



PRIMING NANOPARTIKEL PERAK (AgNPs) UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI DAN MUTU BENIH KEDELAI PADA CEKAMAN BIOTIK DAN ABIOTIK

SUBHAN ARRIDHO



**PROGRAM STUDI AGRONOMI DAN HORTIKULTURA
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “*Priming Nanopartikel Perak (AgNPs) untuk Peningkatan Produksi dan Mutu Benih Kedelai pada Cekaman Biotik dan Abiotik*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Desember 2025

Subhan Arridho

A2602211005



RINGKASAN

SUBHAN ARRIDHO. *Priming* Nanopartikel Perak (AgNPs) untuk Peningkatan Produksi dan Mutu Benih Kedelai pada Cekaman Biotik dan Abiotik. Dibimbing oleh SATRIYAS ILYAS sebagai ketua komisi, ABDUL QADIR, ENY WIDAJATI, dan TRI ASMIRA DAMAYANTI sebagai anggota komisi pembimbing.

Kedelai (*Glycine max* L.) merupakan salah satu tanaman pangan penting di Indonesia setelah padi dan jagung, permintaannya cenderung meningkat tetapi produktivitasnya masih rendah. Di antara penyebabnya adalah perubahan iklim dan serangan patogen yang menimbulkan stres sistemik bagi tanaman kedelai. Nanopartikel perak (AgNPs) menarik perhatian banyak para peneliti untuk mengatasi permasalahan cekaman abiotik dan biotik yang dialami oleh tanaman, terutama yang berbasis biosintesis. Penggunaan formulasi AgNPs ini sangat perlu untuk dikaji bagaimana efek positif dan negatifnya bagi tanaman kedelai. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan formulasi AgNPs berbasis ekstrak daun mimba, menguji keefektifannya dalam meningkatkan mutu fisiologis dan kesehatan benih, pertumbuhan dan hasil tanaman, serta ketahanan tanaman pada cekaman kekeringan, penyimpanan, dan infeksi virus.

Biosintesis AgNPs dilakukan dengan mencampurkan larutan AgNO_3 1 mM dan ekstrak daun mimba. Karakterisasi AgNPs menggunakan spektrofotometer UV-Vis, PSA, TEM, SEM-EDX, FTIR *spectrometer*, dan *X-Ray Diffractometer*. Keefektifan AgNPs pada perkecambahan dan kesehatan benih diuji dengan metode *priming* AgNP (4, 8, 12, dan 15 ppm). Konsentrasi yang terbaik dari pengujian tersebut digunakan untuk uji keefektifan AgNPs terhadap pertumbuhan, hasil, dan ketahanan tanaman kedelai pada berbagai tingkat cekaman kekeringan dengan menggunakan metode *priming* dan pelapisan benih. Selanjutnya *priming* dan pelapisan benih dengan AgNPs diuji keefektifannya terhadap daya simpan dan kesehatan benih kedelai pada penyimpanan terbuka (suhu $27^\circ\text{--}29,7^\circ\text{C}$, RH 62–79%, kemasan plastik) selama 6 bulan. Terakhir, keefektifan AgNPs diuji terhadap ketahanan tanaman kedelai pada infeksi CMV-S menggunakan metode penyemprotan daun (50 dan 60 ppm).

Hasil percobaan pertama dimulai dengan karakterisasi partikel yang menunjukkan bahwa AgNPs berbentuk bulat, puncak absorbansi $\lambda=414$ nm, ukuran *z-average* 43,9 nm, indeks polidispersitas 0,322, *zeta potential* -28,8 mV. AgNPs dikonfirmasi terdiri atas 55,9% unsur Ag dengan struktur kristalit yang teratur, dan sisanya berupa unsur C, O, dan N berasal dari ekstrak daun mimba yang mengandung gugus hidroksil, karboksil dan amida, yang berfungsi sebagai reduksi dan *capping agent* dalam proses biosintesis. Pengujian keefektifan *nanopriming* dengan konsentrasi AgNP 15 ppm mampu meningkatkan viabilitas benih (potensi tumbuh maksimum), vigor benih (pemunculan radikula), dan mengurangi persentase benih mati.

Hasil percobaan kedua menunjukkan bahwa aplikasi AgNP 15 ppm melalui *priming* dan pelapisan benih menyebabkan penurunan tinggi tanaman, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan volume akar. Tanaman mengalami stres oksidatif yang dibuktikan dengan meningkatnya kadar malondialdehida (MDA) setelah perlakuan AgNPs dan cekaman kekeringan. Aplikasi AgNPs meningkatkan ketahanan tanaman kedelai dengan mengendalikan sistem osmoregulasi (prolin) untuk mengurangi dampak negatif akibat stres oksidatif. Aktivitas enzim katalase (CAT) mengalami penurunan pada tingkat cekaman kekeringan sedang (KL 60%) dan berat (KL 40%).

Hasil percobaan ketiga menunjukkan bahwa *priming* dan pelapisan AgNP 15 ppm memiliki efek positif pada tanaman kedelai dengan mempertahankan pertumbuhan tanaman dan hasil kedelai pada kondisi cekaman kekeringan. *Priming* dan pelapisan benih dengan AgNPs menyebabkan keterlambatan inisiasi pembungaan dibandingkan dengan tanpa AgNPs. Tanaman kedelai beradaptasi pada cekaman kekeringan dengan mengurangi jumlah daun dan meningkatkan klorofil daun (indeks hijau daun).

Hasil percobaan keempat menunjukkan bahwa *priming* dan pelapisan benih dengan AgNPs belum mampu mempertahankan daya simpan benih kedelai, karena kadar air benih yang tinggi saat disimpan. *Priming* benih dengan AgNPs meningkatkan pemunculan radikula dan menekan elektrokonduktivitas dibandingkan dengan kontrol hanya pada 0 bulan periode simpan. *Priming* benih dengan AgNPs menurunkan insidensi cendawan terbawa benih, sedangkan pelapisan benih tidak menunjukkan berbeda signifikan dengan kontrol selama 6 bulan periode simpan.

Hasil percobaan kelima menunjukkan bahwa perlakuan AgNPs dengan konsentrasi 60 ppm mampu memperpanjang waktu inkubasi, menekan insidensi penyakit, keparahan penyakit, dan titer virus. Penghambatan infeksi CMV-S ini terjadi karena adanya peran enzim peroksidase yang meningkat setelah diberi perlakuan AgNPs. Infeksi CMV-S pada tanaman kedelai menyebabkan penurunan kadar klorofil, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah polong, bobot polong, dan jumlah biji kedelai, dibandingkan dengan kontrol sehat. Perlakuan AgNP 60 ppm mampu mempertahankan kadar klorofil, pertumbuhan tanaman, dan hasil kedelai meskipun tanaman terinfeksi CMV-S.

Kata kunci: biosintesis AgNPs, infeksi CMV-S, ketahanan tanaman, penyimpanan benih, pertumbuhan tanaman, stres oksidatif



SUMMARY

SUBHAN ARRIDHO. Priming Silver Nanoparticles (AgNPs) to Enhance Soybean Seed Production and Quality under Biotic and Abiotic Stress. Supervised by SATRIYAS ILYAS as commission chairman, ABDUL QADIR, ENY WIDAJATI, and TRI ASMIRA DAMAYANTI as members of the advisory committee.

Soybeans (*Glycine max* L.) are one of the most important food crops in Indonesia after rice and corn, with demand tending to increase, but productivity remaining low. Among these causes are climate change and pathogen attacks, which induce systemic stress in soybean plants. Silver nanoparticles (AgNPs) have garnered significant attention from researchers as a potential solution to address the abiotic and biotic stresses faced by plants, particularly those derived from biosynthesis methods. The use of AgNPs formulations requires thorough investigation to understand their positive and negative effects on soybeans. This study aimed to develop AgNPs formulations based on mimba leaf extract and test their effectiveness in improving physiological quality and seed health, plant growth and yield, and plant resistance to drought stress, storage, and viral infection.

The biosynthesis of AgNPs was carried out by mixing a 1 mM AgNO₃ solution with neem leaf extract. Characterisation was performed using a UV-Vis spectrophotometer, PSA, TEM, SEM-EDX, FTIR spectrometer, and X-Ray Diffractometer. The effectiveness of AgNPs on seed germination and seed health was tested using the AgNP priming method (4, 8, 12, and 15 ppm). The optimal concentration from these tests was used to assess the effectiveness of AgNPs on soybean growth, development, yield, and drought tolerance under various drought stress levels using priming and seed coating methods. Furthermore, the effectiveness of AgNP priming and coating on soybean seed storage life and health was tested during 6 months of uncontrolled storage (temperature 27°–29,7°C, RH 62–79%, plastic packaging). Finally, the effectiveness of AgNPs on soybean plant resistance to viral infection was tested using foliar spray (50 and 60 ppm).

The first experiment began with particle characterisation, which showed that AgNPs were spherical in shape, with an absorbance peak at $\lambda = 414$ nm, a z-average size of 43.9 nm, a polydispersity index of 0.322, and a zeta potential of -28.8 mV. The AgNPs were confirmed to consist of 55.9% Ag with a regular crystalline structure, and the rest was composed of C, O, and N derived from the mimba leaf extract, which contained hydroxyl, carboxyl, and amide groups that functioned as reducing and capping agents in the biosynthesis process. Testing the effectiveness of nanopriming with a 15 ppm AgNP concentration increased seed viability (maximum growth potential), seed vigour (radicle emergence), and reduced the percentage of seed mortality.

The results of the second experiment showed that the application of 15 ppm AgNPs through seed priming and coating decreased plant height, shoot dry weight, root dry weight, and root volume. The plants experienced oxidative stress, as

evidenced by increased malondialdehyde (MDA) levels after AgNPs treatment and drought stress. The application of AgNPs increased the resistance of soybean plants by controlling the osmoregulation system (proline) to reduce the adverse effects of oxidative stress. Catalase (CAT) enzyme activity decreased under moderate (KL 60%) and severe (KL 40%) drought stress.

The results of the third experiment showed that seed priming and coating with 15 ppm AgNPs had a positive effect on soybean plants by maintaining plant growth and yield under drought stress conditions. Seed priming and coating with AgNPs delayed flowering initiation compared to that without AgNPs. Soybean plants adapt to drought stress by reducing the number of leaves and increasing leaf chlorophyll (leaf green index).

The results of the fourth experiment showed that seed priming and coating with AgNPs could not maintain seed storability because of the high moisture content during storage. Seed priming with AgNPs increased radicle emergence and suppressed electrical conductivity compared to the control, but only at 0 months of storage. Seed priming with AgNPs reduced the incidence of seed-borne fungi, whereas seed coating did not show a significant difference from the control during the 6-month storage period.

The results of the fifth experiment showed that AgNPs treatment at a concentration of 60 ppm significantly prolonged the incubation period, suppressed disease incidence, severity, and virus titer. This inhibition of CMV-S infection occurred due to the role of peroxidase enzymes, which increased after treatment with AgNPs. CMV-S infection in soybean plants causes a decrease in chlorophyll content, plant height, number of leaves, number of pods, pod weight, and number of soybeans compared to healthy controls. Treatment with 60 ppm AgNP maintained chlorophyll content, plant growth, and soybean yield, even though the plants were infected with CMV-S.

Keywords: AgNPs biosynthesis, CMV-S infection, oxidative stress, plant growth, plant resistance, seed storage



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

PRIMING NANOPARTIKEL PERAK (AgNPs) UNTUK PENINGKATAN PRODUKSI DAN MUTU BENIH KEDELAI PADA CEKAMAN BIOTIK DAN ABIOTIK

SUBHAN ARRIDHO

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar doktor
pada Program Studi Agronomi dan Hortikultura

**PROGRAM STUDI AGRONOMI DAN HORTIKULTURA
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University;

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1. Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Ir. Munif Ghulamahdi, M.S.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Fathurrahman, S.P., M.Sc.



Judul Disertasi : *Priming Nanopartikel Perak (AgNPs) untuk Peningkatan Produksi dan Mutu Benih Kedelai pada Cekaman Biotik dan Abiotik*

Nama : Subhan Arridho
NIM : A2602211005

@Hak cipta milik IPB University

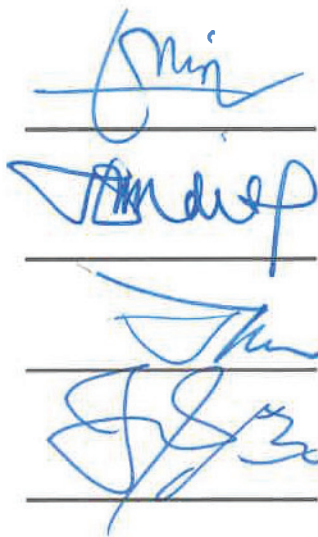
Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, M.S.

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Abdul Qadir, M.Si.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Eny Widajati, M.S.

Pembimbing 4:
Prof. Dr. Ir. Tri Asmira Damayanti, M.Agr.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Herdhata Agusta
NIP 19590813 198303 1 003

Dekan Fakultas Pertanian
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP 19690212 199203 1 003



Tanggal Ujian: 20 November 2025

Tanggal Lulus:

24 DEC 2025



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanallahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya, sehingga karya ilmiah ini dengan judul “*Priming* Nanopartikel Perak (AgNPs) untuk Peningkatan Produksi dan Mutu Benih Kedelai pada Cekaman Biotik dan Abiotik” ini berhasil diselesaikan dengan baik.

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, M.S., Dr. Ir. Abdul Qadir, M.Si., Prof. Dr. Ir. Eny Widajati, M.S., dan Prof. Dr. Ir. Tri Asmira Damayanti, M.Agr. yang telah membimbing dan banyak memberi saran, serta arahan selama penyelesaian penelitian dan penulisan disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, M.Si. dan Prof. Dr. Ir. Munif Ghulamahdi, M.S. yang telah berkenan menjadi penguji dalam ujian tertutup, serta memberikan saran dan masukan yang menyempurnakan disertasi ini. Terima kasih yang mendalam juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Akhiruddin Maddu, S.Si., M.Si. dan Prof. Dr. Fathurrahman, S.P., M.Sc. atas kesediaan menjadi penguji luar komisi pada sidang promosi doktor.

Ungkapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta (Dr. Mawardi Ahmad dan Dra. Rosyimah Syarif); ayah ibu mertua (Zulkifli M., S.Pd. dan Misnayeti, S.Pd.); dan adik-adik yang tersayang (Nuski Dina, S.Pd., Neil Ihsan, M.Eng., Ayyi Husbani, M.T., dan Ziadul Faiez, M.Eng.) yang telah memberi dukungan, do'a yang tulus, bantuan dalam mengurus anak-anak selama penulis menempuh pendidikan. Terima kasih yang tak terhingga penulis sampaikan kepada isteri tercinta Rona Muliana, M.T. dan ketiga buah hati kami (M. Iltizam Arridho, M. Thomnu Hayyin Arridho, dan Abdurrozzaq Athofa Arridho) atas kasih sayang yang tulus, pengorbanan, dan do'a sehingga penulis memperoleh energi dan motivasi sampai pada tahap terakhir pendidikan tinggi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada teman-teman seperjuangan pascasarjana Prodi Agronomi dan Hortikultura S3 (2021 dan 2020), Prodi Ilmu dan Teknologi Benih S2 (2021 dan 2020), mahasiswa Laboratorium Virologi, teman-teman *doctor healing*, lurah dan awardee Beasiswa Pendidikan Indonesia (BPI), penghuni rumah kontrakan teteh, staf Laboratorium Ilmu Teknologi Benih, Virologi Tanaman, dan Kebun Percobaan Cikabayan, terkhusus Dr. A. Haitami, Dr. Pebra Heriansyah, Pajri Anwar, Dr. Welly Herman, Dr. Siti Fadhillah, Dr. Astryani Rosyad, Dr. Suhadi Sapto Yuwono, Dr. Undang, Fitra Parlindo, Yan Sukmawan, Hamdan Maruli Siregar, Darmawansyah, Faiz, Bismo, Guna, Riko, Adi, Fajar, Haikal, Yuan, Widya, Yulfa, Nisa, Andri, Mia, Naufal, Faris, Athifa, David, Fawwaz, dan Aulia yang telah kebersamai dan banyak membantu dalam penyelesaian tugas kuliah, pelaksanaan penelitian, dan penulisan disertasi.

Beribu rasa terima kasih penulis sampaikan kepada Dirjen Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah membantu berupa dukungan finansial melalui Beasiswa Pendidikan Indonesia skema Dosen Perguruan Tinggi Akademik (BPI-Dosen PTA), serta hibah penelitian melalui skema Penelitian Disertasi Doktor (PDD) atas nama Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, M.S. (kontrak nomor 18860/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2023), sehingga penulis dapat menyelesaikan pendidikan doktoral tanpa kendala keuangan. Terakhir penulis sampaikan penghormatan dan rasa terima kasih yang tidak terhingga kepada Rektor

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



dan Dekan Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau beserta jajaran, yang telah memberi dukungan finansial dan tugas belajar, sehingga penulis dapat melanjutkan pendidikan S3 di program doktoral Institut Pertanian Bogor.

Demikian yang dapat penulis sampaikan, semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Desember 2025

Subhan Arridho

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Priming</i> Benih	5
2.2 <i>Nanopriming</i>	6
2.3 Nanopartikel Perak	7
2.4 Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Perak	8
2.5 Ekstrak Tanaman Mimba	10
2.6 Tanaman Kedelai	11
2.7 Mutu Fisiologi dan Kesehatan Benih Kedelai	12
2.8 Ketahanan Tanaman terhadap Cekaman Biotik dan Abiotik	13
2.9 <i>Cucumber Mosaic Virus Strain Soybean</i>	15
2.10 Penyimpanan Benih Kedelai	16
III BIOSINTESIS NANOPARTIKEL PERAK (AgNPs) DAN KEEFEKTIFAN <i>NANOPRIMING</i> DALAM MENINGKATKAN VIGOR DAN KESEHATAN BENIH KEDELAI	17
3.1 Pendahuluan	18
3.2 Bahan dan Metode	19
3.3 Hasil dan Pembahasan	24
3.4 Simpulan	33
IV KEEFEKTIFAN <i>PRIMING</i> DAN PELAPISAN BENIH DENGAN AgNPs DALAM MENINGKATKAN KETAHANAN TANAMAN PADA CEKAMAN KEKERINGAN	35
4.1 Pendahuluan	36
4.2 Bahan dan Metode	37
4.3 Hasil dan Pembahasan	41
4.4 Simpulan	50
V KEEFEKTIFAN <i>PRIMING</i> DAN PELAPISAN BENIH DENGAN AgNPs DALAM MENINGKATKAN PERTUMBUHAN TANAMAN DAN HASIL KEDELAI PADA CEKAMAN KEKERINGAN	51
5.1 Pendahuluan	51
5.2 Metode Percobaan	52
5.3 Hasil dan Pembahasan	54
5.4 Simpulan	64

VI	KEEFEKTIFAN <i>PRIMING</i> DAN PELAPISAN BENIH DENGAN AgNPs DALAM MENINGKATKAN DAYA SIMPAN DAN KESEHATAN BENIH KEDELAI	65
6.1	Pendahuluan	66
6.2	Bahan dan Metode	67
6.3	Hasil dan Pembahasan	69
6.4	Simpulan	74
VII	KEEFEKTIFAN AgNPs DALAM MENINGKATKAN KETAHANAN TANAMAN KEDELAI TERHADAP CEKAMAN INFEKSI VIRUS	75
7.1	Pendahuluan	76
7.2	Bahan dan Metode	77
7.3	Hasil dan Pembahasan	81
7.4	Simpulan	92
VIII	PEMBAHASAN UMUM	93
8.1	Karakter AgNPs Hasil Biosintesis	93
8.2	Keefektifan <i>Priming</i> Benih dengan AgNPs dalam Meningkatkan Perkecambahan Benih Kedelai	94
8.3	Pengaruh <i>Priming</i> dan Pelapisan Benih dengan AgNPs terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai pada Cekaman Kekeringan	96
8.4	Pengaruh <i>Priming</i> dan Pelapisan Benih dengan AgNPs terhadap Ketahanan Tanaman Kedelai pada Cekaman Kekeringan	97
8.5	Pengaruh <i>Priming</i> dan Pelapisan Benih dengan AgNPs terhadap Daya Simpan Benih Kedelai	99
8.6	Pengaruh <i>Priming</i> dan Pelapisan Benih dengan AgNPs terhadap Insidensi Cendawan Terbawa Benih	100
8.7	Pengaruh Penyemprotan Daun dengan AgNPs terhadap Infeksi <i>Cucumber Mosaic Virus Strain Soybean</i>	101
IX	SIMPULAN UMUM DAN SARAN	103
9.1	Simpulan	103
9.2	Saran	103
9.3	Kebaruan (<i>novelty</i>)	104
	DAFTAR PUSTAKA	105
	LAMPIRAN	125
	RIWAYAT HIDUP	132

DAFTAR GAMBAR

1.1	Diagram alir penelitian	4
2.1	Tahapan proses sintesis nanopartikel secara biologi menggunakan ekstrak tanaman. Sumber: Palit dan Hussain (2018)	9
3.1	Perubahan warna larutan perak nitrat (AgNO_3) menjadi AgNPs setelah disintesis menggunakan pereduksi ekstrak daun mimba	25
3.2	Pola <i>surface plasmon resonance</i> (SPR) AgNPs dengan puncak absorbansi berada di 414 nm	25
3.3	Distribusi ukuran AgNPs yang memiliki ukuran <i>z-average</i> 43,9 nm dan indeks polidisperitas 0,322	26
3.4	Zeta potensial AgNPs dengan puncak berada di -28,8 mV	26
3.5	Visualisasi mikrostruktur dan permukaan AgNPs menggunakan (a) <i>transmission electron microscope</i> dan (b) <i>scanning electron microscope</i>	27
3.6	Spektrum EDX AgNPs yang menunjukkan komposisi unsur yang menyusun AgNPs	27
3.7	Pola XRD dengan puncak-puncak khas AgNPs	28
3.8	Spektrum FTIR dari AgNPs yang disintesis menggunakan pereduksi ekstrak daun mimba	28
3.9	Analisis regresi polinomial (a) priming AgNO_3 dan (b) priming AgNPs terhadap insidensi cendawan terbawa benih	32
3.10	Benih kedelai yang terinfeksi cendawan terbawa benih; (A) <i>Fusarium</i> sp., (B) <i>A. flavus</i> , (C) <i>A. fumigatus</i> , (D) <i>A. niger</i> , (E) <i>A. candidus</i> , (F) <i>Trichoderma</i> sp., (G) <i>Penicillium</i> sp., (H) <i>Mucor</i> sp.	33
3.11	Penampakan mikroskopis cendawan terbawa benih kedelai; (A) <i>Fusarium</i> sp., (B) <i>A. flavus</i> , (C) <i>A. fumigatus</i> , (D) <i>A. niger</i> , (E) <i>A. candidus</i> , (F) <i>Trichoderma</i> sp., (G) <i>Mucor</i> sp.	33
4.1	Suhu (T) maksimum, minimum, dan rata-rata di dalam rumah kaca selama 8–21 Oktober 2023	41
4.2	Kelembapan relatif (RH) maksimum, minimum, dan rata-rata di dalam rumah kaca selama 8–21 Oktober 2023	42
4.3	Heatmap korelasi peubah pertumbuhan tanaman dan ketahanan tanaman kedelai; angka menunjukkan koefisien korelasi (r), MDA: malondialdehida, SOD: enzim superoksida dismutase, POD: enzim peroksidase, CAT: enzim katalase, LD: luas daun, PA: panjang akar, BBA: bobot basah akar, BKA: bobot kering akar, VA: volume akar, BBT: bobot basah tajuk, BKT: bobot kering tajuk, dan TTM (1–4): tinggi tanaman hingga minggu keempat	49
5.1	Kondisi perubahan suhu (T) di dalam rumah kaca selama percobaan berlangsung	55
5.2	Kondisi polong kedelai yang dipanen	61
5.3	Kondisi dan ukuran benih kedelai yang dipanen; a) ukuran kecil, b) ukuran besar, dan c) kondisi rusak	62

5.4	Heatmap korelasi peubah pertumbuhan tanaman dan hasil kedelai; angka menunjukkan koefisien korelasi (r), JB: jumlah biji, BB: bobot biji, BB100: bobot 100 biji, P: produktivitas, PP (1-3): panjang polong, BPP: bobot polong panen, JPP: jumlah polong panen, DT: daya tumbuh, TT60: tinggi tanaman 60 HST, JD60: jumlah daun 60 HST, IHD60: indeks hijau daun, JBu: jumlah bunga, BKT: bobot kering tajuk, JC: jumlah cabang, BKA: bobot kering akar, dan VA: volume akar	63
6.1	Suhu dan kelembapan relatif di tempat penyimpanan benih kedelai selama percobaan berlangsung	69
6.2	Heatmap korelasi konduktivitas, viabilitas dan vigor benih kedelai; angka menunjukkan koefisien korelasi (r), DB: daya berkecambah, IV: indeks vigor, KCT: kecepatan tumbuh, PTM: potensi tumbuh maksimum, RE: pemunculan radikula, dan EC: elektrokonduktivitas	74
7.1	Suhu dan kelembapan relatif (RH) rata-rata di dalam rumah kaca selama percobaan berlangsung	82
7.2	Perkembangan jumlah tanaman bergejala setelah perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S	82
7.3	Gejala infeksi CMV-S pada daun kedelai; (a) daun sehat, (b) mosaik, (c) malformasi, (d) rugos, (e) <i>vein clearing</i> , dan (f) <i>vein banding</i>	84
7.4	Perubahan aktivitas enzim POD setelah perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S; a) pola perkembangan absorbansi enzim POD per 30 detik, dan b) nilai enzim POD setelah dibagi dengan total protein	86
7.5	Kandungan total protein terlarut di daun kedelai setelah perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S	87
7.6	Perbandingan tinggi tanaman kedelai setelah perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S; (a) kontrol sehat, (b) kontrol + CMV, (c) AgNP 50, (d) AgNP 60, (e) AgNP 50 + CMV, dan (f) AgNP 60 + CMV	88
7.7	Perbandingan kondisi polong kedelai pada tanaman sehat dan tanaman terinfeksi CMV-S	92
7.8	Perbandingan kondisi biji kedelai pada tanaman sehat dan tanaman terinfeksi CMV-S	92
8.1	Model skematik aplikasi AgNPs dan cekaman kekeringan memengaruhi perubahan ketahanan biokimiawi tanaman kedelai	99

DAFTAR TABEL

3.1	Pengaruh priming AgNPs terhadap viabilitas benih kedelai	29
3.2	Pengaruh priming AgNPs terhadap vigor benih kedelai	30
3.3	Pengaruh priming benih dengan AgNO ₃ atau AgNPs terhadap insidensi dan jenis cendawan terbawa benih	31
4.1	Hasil uji bahan perekat untuk pelapisan benih terhadap perkecambahan benih kedelai	42
4.2	Rekapitulasi analisis ragam (ANOVA) perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap peubah-peubah pertumbuhan tanaman kedelai	43

4.3	Persentase selisih rata-rata perlakuan benih dengan kontrol pada pertumbuhan tanaman kedelai	43
4.4	Pengaruh interaksi perlakuan benih dan kapasitas lapang terhadap bobot kering tajuk, bobot kering dan volume akar kedelai	44
4.5	Pengaruh kapasitas lapang terhadap tinggi tanaman M4 dan luas daun kedelai	45
4.6	Rekapitulasi analisis ragam (ANOVA) pengaruh perlakuan benih dan kapasitas lapang terhadap peubah-peubah ketahanan tanaman pada cekaman kekeringan	46
4.7	Persentase selisih rata-rata perlakuan benih dengan kontrol pada ketahanan tanaman kedelai	47
4.8	Pengaruh interaksi perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap aktivitas enzim POD	48
4.9	Pengaruh perlakuan kapasitas lapang terhadap akumulasi prolin, kandungan MDA, dan aktivitas enzim CAT	48
5.1	Sifat kimia tanah sebelum dicampur dengan media tanam organik	55
5.2	Rekapitulasi analisis ragam (ANOVA) perlakuan benih dan kapasitas lapang terhadap peubah-peubah pertumbuhan tanaman dan hasil kedelai	56
5.3	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs terhadap daya tumbuh benih kedelai di lapangan	57
5.4	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap tinggi tanaman, jumlah daun, dan indeks hijau daun	58
5.5	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap jumlah cabang, bobot kering tajuk, bobot kering akar, dan volume akar	59
5.6	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs terhadap umur berbunga	60
5.7	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap jumlah polong dan bobot polong per tanaman	60
5.8	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap jumlah biji, bobot biji per tanaman, bobot 100 biji, dan produktivitas kedelai	61
5.9	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan kapasitas lapang terhadap jumlah biji berdasarkan kondisi dan ukuran benih kedelai	62
6.1	Rekapitulasi analisis ragam (ANOVA) viabilitas dan vigor benih kedelai setelah perlakuan benih dengan AgNPs dan periode simpan	70
6.2	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan periode simpan terhadap kadar air benih kedelai (%)	70
6.3	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan periode simpan terhadap viabilitas benih kedelai	71
6.4	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan periode simpan terhadap vigor benih kedelai	72
6.5	Pengaruh perlakuan benih dengan AgNPs dan periode simpan terhadap insidensi cendawan terbawa benih kedelai (%)	73
7.1	Deskripsi rincian perlakuan dalam percobaan	78
7.2	Kategori skoring untuk mengukur keparahan penyakit virus	79

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



7.3	Pengaruh AgNP terhadap masa inkubasi CMV-S dan tipe gejala	83
7.4	Pengaruh AgNP dan infeksi CMV-S terhadap insidensi dan keparahan penyakit	84
7.5	Pengaruh AgNP terhadap indeks keparahan penyakit	85
7.6	Pengaruh perlakuan AgNP terhadap titer CMV-S	85
7.7	Pengaruh perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S terhadap tinggi tanaman kedelai (cm)	88
7.8	Pengaruh perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S terhadap jumlah daun trifoliat kedelai (helai)	89
7.9	Pengaruh perlakuan AgNPs dan infeksi CMV-S terhadap umur berbunga dan jumlah bunga kedelai	89
7.10	Pengaruh perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S terhadap indeks hijau daun kedelai	90
7.11	Pengaruh perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S terhadap kadar klorofil daun (mg/L)	90
7.12	Pengaruh perlakuan AgNP dan infeksi CMV-S terhadap hasil panen kedelai	91

DAFTAR LAMPIRAN

1	Tahapan pertumbuhan dan perkembangan tanaman kedelai berdasarkan deskripsi oleh Fehr dan Caviness (1977)	125
2	Deskripsi kedelai varietas Grobogan yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian Republik Indonesia	126
3	Sertifikat benih kedelai varietas Grobogan yang digunakan pada kelima tahap percobaan	127
4	Penampakan kecambah normal, abnormal, dan benih mati pada pengujian viabilitas dan vigor benih kedelai	129
5	Penentuan dan cara penerapan kapasitas air lapang yang digunakan pada perlakuan cekaman kekeringan	130
6	Perhitungan pembuatan larutan perak nitrat (AgNO_3) dan konsentrasi AgNPs	131