IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

EKSPLORASI DAN PEMANFAATAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTES* UNTUK MENINGKATKAN ADAPTASI MORFOFISIOLOGIS BIBIT *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) BOSSER TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

KURNIAWATI PURWAKA PUTRI

PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

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.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul "Eksplorasi dan Pemanfaatan *Dark Septate Endophytes* untuk Meningkatkan Adaptasi Morfofisiologis Bibit *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser terhadap Cekaman Kekeringan" adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. 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, September 2026

Kurniawati Purwaka Putri
NIM E4601222002

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

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.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

RINGKASAN

KURNIAWATI PURWAKA PUTRI. Eksplorasi dan Pemanfaatan *Dark Septate Endophytes* untuk Meningkatkan Adaptasi Morfofisiologis Bibit *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser terhadap Cekaman Kekeringan. Dibimbing oleh SRI WILARSO BUDI, DEDE JAJAT SUDRAJAT dan SURONO.

Perubahan iklim global meningkatkan frekuensi kekeringan, menurunkan ketersediaan air tanah, serta mengancam pertumbuhan bibit tanaman hutan, terutama pada fase awal pertumbuhan, sehingga berpotensi menurunkan produktivitas bahkan menyebabkan kematian tanaman. Meskipun tanaman memiliki mekanisme adaptasi morfofisiologis dan biokimia terhadap cekaman kekeringan, kemampuan tersebut sering kali belum memadai untuk menghadapi kondisi lingkungan yang semakin ekstrem. Salah satu pendekatan bioprospeksi yang berpotensi meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kekeringan adalah pemanfaatan *dark septate endophytes* (DSE), yaitu cendawan endofit berhifa gelap yang membentuk mikrosklerotia pada jaringan akar. DSE diketahui mampu meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman abiotik, memperbaiki pertumbuhan, dan meningkatkan efisiensi serapan hara. Namun, eksplorasi DSE pada tanaman hutan tropis Indonesia masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi dan mengkarakterisasi DSE yang berasosiasi dengan akar *Neolamarckia cadamba*, serta mengevaluasi potensi fungsionalnya dalam meningkatkan pertumbuhan dan ketahanan bibit terhadap cekaman kekeringan. Penelitian terbagi menjadi empat bagian, yaitu (1) eksplorasi dan isolasi DSE dari akar *N. cadamba* di Bogor, Garut, dan Kediri; (2) karakterisasi morfologi dan molekuler; (3) pengujian kemampuan fungsional; serta (4) evaluasi pengaruh inokulasi DSE terhadap pertumbuhan dan respons bibit dalam kondisi cekaman kekeringan.

Hasil eksplorasi menunjukkan bahwa akar *N. cadamba* terkolonisasi secara alami oleh DSE dengan tingkat kolonisasi sebesar 65% (Bogor), 40% (Garut), dan 32% (Kediri). Keberadaan DSE diduga berkaitan dengan kondisi tanah yang masam hingga sangat masam (pH 4,4-4,9). Sebanyak 12 isolat cendawan berkoloni gelap berhasil diisolasi, dan berdasarkan karakterisasi morfologi, pengujian biologis menggunakan tanaman indikator, serta evaluasi karakter fisiologis, enam isolat teridentifikasi sebagai kandidat DSE yang cukup prospektif, yaitu CPGS-1, CPGS-3, CPPS-9, CKKS-3, CKKS-5, dan CGKR-9. Keenam isolat tersebut mampu menghasilkan hormon *indole-3-acetic acid* serta menunjukkan tingkat toleransi yang berbeda terhadap cekaman osmotik PEG 6000, yang mencerminkan keragaman fisiologis dan potensi pembentukan simbiosis dengan tanaman.

Identifikasi molekuler berdasarkan sekuens daerah ITS DNA ribosom berhasil mengungkap identitas taksonomi dan hubungan kekerabatan keenam isolat terpilih. Analisis filogenetik mengelompokkan isolat ke dalam dua kelas utama, yaitu Dothideomycetes dan Eurotiomycetes. Isolat CPGS-1 dan CPPS-9 berkerabat dengan kelompok *Dothideomycetes* sp.; CGKR-9 berkerabat dengan *Exophiala spinifera*, sedangkan isolat CKKS-5, CKKS-3, dan CPGS-3 berkerabat dengan genus *Knufia*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandidat DSE yang berasosiasi dengan *N. cadamba* memiliki keragaman genetik dan taksonomi yang tinggi, serta

berpotensi dikembangkan sebagai agen hayati untuk mendukung pembangunan hutan tanaman tropis.

Evaluasi efektivitas kandidat DSE pada bibit *N. cadamba* menunjukkan bahwa peningkatan karakter morfofisiologi bibit sangat dipengaruhi oleh kompatibilitas antara isolat DSE dan provenans tanaman. Pada provenans Kampar, kombinasi provenans Kampar–KSP menghasilkan pertumbuhan terbaik, sedangkan pada provenans Pomalaa, kombinasi Pomalaa–CKKS-5 dan Pomalaa–CPGS-3 menunjukkan efektivitas tertinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan simbiosis tidak hanya ditentukan oleh karakter fisiologis isolat, tetapi juga oleh variasi genetik tanaman inang.

Pada kondisi cekaman kekeringan, respons bibit dipengaruhi oleh interaksi antara tingkat ketersediaan air dan inokulasi DSE. Isolat CKKS-5 merupakan isolat paling efektif dalam meningkatkan toleransi kekeringan, terutama pada cekaman sedang (50% kapasitas lapang), melalui pemeliharaan pertumbuhan, biomassa, dan fungsi fisiologis yang tercermin dari nilai indeks sensitivitas cekaman (ISC) terendah. Sebaliknya, isolat KSP lebih efektif pada cekaman berat (25% kapasitas lapang) dengan mempertahankan produktivitas bibit melalui kombinasi mekanisme *drought avoidance* dan *drought tolerance*, sedangkan CPGS-3 belum mampu menginduksi respons adaptif yang mendukung toleransi kekeringan meskipun tingkat kolonisasi akarnya tinggi.

Penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas DSE dalam meningkatkan adaptasi morfofisiologis bibit *N. cadamba* terhadap cekaman kekeringan berkaitan dengan karakter fisiologis isolat DSE, variasi genetik provenans tanaman, dan tingkat cekaman yang dihadapi. Evaluasi pada tiga provenans menunjukkan adanya perbedaan respons tanaman terhadap isolat DSE, sedangkan pengujian cekaman kekeringan menunjukkan bahwa efektivitas DSE bersifat *isolate-specific* dan *stress-dependent*. Tingkat kolonisasi akar tidak selalu mencerminkan efektivitas DSE dalam meningkatkan adaptasi tanaman terhadap kekeringan. Kebaruan penelitian ini meliputi: (1) keberhasilan mengidentifikasi enam isolat DSE yang berasosiasi dengan akar *N. cadamba* berdasarkan karakter morfologi dan molekuler, dengan *Knufia* sp. CKKS-5 sebagai salah satu isolat potensial yang mampu menghasilkan IAA dan mendukung adaptasi bibit pada cekaman kekeringan hingga 50% kapasitas lapang; (2) pengembangan konsep evaluasi efektivitas DSE secara integratif melalui keterkaitan antara karakter fisiologis isolat, variasi provenans tanaman, tingkat kolonisasi akar, dan respons fungsional tanaman; serta (3) pengembangan pendekatan metodologis integratif untuk menyeleksi DSE toleran kekeringan, mulai dari eksplorasi dan karakterisasi *in vitro* hingga pengujian efektivitasnya secara *in vivo* pada berbagai tingkat cekaman kekeringan.

Kata kunci: adaptasi morfofisiologis, bioinokulan, cekaman kekeringan, *dark septate endophytes*, *Neolamarckia cadamba*

IPB University
Bogor Indonesia
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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

SUMMARY

KURNIAWATI PURWAKA PUTRI. Exploration and Utilization of Dark Septate Endophytes to Enhance the Morphophysiological Adaptation of *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser Seedlings to Drought Stress by SRI WILARSO BUDI, DEDE JAJAT SUDRAJAT dan SURONO.

Global climate change is increasing the frequency and severity of drought events, reducing soil water availability, and threatening the establishment and growth of forest seedlings, particularly during the early stages of development. These conditions may reduce productivity and ultimately lead to seedling mortality. Although plants possess physiological, biochemical, and morphological mechanisms to adapt to drought stress, these mechanisms are often insufficient to cope with increasingly severe environmental conditions. One promising bioprospecting approach to enhance drought tolerance is the utilization of dark septate endophytes (DSE), a group of root-associated endophytic fungi characterized by melanized septate hyphae and microsclerotia. DSE's have been reported to improve plant growth, nutrient acquisition, and tolerance to abiotic stresses. However, information regarding DSE associated with tropical forest tree species in Indonesia remains limited.

This study aimed to explore and characterize DSE associated with the roots of *Neolamarckia cadamba* and to evaluate their functional potential in enhancing seedling growth and drought tolerance. The study consisted of four stages: (1) exploration and isolation of DSE from *N. cadamba* roots collected in Bogor, Garut, and Kediri; (2) morphological and molecular characterization; (3) evaluation of functional traits; and (4) assessment of the effects of DSE inoculation on seedling growth and responses under drought stress.

The exploration revealed that *N. cadamba* roots were naturally colonized by DSE, with colonization rates of 65% in Bogor, 40% in Garut, and 32% in Kediri. The occurrence of DSE was associated with acidic to strongly acidic soils (pH 4.4–4.9). A total of 12 dark-colony fungal isolates were successfully isolated, of which six isolates (CPGS-1, CPGS-3, CPPS-9, CKKS-3, CKKS-5, and CGKR-9) were identified as DSE candidates based on morphological characteristics, biological assays using indicator plants, and physiological evaluations. All six isolates produced indole-3-acetic acid (IAA) and exhibited different levels of tolerance to PEG 6000-induced osmotic stress, indicating physiological diversity and potential for establishing beneficial symbioses with plants.

Molecular identification based on the internal transcribed spacer (ITS) region of ribosomal DNA successfully determined the taxonomic identity and phylogenetic relationships of the six selected isolates. Phylogenetic analysis classified the isolates into two major fungal classes, Dothideomycetes and Eurotiomycetes. Isolates CPGS-1 and CPPS-9 were affiliated with Dothideomycetes; CGKR-9 showed close similarity to *Exophiala spinifera*, whereas CKKS-5, CKKS-3, and CPGS-3 were closely related to the genus *Knufia*. These findings demonstrate the high taxonomic and genetic diversity of DSE associated with *N. cadamba* and highlight their potential as biological resources for tropical forest plantation development.

Evaluation of the effectiveness of DSE isolates on *N. cadamba* seedlings demonstrated that improvements in seedling morphophysiological characteristics were strongly influenced by the compatibility between DSE isolates and plant provenances. In the Kampar provenance, the Kampar–KSP combination produced the greatest growth response, whereas in the Pomalaa provenance, the Pomalaa–CKKS-5 and Pomalaa–CPGS-3 combinations exhibited the highest effectiveness. These findings indicate that the success of the symbiotic association is determined not only by the physiological characteristics of the DSE isolates but also by the genetic variation of the host plant.

Under drought stress conditions, seedling responses were influenced by the interaction between water availability and DSE inoculation. The CKKS-5 isolate was the most effective in enhancing drought tolerance, particularly under moderate drought stress (50% field capacity), by maintaining growth, biomass accumulation, and physiological performance, as reflected by the lowest Stress Susceptibility Index (SSI). In contrast, the KSP isolate performed better under severe drought stress (25% field capacity) by sustaining seedling productivity through a combination of drought avoidance and drought tolerance mechanisms. Meanwhile, CPGS-3 failed to induce adaptive responses that effectively enhanced drought tolerance, despite exhibiting a high level of root colonization.

This study demonstrates that the effectiveness of DSE in enhancing the morphophysiological adaptation of *N. cadamba* seedlings to drought stress is associated with the physiological characteristics of the isolates, their compatibility with the host plant, and the severity of the stress imposed. Evaluation across three provenances revealed differences in plant responses to DSE isolates, whereas the drought-stress experiment demonstrated that DSE effectiveness was isolate-specific and stress-dependent. Root colonization levels did not necessarily reflect the effectiveness of DSE in enhancing plant adaptation to drought stress. The novelty of this research lies in three main aspects: (1) the identification of six DSE isolates associated with the roots of *N. cadamba* based on morphological and molecular characteristics, including *Knufia* sp. CKKS-5, a promising isolate capable of producing indole-3-acetic acid (IAA) and supporting seedling adaptation to drought stress at 50% field capacity; (2) the development of an integrative framework for evaluating DSE effectiveness by linking isolate physiological traits, plant provenance variation, root colonization levels, and plant functional responses; and (3) the development of an integrative methodological approach for selecting drought-tolerant DSE, encompassing exploration and *in vitro* characterization through to *in vivo* effectiveness testing under different levels of drought stress.

Keywords: bioinoculant, dark septate endophyte, drought stress, morpho-physiological adaptation, *Neolamarckia cadamba*

IPB University
Bogor Indonesia
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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
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.
Perpustakaan IPB University

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
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.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

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.

Perpustakaan IPB University

EKSPLORASI DAN PEMANFAATAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTES* UNTUK MENINGKATKAN ADAPTASI MORFOFISIOLOGIS BIBIT *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) BOSSER TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN

KURNIAWATI PURWAKA PUTRI

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Silvikultur Tropika

PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
FAKULTAS KEHUTANAN DAN LINGKUNGAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

1 Dr. Yunik Istikorini, S.P., M.P.
2 Prof. Dr. Ir. Luluk Setyaningsih, M.Si., IPU.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1 Dr. Yunik Istikorini, S.P., M.P.
2 Prof. Dr. Ir. Luluk Setyaningsih, M.Si., IPU.

Judul Disertasi: Eksplorasi dan Pemanfaatan *Dark Septate Endophytes* untuk Meningkatkan Adaptasi Morfofisiologis Bibit *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser terhadap Cekaman Kekeringan

Nama : Kurniawati Purwaka Putri

NIM : E4601222002

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Sri Wilarso Budi R., M.S.

Pembimbing 2:
Dr. Dede Jajat Sudrajat, S.Hut., M.T.

Pembimbing 3:
Surono, SP., M.Agr., Ph.D.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Prijanto Pamoengkas, M.Sc.F.Trop.
NIP 19631206 198903 1 004

Dekan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan:
Prof. Dr. Ir. Dodik Ridho Nurrochmat, M.Sc.F.Trop.
NIP 19700329 199608 1 001

Tanggal Ujian:
27 Juli 2026

Tanggal Sidang Promosi Terbuka:
27 Agustus 2026

Tanggal Lulus: 21 SEP 2026

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
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.
Perpustakaan IPB University

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

IPB University
Bogor Indonesia

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.

Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga disertasi berjudul "Eksplorasi dan Pemanfaatan *Dark Septate Endophytes* untuk Meningkatkan Adaptasi Morfofisiologis Bibit *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser terhadap Cekaman Kekeringan" ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Penulis menyadari bahwa penyusunan disertasi ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Sri Wilarso Budi R., M.S., Dr. Dede Jajat Sudrajat, S.Hut., M.T., dan Bapak Surono, S.P., M.Agr., Ph.D., selaku komisi pembimbing yang telah memberikan arahan ilmiah, motivasi, serta pengalaman berharga selama proses penelitian dan penulisan disertasi ini.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada penguji luar komisi pembimbing, yaitu Dr. Yunik Istikorini**,** S.P., M.P. dan Prof. Dr. Ir. Luluk Setyaningsih, M.Si., IPU, atas masukan dan saran konstruktif yang sangat membantu dalam penyempurnaan disertasi ini. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh dosen Program Studi Silvikultur Tropika beserta tenaga kependidikan atas ilmu, bimbingan serta kemudahan administrasi selama masa studi.

Penghargaan juga penulis sampaikan kepada Kepala Pusat Riset Biologi Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, yang telah memberikan izin untuk melanjutkan pendidikan doktor, serta kepada BRIN atas dukungan pendanaan melalui program beasiswa *Degree by Research*. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Kepala Balai Perhutanan Sosial Bogor atas izin penelitian yang diberikan, serta staf laboratorium hama dan penyakit atas bantuan dalam proses analisis penelitian.

Secara khusus, penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang mendalam kepada orang tua, suami dan anak-anak tercinta serta adik-adik yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan semangat tanpa henti. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa Program Doktor Program Studi Silvikultur Tropika, rekan-rekan dalam mata kuliah cendawan simbion di Program Studi Mikrobiologi IPB, serta para peneliti di Pusat Riset Botani Terapan BRIN, Civitas Akademika IPB, dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan dan dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan disertasi ini.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat serta kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan kesejahteraan masyarakat.

Bogor, September 2026

Kurniawati Purwaka Putri

IPB University
Bogor Indonesia

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL xvi
DAFTAR GAMBAR xvi
DAFTAR LAMPIRAN xvii
I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 *State of the Art* Penelitian 5
1.3 Rumusan Masalah 6
1.4 Tujuan Penelitian 8
1.5 Manfaat 8
1.6 Ruang Lingkup 8
1.7 Kebaruan 10
1.8 Hipotesis 10
II TINJAUAN PUSTAKA 11
2.1 *Neolamarckia cadamba* 11
2.2 Cendawan Endofit 11
2.3 *Dark Septate Endophyte* 13
2.4 Cekaman Kekeringan pada Tanaman 14
2.5 Mekanisme Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Kekeringan 15
III EKSPLORASI DAN KARAKTERISASI CENDAWAN *DARK SEPTATE ENDOPHYTE* DARI PERAKARAN *Neolamarckia cadamba* (Roxb.) Bosser. 18
3.1 Pendahuluan 18
3.2 Metode Penelitian 19
3.3 Analisis Data 25
3.4 Hasil 25
3.5 Pembahasan 33
3.6 Simpulan 36
IV IDENTIFIKASI MOLEKULER DAN ANALISIS FILOGENETIK *DARK SEPTATE ENDOPHYTES* DARI PERAKARAN *Neolamarckia cadamba* 37
4.1 Pendahuluan 37
4.2 Bahan dan Metode 39
4.3 Analisis Data 39
4.4 Hasil 39
4.5 Pembahasan 42
4.6 Simpulan 44
V EFEKTIVITAS ISOLAT *DARK SEPTATE ENDOPHYTES* TERPILIH PADA BIBIT *Neolamarckia cadamba* DARI TIGA PROVENANS 45
5.1 Pendahuluan 45
5.2 Bahan dan Metode 46
5.3 Analisis Data 49
5.4 Hasil 50
5.5 Pembahasan 55
5.6 Simpulan 59

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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

VI RESPONS MORFOFISIOLOGI *Neolamarckia cadamba* TERHADAP INOKULASI DSE PADA BERBAGAI TINGKAT KEKERINGAN 60
6.1 Pendahuluan 60
6.2 Metode 61
6.3 Analisis data 67
6.4 Hasil 67
6.5 Pembahasan 76
6.6 Simpulan 79
VII PEMBAHASAN UMUM 81
7.1 Eksplorasi dan Karakterisasi *Dark Septate Endophytes* untuk Mendukung Adaptasi *N. cadamba* terhadap Cekaman Kekeringan 81
7.2 Kompatibilitas Isolat DSE dengan Provenans *N. cadamba* 82
7.3 Respons dan Mekanisme Adaptasi *N. cadamba* diinokulasi DSE 83
7.4 Implikasi dan Prospek DSE sebagai Bioinokulan 85
VIII SIMPULAN DAN SARAN 87
8.1 Simpulan 87
8.2 Saran 87
DAFTAR PUSTAKA 88
LAMPIRAN 103
RIWAYAT HIDUP 105

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
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.
Perpustakaan IPB University

IPB University
Bogor Indonesia
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 University
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR TABEL

1	Perkembangan penelitian *dark septate endophytes* (DSE), temuan utama, dan kesenjangan pengetahuan	6
2	Kondisi kimia tanah di lokasi pengambilan sampel akar *N. cadamba*	20
3	Komposisi isolat cendawan hasil isolasi dari akar *N. cadamba*	26
4	Deskripsi makroskopis koloni isolat cendawan dari akar *N. cadamba*	28
5	Pengaruh 12 isolat cendawan akar *N. cadamba* terhadap pertumbuhan dan biomassa *B. campestris* secara in vitro	31
6	Biomassa isolat berkoloni gelap asal diisolasi dari akar *N. cadamba* setelah diberi perlakuan cekaman kekeringan secara *in vitro*	32
7	Hasil analisis BLAST sekuen DNA isolat DSE yang berasosiasi dengan akar *N. cadamba*	40
8	Analisis ragam pengaruh perlakuan inokulasi DSE, provenans dan interaksinya terhadap karakter pertumbuhan, kolonisasi akar, anatomi daun, serapan hara, dan fisiologi bibit *N. cadamba* umur 4 bulan	50
9	Rata-rata luas daun, serta kandungan pigmen klorofil A, klorofil total dan antosianin bibit *N. cadamba* dari provenans Kampar, Nusa Kambangan dan Pomalaa pada berbagai perlakuan inokulasi DSE	54
10	Rata-rata kolonisasi DSE, tinggi bibit, panjang akar, jumlah akar , luas daun, tebal epidermis bawah dan palisade daun bibit N. cadamba dari tiga provenans berbeda	54
11	Rata-rata kolonisasi DSE, pertumbuhan, biomassa akar, nisbah pucuk akar, tebal epidermis bawah, luas daun, serta pigmen fotosintesis bibit N. cadamba yang diinokulasi berbagai perlakuan inokulasi DSE	55
12	Analisis ragam pengaruh isolat DSE, tingkat cekaman kekeringan, dan interaksinya terhadap morfologi dan fisiologi bibit *N. cadamba*	69
13	Respons morfofisiologi bibit *N, cadamba* yang diinokulasi DSE	72
14	Respons morfologi dan fisiologi bibit *N, cadamba* yang dipengaruhi perlakuan cekaman kekeringan	73
15	Indeks sensitivitas cekaman (ISC) dan indeks toleransi cekaman (ITC) total biomassa bibit *N, cadamba* diinokulasi DSE	74

IPB University
Bogor Indonesia
@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.
IPB University
Perpustakaan IPB University

DAFTAR GAMBAR

1	Kerangka pikir penelitian	9
2	Lokasi pengambilan akar halus (dalam lingkaran) dari setiap pohon terpilih	20
3	Acuan karakterisasi makroskopis koloni cendawan berdasarkan bentuk koloni (*shape*), tepi koloni (*margin*), dan elevasi koloni (*elevation*) (de Hoog *et al.* 2000)	22
4	Kolonisasi DSE pada akar *N. cadamba*; (a) struktur DSE, hifa (Hf) dan mikrosklerotia (m), (bar = 30,19 µm); (b) rata-rata persentase kolonisasi DSE per pohon di tiap lokasi	25
5	Morfologi koloni isolat cendawan diisolasi dari akar *N. cadamba*	27
6	Morfologi mikroskopis isolat cendawan berkoloni gelap yang diduga merupakan DSE hasil isolasi dari akar *N. cadamba*. Seluruh preparat diamati pada perbesaran 400×, kecuali isolat CKOS-2 dan CGKR-6 yang diamati pada 1000×	29
7	Morfologi mikroskopis isolat DSE dari akar *N. cadamba*. (A) Pengamatan menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran 400×. (B) Pengamatan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) pada pembesaran 500X dan 1.000X	30
8	Produksi IAA dari enam isolat kandidat DSE yang diisolasi dari *N. cadamba.* Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0,05$ berdasarkan uji Tukey	32
9	Pohon filogenetik daerah internal transcribed spacer (ITS) cendawan DSE diisolasi dari akar *N. cadamba* (dalam lingkaran) dan sekuens homolog dari GenBank. *Alternaria alternata* ditambahkan sebagai referensi outgroup. Pohon filogenetik menggunakan metode *Neighbor-Joining* (NJ) dengan 1000 replikasi bootstrap	41
10	Kolonisasi DSE pada akar bibit N. cadamba. (a-c) isolat kontrol; (d-f) isolat CKKS-5; (g-i) isolate CPGS-3; (j-l) isolat KSP. Hf = hifa bersepta berpigmen; m = mikrosklerotia. Pembesaran 400x	51
11	Rata-rata kolonisasi akar (a); tinggi bibit (b) bibit *N. cadamba* dari beberapa provenans yang diinokulasi DSE.Huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0,05$ berdasarkan uji Tukey	52
12	Performa bibit *N. cadamba* dari provenans Kampar, Nusa Kambangan dan Pomalaa pada berbagai perlakuan inokulasi DSE	53
13	Rata-rata persentase kolonisasi DSE pada akar N. cadamba. Huruf yang berbeda di atas batang menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan berdasarkan uji Tukey pada taraf nyata 5%	68
14	Rata-rata (a) tinggi; (b) biomassa akar; (c) total biomassa bibit N, cadamba diinokulasi isolat DSE pada beberapa tingkat cekaman kekeringan, huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0,05$ berdasarkan uji Tukey	70
15	Prolin (a), antosianin (b), dan kerapatan stomata (c) dari bibit N, cadamba diinokulasi isolat DSE pada beberapa tingkat cekaman kekeringan, huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan pada $p < 0,05$ berdasarkan uji Tukey	71

16 Bibit *N. cadamba* diinokulasi DSE yang telah diberi perlakuan cekaman kekeringan; (a) 100%; (b) 50%: (c) 25% kapasitas lapang 72
17 Biplot pengelompokan adaptasi isolat DSE terhadap cekaman kekeringan berdasarkan karakter pertumbuhan, anatomi dan fisiologi 75

DAFTAR LAMPIRAN

1 SEM untuk mikroskopis akar bibit *N, cadamba* diinokulasi isolat DSE pada beberapa tingkat cekaman kekeringan, Pembesaran 1,000X dan 2,000X, Bar = 10 µm, Tanda panah merah = hifa, tanda panah kuning= mikrosklerotia 104

IPB University
Bogor Indonesia
@Hak cipta milik IPB University
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.
Perpustakaan IPB University