

## Sintesis, karakterisasi, dan pengujian aktivitas antifungi nanopartikel perak – cysteine secara *in vitro* terhadap *Ganoderma boninense*

*Synthesis, characterization, and in vitro antifungal activity assay of cysteine-silver nanoparticles against Ganoderma boninense*

Yora FARAMITHA<sup>\*</sup>), Firda DIMAWARNITA, Haryo Tejo PRAKOSO & SISWANTO

Pusat Penelitian Kelapa Sawit Unit Bogor, Jl. Taman Kencana No.1, Bogor 16128, Indonesia

Diterima tgl 13 Juli 2022/ Disetujui tgl 30 September 2022

### Abstract

*The application of silver nanoparticles as antifungal in the plantation sector is very potential to be developed. Silver nanoparticles conjugated with cysteine have the advantage of having low toxicity, making them safer for the environment. Until now, basal stem rot disease caused by a pathogenic fungus, Ganoderma boninense, has become a serious problem and causes economic losses in oil palm plantations. Studies related to the effect of silver nanoparticles on the control of G. boninense have not been widely studied. Therefore, the objectives of this research were to evaluate the stability of silver nanoparticles conjugated with L-cysteine (Cys-AgNPs) and to examine Cys-AgNPs ability in inhibiting the mycelial growth of G. boninense. Cysteine-silver nanoparticles were characterized using UV-Vis, particle size analyzer (PSA), and Fourier Transform Infrared (FTIR). The assay of Cys-AgNPs activity as an antifungal against G. boninense was carried out in vitro. As a result, cysteine-silver nanoparticles were successfully synthesized by producing a brownish-yellow color and maximum localized surface plasmon resonance (LSPR) absorbance in the range of 402 nm. There was an effect of L-cysteine concentration on the stability of Cys-AgNPs. The use of 0.01 M L-cysteine concentration resulted in Cys-AgNPs that were more stable and smaller in particle size than 0.001 M L-cysteine. Silver-cysteine nanoparticles inhibited the growth of G. boninense mycelia, with a highest percentage of mycelia inhibition observed from the application of Cys-AgNPs at 8 mg L<sup>-1</sup> on day 6 (65.17%).*

[Keywords: maximum absorbance, Cys-AgNPs, mycelial inhibition, stability of nanoparticles]

### Abstrak

Aplikasi nanopartikel perak sebagai antifungi di bidang perkebunan sangat potensial untuk dikembangkan. Nanopartikel perak yang dikongjugasi dengan *L-cysteine* memiliki keunggulan yaitu sifat toksisitas yang rendah sehingga lebih aman untuk lingkungan. Hingga saat ini, penyakit busuk pangkal batang pada perkebunan kelapa sawit yang disebabkan oleh cendawan patogen *Ganoderma boninense* masih menjadi permasalahan yang serius dan menyebabkan kerugian secara ekonomi. Studi terkait pengaruh nanopartikel perak terhadap pengendalian *G. boninense* masih belum banyak dikaji. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas nanopartikel perak yang dikongjugasikan dengan *L-cysteine* (Cys-AgNPs) dan menguji kemampuannya dalam menghambat pertumbuhan miselia *G. boninense*. Nanopartikel perak-cysteine dikarakterisasi menggunakan *UV-Vis*, *particle size analyzer* (PSA), dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Uji aktivitas Cys-AgNPs sebagai antifungi terhadap *G. boninense* dilakukan secara *in vitro*. Sebagai hasil, nanopartikel perak-cysteine berhasil disintesis dengan menghasilkan warna kuning kecoklatan dan absorbansi *localized surface plasmon resonance* (LSPR) maksimum pada kisaran 402 nm. Terdapat pengaruh konsentrasi *L-cysteine* terhadap stabilitas Cys-AgNPs. Penggunaan konsentrasi *L-cysteine* 0,01 M menghasilkan Cys-AgNPs yang lebih stabil dan ukuran partikel yang lebih kecil dibanding *L-cysteine* 0,001 M. Nanopartikel perak-cysteine mampu menghambat pertumbuhan miselia *G. boninense* dengan persentase penghambatan miselia tertinggi diamati dari aplikasi Cys-AgNPs 8 mg L<sup>-1</sup> pada hari ke-6 (65,17%).

[Kata kunci: absorbansi maksimum, Cys-AgNPs, penghambatan miselia, stabilitas nanopartikel]

<sup>\*</sup>) Penulis korespondensi: [yora.faramitha@gmail.com](mailto:yora.faramitha@gmail.com)

## Pendahuluan

Perkembangan nanoteknologi yang pesat di era ini membuat aplikasi nanoteknologi di bidang pertanian maupun perkebunan juga banyak diteliti. Salah satunya adalah aplikasi nanopartikel logam sebagai agen antifungi yang dapat menjadi alternatif solusi pengendalian penyakit pada tanaman. Penyakit tanaman yang diakibatkan oleh fungi patogen menjadi permasalahan serius dalam bidang pertanian karena dapat menyebabkan gagal panen dan kerugian ekonomi bagi petani. Fungi patogen dapat mengakibatkan kehilangan hasil pada tanaman pertanian sebesar 70-80% (Atiq et al., 2020). Oleh karena itu, upaya pengendalian penyakit tanaman sangat diperlukan untuk menghindari potensi kerugian tersebut.

Nanopartikel logam seperti nanopartikel perak (AgNPs) sangat potensial dikembangkan sebagai formula bahan aktif dalam membasmi fungi patogen karena memiliki aktifitas antifungi yang kuat (Krishnaraj et al., 2012; Kumar et al., 2022). Jian et al. (2022) melaporkan AgNPs dapat menghambat dan menekan aktifitas pertumbuhan *Fusarium graminearum* penyebab penyakit *Fusarium head blight* (FHB) pada tanaman sereal. Beberapa penelitian melaporkan AgNPs memiliki aktifitas antifungi yang kuat terhadap *Alternaria alternata* (Krishnaraj et al., 2012), *Botrytis cinerea* (Ouda, 2014), *Rhizoctonia solani* (Nejad et al., 2017) dan *Bipolaris Maydis* (Yi et al., 2021). Mekanisme toksisitas yang diinduksi AgNPs diduga kuat akibat pelepasan ion perak ( $Ag^+$ ) di dalam sel yang menstimulasi terbentuknya *reactive oxygen species* (ROS) dan mengakibatkan kerusakan sel (Yi et al., 2016).

Meskipun memiliki aktifitas antifungi yang kuat, AgNPs diduga kuat dapat menyebabkan efek yang merugikan bagi lingkungan karena bersifat toksik (Khalkho et al., 2020). Toksisitas AgNPs di lingkungan disebabkan karena pembentukan ion perak ( $Ag^+$ ) bebas dalam fase air akibat oksidasi partikel atau hasil residu dari sintesis AgNPs (Yi et al., 2016). Pelepasan ion perak bebas dapat diminimalisir melalui penambahan ligan untuk meningkatkan stabilitas nanopartikel. *L-cysteine* merupakan ligan kuat yang dapat berikatan dengan ion perak bebas sehingga dapat berfungsi untuk menstabilkan AgNPs (Pokhrel et al., 2013; Martin et al., 2021). *L-cysteine* merupakan salah satu jenis senyawa asam amino non esensial yang memiliki gugus fungsi *thiol* (-SH) pada susunan senyawanya yang dapat berikatan dengan permukaan nanopartikel. Beberapa penelitian melaporkan bahwa penambahan *L-cysteine* dalam proses sintesis AgNPs dapat melemahkan tingkat toksisitas dari AgNPs namun tetap memiliki aktifitas antimikroba yang baik (Pokhrel et al., 2013; Feng et al., 2016).

Fungi patogen yang sangat merugikan pada perkebunan kelapa sawit adalah *Ganoderma boninense*, penyebab penyakit busuk pangkal batang (BPB). Infeksi BPB pada perkebunan kelapa sawit dapat menyebabkan penurunan hasil panen akibat penurunan berat atau jumlah tandan buah segar dan bahkan kematian pada tanaman (Assis et al., 2016). Kamu et al. (2021) melaporkan kerugian ekonomi akibat serangan *G. boninense* pada perkebunan kelapa sawit diperkirakan dapat mencapai 68,73% berdasarkan perhitungan menggunakan *Bayesian Model Averaging* (BMA). Oleh sebab itu, serangan *G. boninense* merupakan ancaman yang serius bagi industri kelapa sawit.

Tanaman kelapa sawit yang terserang *G. boninense* baru dapat dideteksi secara visual setelah muncul tubuh buah *G. boninense* pada batang dan daun kelapa sawit yang menguning atau munculnya bintik-bintik pada pelepah batang yang menandakan pangkal batang telah terinfeksi secara internal sekitar 50% (Naheer et al., 2015; Maluin et al., 2019a). Basidiospora berperan dalam penyebaran penyakit BPB melalui pelepasan spora di udara yang menyebabkan penyakit mudah menyebar di tanah atau pohon di sekitarnya (Rees et al., 2012; Sahebi et al., 2015). *Ganoderma* sp. dapat dikendalikan melalui aplikasi fungisida organik (Widiastuti et al., 2016; Maluin et al., 2019a,b). Pengembangan nanopartikel sebagai agen fungisida dalam menghambat pertumbuhan *G. boninense* telah dilaporkan oleh Maluin et al. (2019a,b) yang menyatakan formulasi nanopartikel kitosan-dazomet dan nanopartikel kitosan-hexaconazole memiliki aktivitas antifungi yang kuat terhadap *G. boninense*. Adapun pengembangan dan pengujian aktivitas antifungi nanopartikel perak-cysteine (Cys-AgNPs) terhadap penghambatan pertumbuhan *G. boninense* belum pernah dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis dan mengevaluasi stabilitas Cys-AgNPs serta menguji aktivitas antifungi Cys-AgNPs dalam menghambat pertumbuhan miselia *G. boninense*.

## Bahan dan Metode

### Bahan kimia

Semua bahan kimia yang digunakan merupakan reagen tingkat analitis (*analytical reagent / AR*). Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk sintesis nanopartikel adalah perak nitrat ( $AgNO_3$ ,  $\geq 99\%$ ), sodium borohidrida ( $NaBH_4$ ,  $\geq 98\%$ ), dan *L-cysteine* (97%), diperoleh secara komersial dari Sigma Aldrich (Saint Louis, MO, USA). Air deionisasi yang digunakan untuk melarutkan semua bahan kimia diperoleh dari sistem Milli-DI (Merck Millipore, Darmstadt, Germany).

### Sintesis Cys-AgNPs

Nanopartikel perak- *cysteine* (Cys-AgNps) disintesis dengan mengacu metode yang telah dilaporkan sebelumnya dengan sedikit modifikasi (Khalkho *et al.*, 2020). Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis konsentrasi *L-cysteine* yang diuji, yaitu 0,01 dan 0,001 M. Prosedur sintesis dimulai dengan menyiapkan 100 mL larutan AgNO<sub>3</sub> 0,001 M dalam 250 mL labu Erlenmeyer, diaduk dengan kecepatan konstan 250 rpm pada suhu ruang. Selanjutnya, 1 mg NaBH<sub>4</sub> ditambahkan ke dalam larutan AgNO<sub>3</sub> dan larutan berubah warna menjadi kuning muda, yang menandakan nanopartikel perak mulai terbentuk. Setelah 10 menit, sebanyak 2 mL *L-cysteine* ditambahkan ke dalam larutan AgNPs dan larutan berubah warna menjadi kuning pekat yang mengindikasikan terbentuknya Cys-AgNPs. Hasil sintesis Cys-AgNPs disimpan di lemari pendingin pada suhu 5°C sampai kemudian digunakan untuk percobaan selanjutnya untuk menjaga stabilitas nanopartikel yang dihasilkan.

### Karakterisasi Cys-AgNPs

Konfirmasi Cys-AgNPs telah terbentuk dan stabilitas nanopartikel dapat dipastikan melalui pengamatan intensitas penyerapan pita LSPR pada kisaran 300-700 nm menggunakan *UV-Vis Spectrofotometer (UV-Visible Multiskan Go Microplate, Thermo Scientific)*. pH larutan Cys-AgNPs diukur menggunakan Docu-pH meter (Satorius). Distribusi ukuran nanopartikel dikarakterisasi menggunakan *Particle Size Analyzer (PSA)* (Horiba SZ 100z, Laboratorium ILRC Universitas Indonesia). Gugus fungsi penyusun Cys-AgNPs dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)* di Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM), BATAN.

### Perbanyak isolat *G. boninense*

Isolat *G. boninense* merupakan koleksi Pusat Penelitian Kelapa sawit Unit Bogor (PPKS Unit Bogor). Isolat diperbanyak menggunakan media *Potato Dextrose Agar (PDA)* dengan cara meletakkan secara aseptik isolat induk *G. boninense* berukuran 1 cm<sup>2</sup> pada bagian tengah cawan Petri. Selanjutnya, Petri diinkubasi pada suhu 28°C selama 5-7 hari. Biakan murni *G. boninense* kemudian digunakan untuk pengujian penghambatan pertumbuhan miselia.

### Uji aktifitas antifungi Cys-AgNPs terhadap *G. boninense*

Pengujian aktivitas antifungi Cys-AgNPs terhadap penghambatan pertumbuhan miselia *G. boninense* dilakukan berdasarkan metode Satish *et al.* (2007). Sebanyak 9 mL Media PDA dituang ke

dalam cawan Petri dan kemudian ditambahkan 1 mL Cys-AgNPs dengan variasi konsentrasi akhir pada campuran media menjadi 2, 4, 6, 8, dan 10 mg L<sup>-1</sup>. Sebagai kontrol (Cys-AgNPs 0 mg L<sup>-1</sup>), digunakan 1 mL aquadest steril. Petri digoyang secara orbital agar campuran media homogen. Setelah media menjadi padat, biakan murni *G. boninense* dengan ukuran 1 cm<sup>2</sup> secara aseptik diletakkan di bagian tengah Petri dan kemudian diinkubasi pada suhu ruang. Pengambilan data berupa diameter koloni dilakukan setiap 3 hari sampai diameter koloni pada kontrol memenuhi permukaan Petri. Persentase penghambatan koloni *G. boninense* dari tiap perlakuan dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Penghambatan koloni (\%)} = \frac{C-T}{C} \times 100 \dots \dots (1)$$

C = diameter koloni *G. boninense* pada media kontrol negatif (cm)

T = diameter koloni *G. boninense* pada media PSA yang mengandung Cys-AgNPs (cm)

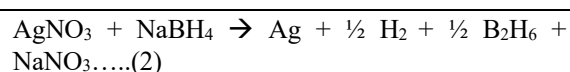
### Analisis statistik

Data pertumbuhan dan penghambatan koloni *G. boninense* dianalisis menggunakan analisis ragam dua arah (*two-way ANOVA*) ( $p < 0,05$ ). Uji *Duncan Multiple Range Test (DMRT)* kemudian digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan antar perlakuan.

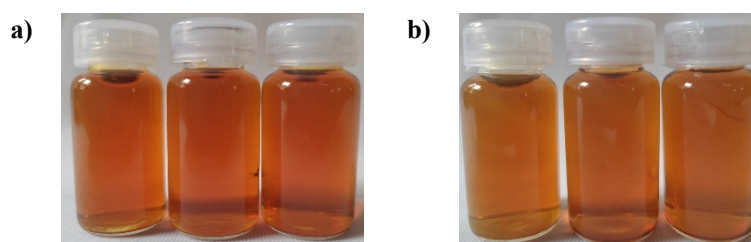
## Hasil dan Pembahasan

### Sintesis dan karakterisasi Cys-AgNPs

Nanopartikel Cys-AgNps berhasil disintesis pada suhu ruang dengan menggunakan pereduksi NaBH<sub>4</sub>. Proses sintesis yang sederhana, cepat, dan dilakukan pada suhu ruang merupakan keunggulan dari metode sintesis AgNPs yang dipilih. Beberapa metode sintesis AgNPs dilakukan dalam wadah es atau kondisi dingin (0°C) dengan tujuan memperlambat proses reaksi pembentukan nanopartikel (Mulfinger *et al.*, 2007; Mavani & Shah, 2013). Sebaliknya, terdapat pula nanopartikel perak yang disintesis pada suhu 100°C saat menggunakan pereduksi trisodium sitrat (Ravindran *et al.*, 2013) dan pada suhu 60°C saat menggunakan pereduksi NaOH (Martin *et al.*, 2021), dengan waktu sintesis yang cenderung lama. Reaksi kimia pembentukan nanopartikel perak dari proses reduksi AgNO<sub>3</sub> menggunakan NaBH<sub>4</sub> dapat ditulis sebagai berikut (Mulfinger *et al.*, 2007):



Nanopartikel Cys-AgNPs yang berhasil disintesis menghasilkan warna kuning kecoklatan (Gambar 1). Terdapat sedikit perbedaan warna yang diamati pada Cys-AgNPs dengan konsentrasi



Gambar 1. Nanopartikel perak yang dimodifikasi *L-cysteine* dengan konsentrasi: a) 0,01 M dan b) 0,001 M (sesaat setelah sintesis)

Figure 1. *L-cysteine* modified silver nanoparticles with *L-cysteine* concentration: a) 0.01 M and b) 0.001 M (freshly synthesized)

diamati pada Cys-AgNPs dengan konsentrasi *L-cysteine* yang berbeda. Penggunaan 0,01 M *L-cysteine* (Gambar 1a) menghasilkan nanopartikel dengan warna sedikit lebih pekat dibanding penggunaan 0,001 M *L-cysteine* (Gambar 1b).

Hasil yang diperoleh berbeda dengan hasil penelitian Khalkho *et al.*, (2020), dimana warna yang dihasilkan cenderung berwarna kuning pekat (*intense yellow*). Perbedaan warna yang dihasilkan diduga karena proses sintesis tidak dilakukan dalam keadaan vakum. Meskipun begitu, warna kuning kecoklatan masih tergolong ke dalam ciri warna nanopartikel perak.

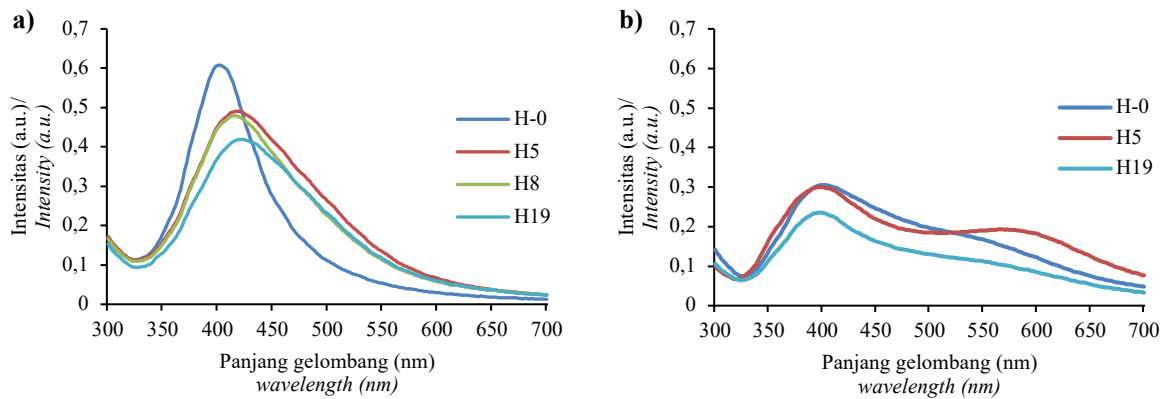
Spektrum UV-Vis Cys-AgNPs dari dua konsentrasi *L-cysteine* yang berbeda menunjukkan puncak absorpsi LSPR pada kisaran 400-402 nm (Gambar 2). Puncak pada perlakuan *L-cysteine* 0,01 M lebih tinggi dan sempit dibanding puncak p *L-cysteine* 0,001 M, yang mengindikasikan cys-AgNPs perlakuan *L-cysteine* 0,01 M mempunyai nanopartikel yang lebih baik. Berdasarkan hasil uji stabilitas nanopartikel, puncak plasmon pada kedua perlakuan tidak stabil. Pada Gambar 2a, terjadi penurunan, pelebaran, dan pergeseran puncak ke kanan seiring lamanya waktu penyimpanan nanopartikel. Pada Gambar 2b, selain penurunan puncak, juga terbentuk puncak plasmon kedua pada rentang 600 nm yang mengindikasikan bahwa sebagian nanopartikel beragregasi membentuk partikel. Nanopartikel yang stabil dibutuhkan agar dapat disimpan dalam waktu yang lama. Namun, nanopartikel yang dapat beragregasi cocok diaplikasikan sebagai deteksi kolorimetri senyawa biomolekul (Ravindran *et al.*, 2013).

Gambar 3 menunjukkan distribusi ukuran Cys-AgNPs. Terlihat pada Gambar 3a nanopartikel perak termodifikasi cysteine dengan konsentrasi 0,01 M memiliki ukuran partikel pada kisaran 75 nm, sedangkan nanopartikel perak termodifikasi cysteine dengan konsentrasi 0,001 M memiliki ukuran yang lebih besar pada kisaran 150 nm seperti terlihat pada Gambar 3b.

Temuan ini sesuai dengan karakterisasi sebelumnya dimana Cys-AgNPs dapat terbentuk lebih optimal dengan cysteine pada konsentrasi 0,01 M. Oleh karena itu, berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan UV-Vis dan PSA, kami memutuskan untuk menggunakan *L-cysteine* 0,01 M dalam proses sintesis Cys-AgNPs.

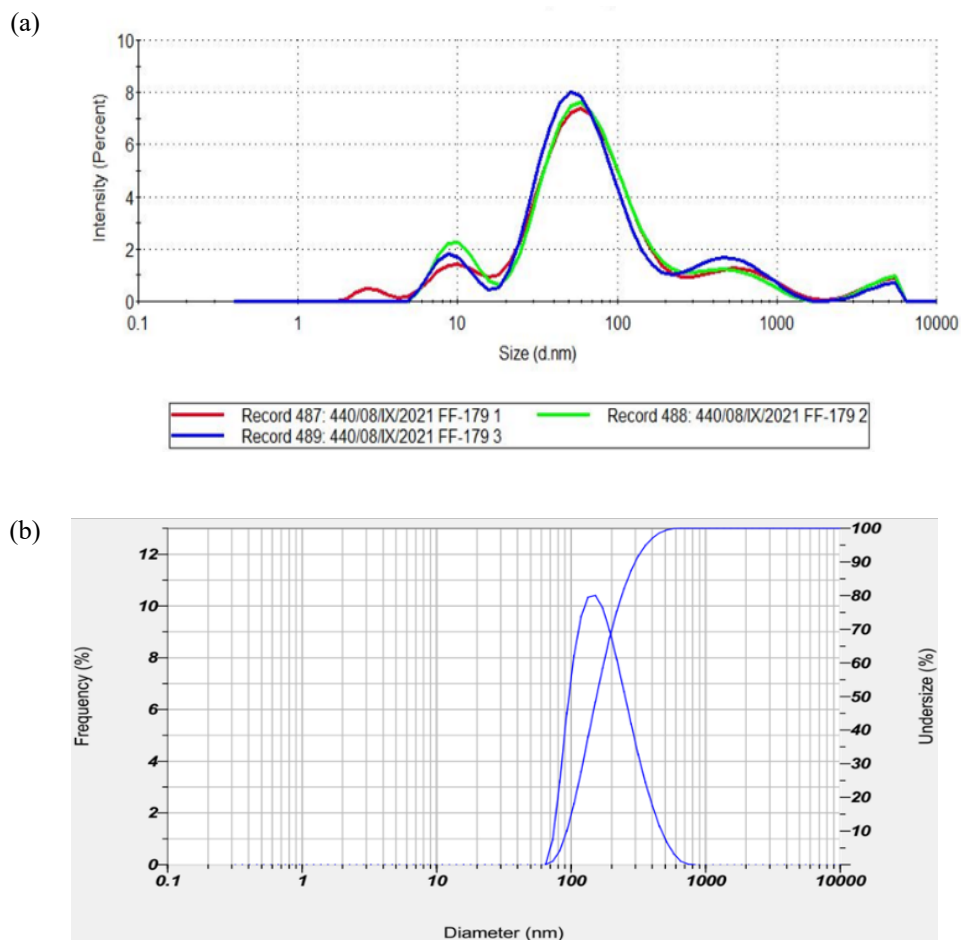
Kestabilan Cys-AgNPs juga diamati dengan melihat spectra UV-Vis setelah penyimpanan. Gambar 4 menunjukkan spectra UV-Vis sampel koloid Cys-AgNPs (0,01 M cysteine) yang telah disimpan selama 2,5 bulan di suhu 4°C masih berwarna kuning kecoklatan dengan puncak plasmon pada 416 nm. Meskipun puncaknya bergeser sedikit ke kanan, dari 402 ke 416 nm, namun tetap masih termasuk dalam kisaran puncak plasmon untuk AgNPs, yaitu 390-450 nm (Mulfinger *et al.*, 2007; Martin *et al.*, 2021).

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi adanya ikatan antara Cystein dan Ag partikel nano. Gambar 5 memperlihatkan hasil uji FTIR dari *L-cysteine* dan ketika sudah dicampur dengan Ag partikel nano (Cys-AgNPs). Puncak pada panjang gelombang sekitar 1400 cm<sup>-1</sup> merupakan perwakilan dari gugus COO<sup>-</sup> sedangkan puncak-puncak yang berada di antara 1400-1600 cm<sup>-1</sup> merupakan hasil dari *bending* N-H. Gugus S-H diwakili oleh puncak pada panjang gelombang 2500 cm<sup>-1</sup>. Puncak ini menurun pada sampel Cys-AgNPs, mengindikasikan S beralih untuk membentuk ikatan dengan Ag (Martin *et al.*, 2021). Secara umum, puncak-puncak yang mewakili ikatan antar Ag partikel nano tidak dapat diperlihatkan dengan jelas pada grafik ini karena FTIR yang digunakan adalah *mid-infrared* yang berkisar pada rentang 400-4000 cm<sup>-1</sup>. Hanya puncak kecil pada panjang gelombang 1750 cm<sup>-1</sup> yang dapat mengkonfirmasi adanya ikatan antara S-Ag. Puncak ini didapati grafik Cys-AgNPs (Gambar 5, garis hitam) dan mengkonfirmasi adanya ikatan antara Ag dan *L-cysteine* yang terbentuk. Kombinasi karakterisasi lain seperti UV-Vis akan dapat mengkonfirmasi lebih jelas ikatan Ag partikel nano dengan gugus lainnya.



Gambar 2. Spektrum UV-Vis Cys-AgNPs yang disimpan pada suhu 4°C pada hari ke 0,5,8, dan 19. a) penambahan *L-cysteine* 0,01 M dan b) penambahan *L-cysteine* 0,001 M

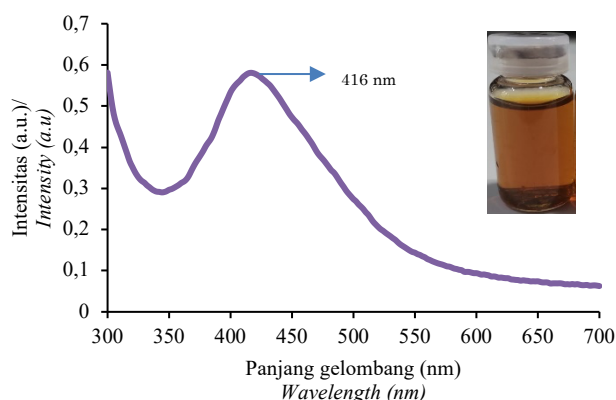
Figure 2. UV-Vis spectra of Cys-AgNPs stored at 4°C on days 0,5, 8, and 19. a) addition of 0.01 M *L-cysteine* and b) addition of 0.001 M *L-cysteine*



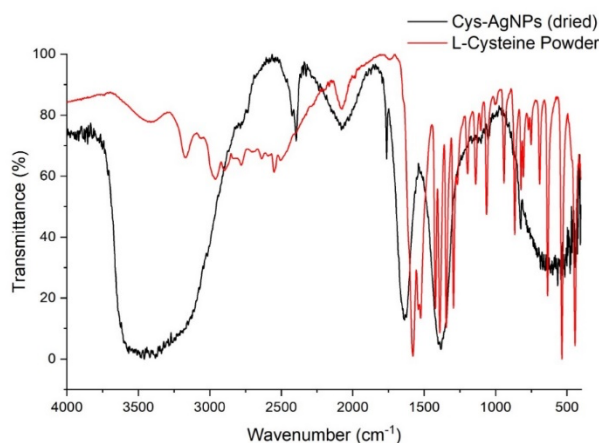
Gambar 3. Distribusi ukuran partikel sampel nanopartikel perak yang dimodifikasi *L-cysteine* dengan konsentrasi: a) 0,01 M dan b) 0,001 M

Figure 3. Particle size distribution of *L-cysteine* modified silver nanoparticles with concentrations of: a) 0.01 M and b) 0.001 M





Gambar 4. Spektrum UV- Vis Cys-AgNPs (0,01 M cysteine) yang telah disimpan selama 2,5 bulan di suhu 4°C  
 Figure 4. UV-Vis spectrum of Cys-AgNPs (0.01 M cysteine), which had been stored for 2.5 months at 4°C

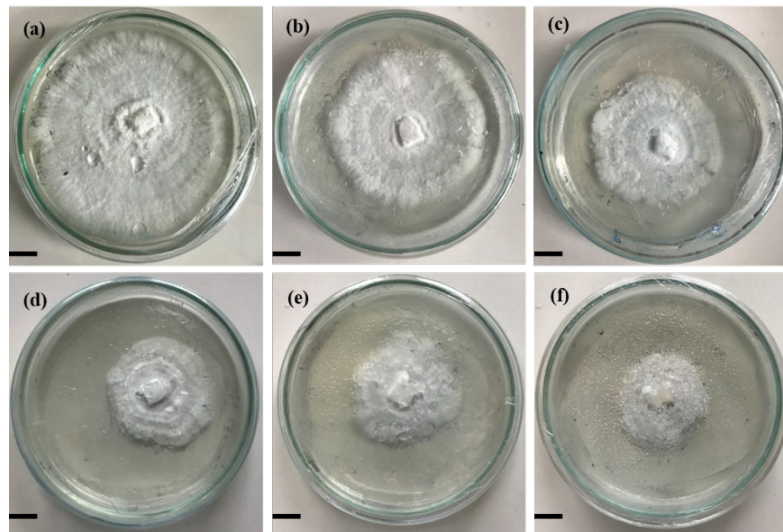


Gambar 5. Spektrum FTIR dari senyawa murni L-cysteine (garis merah) dan Cys-AgNPs (garis hitam)  
 Figure 5. FTIR spectra of pure compound L-cysteine (red line) and Cys-AgNPs (black line)

*Aktivitas antifungi Cys-AgNPs secara in vitro terhadap G. boninense*

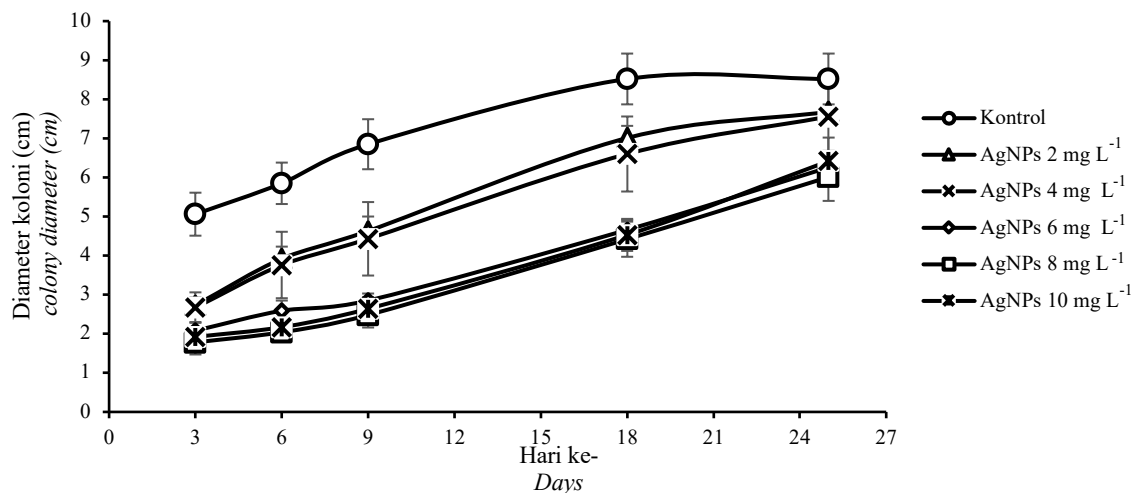
Aktivitas antifungi Cys-AgNPs diamati dari pertumbuhan miselium *G. boninense* pada media PDA yang mengandung Cys-AgNPs dengan konsentrasi bervariasi. Evaluasi aktivitas antifungi meliputi pengamatan visual dan persentase penghambatan koloni. Gambar 6 menunjukkan terdapatnya perbedaan pertumbuhan miselia *G. boninense* pada media PDA murni dan pada media yang ditambahkan Cys-AgNPs. Miselia *G. boninense* memenuhi permukaan media PDA murni pada hari ke-18 dengan diameter 8,52 cm (Gambar 6a). Sementara itu, pertumbuhan miselia *G. boninense* cenderung terhambat pada media PDA yang mengandung Cys-AgNPs, khususnya pada

perlakuan media PDA yang mengandung Cys-AgNPs 6-10 mg L<sup>-1</sup>, dengan kisaran diameter miselia sebesar 4,53 - 4,66 cm (Gambar 6d-f). Perbandingan diameter koloni *G. boninense* pada media PDA dengan konsentrasi Cys-AgNPs bervariasi dimuat pada Gambar 7. Penambahan Cys-AgNPs pada media PDA menunjukkan hasil semakin besar konsentrasi Cys-AgNPs yang ditambahkan maka pertumbuhan *G. boninense* pada Petri cenderung semakin kecil. Hasil ini menunjukkan adanya pengaruh penghambatan dari Cys-AgNPs terhadap pertumbuhan miselia *G. boninense*. Nanopartikel yang berukuran kecil membuat luas permukaan yang kontak dengan *G. boninense* lebih banyak, sehingga dapat menghambat pertumbuhan *G. boninense* (Raimondi et al., 2005).



Gambar 6. Pertumbuhan miselia *G. boninense* pada media PDA yang mengandung konsentrasi Cys-AgNPs yang bervariasi pada hari ke-18: (a) kontrol; (b) 2 mg L<sup>-1</sup>; (c) 4 mg L<sup>-1</sup>; (d) 6 mg L<sup>-1</sup>; (e) 8 mg L<sup>-1</sup>; (f) 10 mg L<sup>-1</sup>. Skala garis = 1 cm

Figure 6. Mycelial growth of *G. boninense* on PDA media containing various concentrations of Cys-AgNPs on 18<sup>th</sup> days: (a) control; (b) 2 mg L<sup>-1</sup>; (c) 4 mg L<sup>-1</sup>; (d) 6 mg L<sup>-1</sup>; (e) 8 mg L<sup>-1</sup>; (f) 10 mg L<sup>-1</sup>. Line scale = 1 cm



Gambar 7. Pertumbuhan koloni *G. boninense* pada media PDA yang mengandung konsentrasi Cys-AgNPs yang berbeda: 0, 2, 4, 6, 8, dan 10 mg L<sup>-1</sup>

Figure 7. Mycelial Growth of *G. boninense* on PDA media containing different concentrations of Cys-AgNPs: 0, 2, 4, 6, 8, and 10 mg L<sup>-1</sup>

Persentase penghambatan AgNPs terhadap pertumbuhan *G. boninense* dimuat pada Tabel 1. Berdasarkan hasil uji ANOVA didapatkan nilai signifikansi <0,05 yang berarti terdapat beda nyata pada perlakuan yang dicoba, sehingga dilakukan uji lanjut DMRT. Persentase penghambatan miselia *G. boninense* tertinggi (65,17%) diperoleh pada hari ke-6 pengamatan dari perlakuan penambahan Cys-AgNPs 8 mg L<sup>-1</sup> (Tabel 1). Nilai yang diperoleh berbeda nyata dengan perlakuan Cys-AgNPs 2, 4 dan 6 mg L<sup>-1</sup> pada hari pengamatan yang sama. Selain itu, persen penghambatan dari perlakuan Cys-AgNPs 8 mg L<sup>-1</sup> selalu tertinggi di semua hari

pengamatan (>60% hingga hari ke-9), meskipun tidak berbeda nyata dengan 6 mg L<sup>-1</sup>. Secara keseluruhan, penurunan persentase penghambatan diamati pada hari ke-18 untuk semua perlakuan konsentrasi Cys-AgNPs. Hal ini mengindikasikan terjadinya penurunan kemampuan aktivitas antifungi Cys-AgNPs dari waktu ke waktu. Arciniegas-Grijalba *et al.* (2017) juga melaporkan adanya penurunan kemampuan aktivitas antifungi dari nanopartikel ZnO dari waktu ke waktu dalam menghambat pertumbuhan miselia *Erythricium salmonicolor*; tanpa sepenuhnya menghilangkan kemampuan penghambatannya.

Tabel 1. Penghambatan pertumbuhan koloni *G. boninense* pada media PDA yang mengandung Cys-AgNPs  
 Table 1. Mycelial growth inhibition of *G. boninense* on PDA media containing Cys-AgNPs

Konsentrasi Cys-AgNPs (mg L <sup>-1</sup> ) Cys-AgNPs concentration (mg L <sup>-1</sup> )	Penghambatan miselia pada hari ke- (%) Mycelia inhibition on day – (%)			
	3	6	9	18
2	45,99 <sup>b</sup>	33,01 <sup>d</sup>	32,48 <sup>c</sup>	17,76 <sup>c</sup>
4	50,50 <sup>b</sup>	48,08 <sup>c</sup>	43,07 <sup>b</sup>	29,05 <sup>b</sup>
6	58,89 <sup>a</sup>	55,72 <sup>b</sup>	58,39 <sup>a</sup>	45,34 <sup>a</sup>
8	64,93 <sup>a</sup>	65,17 <sup>a</sup>	63,87 <sup>a</sup>	48,13 <sup>a</sup>
10	62,04 <sup>a</sup>	62,93 <sup>a</sup>	61,50 <sup>a</sup>	46,88 <sup>a</sup>

Nanopartikel telah dimanfaatkan dalam penghambatan patogen yang disebabkan oleh bakteri, jamur, virus, actinomycetes, nematoda, dan patogen lainnya (Liang *et al.*, 2018). Mekanisme nanopartikel menghambat patogen adalah dengan penurunan tingkat infeksi, menginduksi resistensi sistematis, menyerang protein permukaan, menurunkan faktor seluler, menghambat replikasi DNA, menekan aktivitas polimerase yang dapat dilihat semakin kecilnya miselium yang tumbuh. Menurut Tripathi *et al.* (2017), AgNPs menyebabkan pemblokiran senyawa apoplastik dengan menghambat melalui pori-pori pada plasmodesmata atau dinding sel, akibatnya membatasi aliran apoplastik nutrisi dan air, sehingga jamur akan mengecil dan lama kelamaan mati.

### Kesimpulan

Nanopartikel perak yang dikonjugasi dengan *L-cysteine* 0,01 M menghasilkan nanopartikel yang stabil dengan absorbansi LSPR maksimum pada kisaran 402 nm dan rata-rata ukuran partikel pada 75 nm. Konsentrasi Cys-AgNPs terbaik untuk menghambat miselia *G. boninense* adalah 8 mg L<sup>-1</sup> dengan persen penghambatan mencapai 65,17% pada hari ke-6 pengamatan.

### Ucapan Terimakasih

Penelitian ini terlaksana atas dukungan biaya dari Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) periode tahun 2021-2022. Kami juga ucapkan terima kasih kepada saudari Khairy Yunda Maharani, Indriana Putri Damaiyanti, dan Natasya Dwi Ramadhani yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian.

### Daftar Pustaka

Arciniegas-Grijalba PA, MC Patiño-Portela, LP Mosquera-Sánchez, JA Guerrero-Vargas & JE Rodríguez-Páez (2017). ZnO nanoparticles (ZnO-NPs) and their antifungal activity against

coffee fungus *Erythricium salmonicolor*. *Applied Nanoscience* 7(5), 225-241.

Assis K, KP Chong, AS Idris, & CM Ho (2016). Economic loss due to Ganoderma disease in oil palm. In *Proceeding of Indonesia Conference on Mathematics, Statistics and Scientific Computing, Kuala Lumpur* (Vol. 11, p. 12).

Atiq M, I Naeem, ST Sahi, NA Rajput, E Haider, M Usman, H Shahbaz, K Fatima, E Arif & A Qayyum (2020). Nanoparticles: A safe way towards fungal diseases. *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 53(17-18), 781-792.

Jian Y, X Chen, T Ahmed, Q Shang, S Zhang, Z Ma & Y Yin (2022). Toxicity and action mechanisms of silver nanoparticles against the mycotoxin-producing fungus *Fusarium graminearum*. *J Adv Res* 38, 1-12.

Kamu A, CK Phin, IA Seman, D Gabda & HC Mun (2021). Estimating the yield loss of oil palm due to Ganoderma basal stem rot disease by using bayesian model averaging. *Journal of Oil Palm Research* 33(1), 46-55.

Khalkho BR, R Kurrey, MK Deb, K Shrivastava, SS Thakur, S Pervez & VK Jain (2020). L-cysteine modified silver nanoparticles for selective and sensitive colorimetric detection of vitamin B1 in food and water samples. *Heliyon* 6(2), e03423.

Krishnaraj C, R Ramachandran, K Mohan & PT Kalaichelvan (2012). Optimization for rapid synthesis of silver nanoparticles and its effect on phytopathogenic fungi. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 93, 95-99.

Kumar A, A Choudhary, H Kaur, S Guha, S Mehta & A Husen (2022). Potential applications of engineered nanoparticles in plant disease management: a critical update. *Chemosphere* 295, 133798.



- Liang W, A Yu, G Wang, F Zheng, J Jia & H Xu (2018). Chitosan-based nanoparticles of avermectin to control pine wood nematodes. *Int J Biol Macromol* 112, 258-263. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.01.174
- Maluin FN, MZ Hussein, NA Yusof, S Fakurazi, AS Idris, NHZ Hilmi & LDJ Daim (2019a). Preparation of chitosan-hexaconazole nanoparticles as fungicide nanodelivery system for combating Ganoderma disease in oil palm. *Molecules*, 24(13), 2498. DOI: 10.3390/molecules24132498
- Maluin FN, MZ Hussein, NA Yusof, S Fakurazi, AS Idris, NHZ Hilmi & LDJ Daim (2019b). A potent antifungal agent for basal stem rot disease treatment in oil palms based on chitosan-dazomet nanoparticles. *International journal of molecular sciences* 20(9), 2247.
- Martin AA, EK Fodjo, GBI Marc, T Albert & C Kong (2021). Simple and rapid detection of free 3-monochloropropane-1, 2-diol based on cysteine modified silver nanoparticles. *Food Chem* 338, 127787.
- Mavani K & M Shah (2013). Synthesis of silver nanoparticles by using sodium borohydride as a reducing agent. *Int J Eng Res Tech* 2(3), 1-5.
- Mulfinger L, SD Solomon, M Bahadory, AV Jeyarajasingam, SA Rutkowsky & C Boritz (2007). Synthesis and study of silver nanoparticles. *J Chem Educ* 84(2), 322.
- Naher L, S Siddiquee, UK Yusuf & MMA Mondal (2015). Issues of *Ganoderma* spp. and basal stem rot disease management in oil palm. *American Journal of Agricultural Science*, 2(3), 103-107.
- Nejad SM, GHS Bonjar, M Khatami, A Amini & S Aghighi (2017). In vitro and in vivo antifungal properties of silver nanoparticles against *Rhizoctonia solani*, a common agent of rice sheath blight disease. *IET nanobiotechnology* 11(3), 236-240.
- Ouda SM (2014). Antifungal activity of silver and copper nanoparticles on two plant pathogens, *Alternaria alternata* and *Botrytis cinerea*. *Research Journal of Microbiology* 9(1), 34.
- Pokhrel LR, B Dubey & PR Scheuerman (2013). Impacts of select organic ligands on the colloidal stability, dissolution dynamics, and toxicity of silver nanoparticles. *Environmental science & technology* 47(22), 12877-12885.
- Raimondi F, GG Scherer, R Kötzt & A Wokaun (2005). Nanoparticles in energy technology: examples from electrochemistry and catalysis. *Angew Chem Int Ed* 44(15), 2190-2209. DOI: 10.1002/anie.200460466
- Ravindran A, SP Dhas, N Chandrasekaran & A Mukherjee (2013). Differential interaction of silver nanoparticles with cysteine. *J Exp Nanosci* 8(4), 589-595.
- Rees RW, J Flood, Y Hasan, MA Wills & RM Cooper (2012). *Ganoderma boninense* basidiospores in oil palm plantations: evaluation of their possible role in stem rots of *Elaeis guineensis*. *Plant pathology* 61(3), 567-578.
- Sahebi M, MM Hanafi, MY Wong, AS Idris, P Azizi, MF Jahromi & H Mohidin (2015). Towards immunity of oil palm against *Ganoderma* fungus infection. *Acta Physiol Plant* 37(10), 1-16. DOI: 10.1007/s11738-015-1939-z.
- Satish S, DC Mohana, MP Ranhavendra & KA Raveesha (2007). Antifungal activity of some plant extracts against important seed borne pathogens of *Aspergillus sp.* *J Agric Technol* 3(1), 109-119.
- Tripathi DK, A Tripathi, S Singh, Y Singh, K Vishwakarma, G Yadav & DK Chauhan (2017). Uptake, accumulation and toxicity of silver nanoparticle in autotrophic plants, and heterotrophic microbes: a concentric review. *Front Microbiol* 8, 07. DOI: 10.3389/fmicb.2017.00007
- Widiastuti H, DD Eris & D Santoso (2016). Potensi fungisida organik untuk pengendalian *Ganoderma* pada tanaman kelapa sawit. *Menara Perkebunan* 84(2), 98-105.
- Yi F, G Chen, G Zeng, Z Guo, W Liu, Z Huang, K He & L Hu (2016). Influence of cysteine and bovine serum albumin on silver nanoparticle stability, dissolution, and toxicity to *Phanerochaete chrysosporium*. *RSC advances* 6(108), 106177-106185.
- Yi Y, C Wang, X Cheng, K Yi, W Huang & H Yu (2021). Biosynthesis of silver nanoparticles by *Conyza canadensis* and their antifungal activity against *Bipolaris maydis*. *Crystals* 11(12), 1443.