed Testing Association]. 2010. International rules for seed testing ed 2010. Switzerland (CH): *The International Seed Testing Association*.
- Kar M, Mishra D. 1976. Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activities during rice leaf senescence. Journal of Plant Physiology. 57:315-319. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.57.2.315>.
- Li YQ, Liu ZP, Yang YS, Zhao B, Fan ZF, Wan P. 2014. First report of *Bean common mosaic virus* infecting Azuki bean (*Vigna angularis*) in China. Plant Disease. 98:1017. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-14-0064-PDN>.
- Margis-Pinheiro M, Martin C, Didierjean L, Burkard G. 1993. Differential Expression of Bean Chitinase Genes by Virus Infection, Chemical Treatment and UV Irradiation. Plant Molecular Biology. 22(4):659-668. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00047406>.
- Mayer AM, Harel E, Ben-Shaul R. 1966. Assay of catechol oxidase—a critical comparison of methods. Phytochemistry. 5:783-789. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)83660-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)83660-2).
- Martinez-Medina A, Flors V, Heil M, Mauch-Mani B, Pieterse CMJ, Pozo MJ, Ton J, van Dam NM, Conrath U. 2016. Recognizing plant defense priming. Trends Plant Science. 21(10):818-822. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.009>.
- Megasari D, Damayanti TA, Santoso S. 2019. *Bean common mosaic virus* transmission inhibition by antifeedant chitosan against *Aphis craccivora* Koch. Jurnal Hortikultura. 29(2): 209-218. DOI: <https://doi.org/10.21082/jhort.v29n2.2019.p209-218>.
- Mohammadi MA, Cheng Y, Aslam M, Jakada BH, Wai MH, Ye K, He X, Luo T, Ye L, Dong C, Hu B MA, Cheng Y, Aslam M, Jakada BH, Wai MH, Ye K, He X, Luo T, Ye L, Dong C, Hu B. 2021. ROS and oxidative response system in plant under biotic and abiotic stress: revisiting the crucial role of phosphite triggered plants defense response. Frontier in Microbiology. 12:1-21. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.631318>.
- Mohamed NTS, Ding P, Ghazali HM, Kadir J. 2017. Biochemical and cell wall ultrastructural changes in crown tissue of banana (*Musa AAA 'Berangan'*) fruit as mediated by UVC irradiation against crown rot fungal infection. Postharvest Biology and Technology. 128:144-152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.02.004>.
- Mugiastuti E, Manan A. 2009. Pemanfaatan asap cair untuk mengendalikan *Fusarium oxysporum* dan *Meloidogyne* spp. Jurnal Pembangunan Pedesaan. 9(1):43-49.
- Mwaiippo B, Msolla SN, Njau PJR, Mark D, Mbanzibwa DR. 2018. Comprehensive surveys of *Bean common mosaic virus* and *Bean common mosaic necrosis virus* and molecular evidence for occurrence of other *Phaseolus vulgaris* viruses in Tanzania. Plant Disease. 102:2361-2370. DOI: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-18-0198-RE>.
- Naufal SM, Rumahlewang W, Tuhumury GNC. 2023. Pengujian Asap Cair Tempurung Kelapa Dalam Mengendalikan Patogen *Colletotrichum Gloeosporioides* Penyebab Penyakit Antraknosa Pada Cabai (*Capsicum annum* L.). Jurnal Agrosilvopasture-Tech. 2(2):449-455. DOI: <https://doi.org/10.30598/jbdp.2023.19.1.92>.
- Noel R, Benoit M, Wilder SL, Waller S, Schueller M, Ferrieri RA. 2022. Treatments with Liquid Smoke and Certain Chemical Constituents Prevalent in Smoke Reduce Phloem Vascular Sectoriality in the Sunflower with Improvement to Growth.

- International Journal of Molecular Sciences. 23(20):1-17. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232012468>.
- Nugroho A, Aisyah I. 2013. Efektivitas asap cair dari limbah tempurung kelapa sebagai biopestisida benih di gudang penyimpanan. Jurnal Penelitian Hasil Hutan. 31(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.20886/jphh.2013.31.1.1-8>.
- Nurrahmawan ME, Giyanto, Nawangsihn AA, Sulistiani E. 2021. Asap cair sebagai pemacu pertumbuhan dan ketahanan tanaman pisang terhadap *Ralstonia syzygii* subsp. *celebesensis*. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 17(5):183-194. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.17.5.183-194>.
- Pangestu E, Suswanto I, Supriyanto. 2014. Uji penggunaan asap cair tempurung kelapa dalam pengendalian *Phytophthora* sp. penyebab penyakit busuk buah kakao secara *in vitro*. Jurnal Perkebunan dan Lahan Tropika. 2(4):39-44. DOI: <https://doi.org/10.26418/plt.v4i2.9375>.
- Prasad HP, Shankar UAC, Shetty SH, Prakash HS. 2007. Management of *Bean common mosaic virus* strain *Blackeye cowpea mosaic* (BCMVB-BCMV) in cowpea using plant extracts. Archives of Phytopathology and Plant protection. 40(2):139-147. DOI: <https://doi.org/10.1080/03235400500356111>.
- Pratiwi RN, Tondok EF, Damayanti TA. Antimicrobe Activity of Empty Bunches of Palm Tree's Liquid Smoke against *Sclerotium rolfsii* Sacc. and *Puccinia arachidis* Speg. 1884. Agrivigor: Jurnal Agroekoteknologi. 18(1): 45-53. DOI: <https://doi.org/10.21107/agrovigor.v18i1.29632>.
- Rinika R, Damayanti TA, Wiyono S, Santoso S. 2023. Effect of endophyte fungi on the ability of *Aphis craccivora* Koch. in transmitting *Bean common mosaic virus*. IOP Conference Series: Earth Environmental Science. 1133(012042):1-6. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1133/1/012042>.
- Ristiani W, Yuniati R, Lestari R, Wardhana W. 2022. Application of Coconut Shell Liquid Smoke to Control Fusarium Wilt Disease on *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. AGRIVITA Journal of Agricultural Science. 44(1): 11-20. DOI: <https://doi.org/10.17503/agrivita.v44i1.2355>.
- Savatin DV, Gramegna G, Modesti V, Cervone F. 2014. Wounding in the plant tissue: the defense of dangerous passage. Frontier in Plant Sciences. 16(5):1-11. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00470>.
- Shankar ACU, Nayaka SC, Niranjan-Raj S, Kumar HB, Reddy MS, Niranjana SR, Prakash HS. 2009. Rhizobacteria-mediated resistance against the blackeye cowpea mosaic strain of *Bean common mosaic virus* in cowpea (*Vigna unguiculata*). Pest Management Science. 65(10): 1059-1064. DOI: <https://doi.org/10.1002/ps.1791>.
- Sofy AR, Dawoud RA, Sofy MR, Mohamed HI, Hmed AA, El-DougDoug NH. 2020. Improving Regulation of Enzymatic and Non-Enzymatic Antioxidants and Stress-Related Gene Stimulation in *Cucumber mosaic cucumovirus*-Infected Cucumber Plants Treated with Glycine Betaine, Chitosan and Combination. Molecules. 25(10):1-24. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25102341>.
- Susetio H, Hidayat SH. 2014. Respons Lima Varietas Kacang Panjang terhadap *Bean common mosaic virus*. Jurnal Fitopatologi Indonesia. 10(4): 112-118. DOI: <https://doi.org/10.14692/jfi.10.4.112>.
- Tang BY, Vertygo S, Lema AB, Swari WD. 2020. Analisis Laju Perkecambahan Kacang Tanah (*Arachis hypogaea* (L.) Merr.) yang Diberikan Kombinasi Perlakuan Suhu dan Lama Perendaman Asap Cair (*Liquid Smoke*). Jurnal Penelitian Pertanian Terapan. 20(1): 65-73. DOI: <https://doi.org/10.25181/jppt.v20i1.1482>.
- Vaghela B, Vashi R, Rajput K, Joshi R. 2022. Plant chitinase and their role in plant defense: A comprehensive review. Enzyme and Microbial Technology. 159(2):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2022.110055>.
- Villaécija-Aguilar JA, Hamon-Josse M, Carbonnel S, Kretschmar A, Schmidt C, Dawid C, Bennett T, Gutjahr C. 2019. SMAX1/SMXL2 regulate root and root hair development downstream of KAI2-mediated signalling in Arabidopsis. PLOS Genetics. 15(8):1-27. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1008327>.
- Wang L, Wang WX, Zeng L, Suo HC, Li CC, Shan JW, Liu JT, Luo HM, Li XB, Xiong XY. 2020. Characteristics and Differences of Polyphenol Oxidase, Peroxidase Activities and Polyphenol Content in Different Potato (*Solanum tuberosum*) Tubers. Applied Ecology and Environmental Research. 18(6):8171-8187. DOI: https://doi.org/10.15666/aeer/1806_81718187.
- Widajati E, Murniati E, Palupi ER, Kartika T, Suhartanto MR, Qadir A. 2013. *Dasar Ilmu dan Teknologi Benih*. Bogor (ID): IPB Press.
- Worral EA, Wamonje FO, Mukeshimana G, Harvey JJW, Carr JP, Mitter N. 2015. *Bean common mosaic virus* and *Bean common mosaic necrosis virus*: relationships, biology, and prospects for control. Advances in Virus Research. 93:1-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2015.04.002>.
- Zhu K, Gu S, Liu J, Luo T, Khan Z, Zhang K, Hu L. 2021. Wood vinegar as a complex growth regulator promotes the growth, yield, and quality of rapeseed. Agronomy. 11(3):1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030510>.