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

THE MORPHOLOGY AND MOLECULAR STUDIES OF INDONESIAN FOXTAIL MILLET (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) ACCESSIONS RELATED TO STEM LODGING RESISTANCE

SUWASDI

PLANT BREEDING AND BIOTECHNOLOGY STUDY PROGRAM
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025

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

STATEMENT ON SCIENTIFIC PAPER AND SOURCES OF INFORMATION AND COPYRIGHT TRANSFER

I declare that the thesis entitled “The Morphology and Molecular Studies of Indonesian Foxtail Millet (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) Accessions Related to Stem Lodging Resistance” is my work under the direction of the supervisory committee and has not been submitted in any form to any university. Sources of information originating or quoted from published or unpublished works of other authors have been mentioned in the text and included in the Bibliography at the end of this thesis.

I hereby transfer the copyright from my writing to IPB University.

Bogor, January 2025

Suwasdi
A2503222017

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

SUWASDI. Studi Morfologi dan Molekuler Aksesi Hotong Indonesia (*Setaria italica* [L.] P. Beauv) terkait Sifat Ketahanan Cekaman Rebah Batang. Dibimbing oleh SINTHO WAHYUNING ARDIE dan WILLY BAYUARDI SUWARNO.

Tanaman hotong merupakan tanaman sereal potensial dengan potensi hasil tertinggi kedua pada kelompok *millets.* Salah satu faktor pembatas budidaya tanaman hotong adalah cekaman abiotik. Cekaman rebah batang merupakan kelompok cekaman abiotik yang cukup sulit untuk diprediksi dan diukur di lapangan budidaya. Cekaman rebah batang dipengaruhi oleh kompleks cekaman seperti angin, kekeringan, curah hujan ekstrem, dan faktor genetik tanaman. Cekaman rebah batang pada tanaman hotong telah dilaporkan berpengaruh terhadap penurunan potensi hasil. Salah satu upaya untuk meminimalisasi kerugian akibat cekaman rebah batang adalah identifikasi aksesi yang memiliki idiotipe ideal terkait ketahanan terhadap cekaman rebah batang. Karakter-karakter kunci yang terkait berupa karakter morfologi, biokimia, maupun asosiasi penanda genetik. Idiotipe ideal yang diinginkan adalah tanaman yang memiliki kekuatan batang dan hasil yang tinggi, serta memiliki tingkat kerebahan batang yang rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan memperoleh aksesi hotong yang memiliki ketahanan tinggi terhadap cekaman rebah batang.

Penelitian ini terdiri atas dua percobaan. Percobaan pertama dilakukan pada bulan Maret hingga September 2023 di Kebun Percobaan Cikabayan Bawah, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB University. Percobaan pertama bertujuan untuk mengevaluasi sifat ketahanan terhadap cekaman rebah batang dari lima aksesi hotong Indonesia dan mengidentifikasi sifat penting yang mempengaruhinya. Percobaan disusun berdasarkan *split plot* rancangan kelompok lengkap teracak (RKLT) dengan empat ulangan. Petak utama percobaan adalah tipe cekaman rebah batang yang terdiri atas tanpa cekaman rebah, tipe cekaman rebah batang temporal (24 jam pada 10 HSA), dan tipe cekaman rebah batang permanen (10 HSA sampai panen). Anak petak percobaan adalah lima aksesi hotong yang terdiri atas Botok-10, Botok-4, NTB-1, Mauliru-2, dan Hambapraing. Pengamatan dilakukan pada tiga kelas karakter utama yaitu karakter malai, karakter kekuatan batang, dan karakter kandungan selulosa-lignin batang. Analisis yang digunakan antara lain indeks toleransi, korelasi Pearson, dan analisis dendrogram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aksesi Botok-10 dan Botok-4 memiliki tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap rebah batang dibandingkan aksesi lain dengan idiotipe tinggi tanaman, kekuatan mekanik batang, kandungan selulosa, dan *yield index* yang lebih tinggi dibandingkan aksesi NTB-1, Mauliru-2, dan Hambapraing. Aksesi Botok-10 dan Botok-4 diduga memiliki daya adaptasi dan ketahanan yang lebih baik terhadap cekaman rebah batang berdasarkan indeks TOL, SSI, STI, SSPI dan YI. Analisis korelasi Pearson menunjukkan indeks cekaman rebah batang berkorelasi negatif signifikan dengan kekuatan patah batang, kekuatan mekanik batang, dan kandungan selulosa. Hasil analisis dendrogram membagi kelima aksesi ke dalam kelompok tahan (Botok-10 dan Botok-4) dan kelompok rentan (NTB-1, Mauliru, dan Hambapraing) berdasarkan nilai indeks TOL dan persentase penurunan hasil.

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

Percobaan kedua dilakukan pada September 2023 hingga Februari 2024 di Laboratorium Bioteknologi Molekuler Tanaman (PMB 2), Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB University. Tujuan percobaan adalah karakterisasi gen penyandi biosintesis selulosa dan lignin pada sembilan aksesi tanaman hotong. Materi genetik yang digunakan adalah aksesi Botok-10, Botok-4, NTB-1, Mauliru-2, Hambapraing, ICERI-5, ICERI-6, Buru, dan Toraja. Karakterisasi dilakukan pada gen *SiCesA4* (4.775 pb) yang diamplifikasi dalam tujuh fragmen dan gen *SiCCR1* (2.447 pb) yang diamplifikasi dalam dua fragmen. Karakterisasi yang dilakukan meliputi tingkat similiritas gen *SiCesA4* dan *SiCCR1* pada sembilan aksesi hotong dengan dua aksesi referensi (IC-403579 dan Yugu1), karakteriasi variasi basa nukleotida untuk situs SNP, analisis pohon filogenik, dan prediksi domain terkonservasi yang terbentuk. Hasil karakterisasi gen *SiCesA4* menunjukkan tingkat similaritas sembilan aksesi hotong dengan dua aksesi referensi dengan nilai 100%, sedangkan pada spesies lain berkisar 70-86%. Sekuens gen *SiCesA4* yang disejajarkan dengan aksesi referensi tidak menunjukkan variasi basa nukleotida. Hanya empat dari tujuh fragmen gen *SiCes4* yang berhasil dibaca sekuennya dengan metode Sanger pada penelitian ini. Oleh karena itu, diduga masih terdapat potensi variasi basa nukleotida pada fragmen yang belum berhasil diisolasi. Analsis pohon filogenik menunjukkan gen *SiCesA4* dari sembilan aksesi berada dalam satu kelompok yang sama dengan dua sekuens referensi. Tingkat kemiripan terdekat diperoleh pada gen *CeS4* dari gandum (*TaCesA4*) dan barley (*HvCesA4*). Prediksi domain terkonservasi gen *SiCesA4* menunjukkan domain terkonservasi *cellulose synthase* yang berada pada domain PLN02189 *super family*.

Karakterisasi gen *SiCCR1* pada sembilan aksesi hotong menunjukkan tingkat similaritas 98-99% dengan aksesi referensi dan 85-97% dengan spesies lain dalam famili *Poaceae*. Sekuens gen *SiCCR1* pada sembilan aksesi yang disejajarkan dengan aksesi referensi menujukkan beberapa variasi basa nukleotida. Keragaman basa nukleotida (SNP) yang teridentifikasi antara urutan basa nukleotida gen *SiCCR1* dari sembilan aksesi hotong yaitu *synonymous* SNP di intron 1 (basa 40, 41, dan 42) dan intron 4 (posisi basa 1.398), serta *non-synonymous* SNP di ekson 6 (posisi basa 2.029). Variasi basa nukleotida pada posisi 2.029 merubah translasi asam amino valin menjadi leusin pada aksesi NTB-1. Analisis pohon filogenik menunjukkan gen *SiCCR1* dari sembilan aksesi hotong berada dalam satu kelompok yang sama dengan aksesi referensi, kecuali aksesi Botok-10. Hal ini diduga karena Botok-10 memiliki sekuens terpendek yang berhasil diisolasi dibandingkan dengan aksesi lainnya. Gen *SiCCR1* memiliki kedekatan dengan gen *CCR1* dari *Panicum virgatum, Panicum hallii, Zea mays,* dan *Sorghum bicolor*. Prediksi domain terkonservasi gen *SiCCR1* menunjukkan domain terkonservasi NADB Rossman superfamily. Domain NADB sering ditemukan pada berbagai protein yang terlibat dalam reaksi redoks dan berbagai enzim yang berperan dalam jalur metabolisme.

Kata kunci: kekuatan batang, kloning gen, lignin, selulosa

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.

Perpustakaan IPB University

SUMMARY

SUWASDI. The Morphology and Molecular Studies of Indonesian Foxtail Millet (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) Accessions Related to Stem Lodging Resistance. Supervised by SINTHO WAHYUNING ARDIE and WILLY BAYUARDI SUWARNO.

Foxtail millet is a potential cereal crop with the second-highest yield potential among millets. However, abiotic stress may lead to potential yield loss in foxtail millet production. Stem lodging is one of the abiotic stresses that is difficult to predict and measure in the field. Various stress factors such as wind, drought, extreme rainfall, and plant genetic factors determine the degree of stem lodging. Stem lodging in foxtail millet has been reported to decrease yield potential. One approach to minimizing losses due to stem lodging was identifying accessions with an ideal idiotype related to resistance to stem lodging. Key characteristics associated with stem lodging include morphological traits, biochemical traits, or genetic marker associations. The ideal idiotype was a plant with strong stems and high yield but a low tendency for stem lodging. The general objective of this study was to identify and obtain foxtail millet accessions resistant to stem lodging stress.

This study consisted of two experiments. The first experiment was conducted from March to September 2023 at the Cikabayan Bawah Experimental Farm, Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agriculture, IPB University. The objective of this experiment was to determine the lodging resistance of five Indonesian foxtail millet accessions and identify important traits determining the stem lodging resistance of those accessions. The experiment used a split-plot randomized complete block design with four replications. The main plot was the type of stem lodging stress, which included no lodging stress, temporal stem lodging stress (24 hours at 10 days after anthesis), and permanent stem lodging stress (10 days after anthesis until harvest). The subplot factor was five accessions of foxtail millet, namely Botok-10, Botok-4, NTB-1, Mauliru-2, and Hambapraing. Observations were made on three main character classes: panicle traits, stem strength, and cellulose-lignin content in stems. The analyses used included tolerance indices, Pearson correlation, and dendrograms. The results indicated that accessions Botok-10 and Botok-4 had higher resistance levels compared to other accessions, with an ideal idiotype of plant height, mechanical stem strength, cellulose content, and yield index. Tolerance index analysis also suggested that Botok-10 and Botok-4 had higher adaptability and resistance to stem lodging based on TOL, SSI, STI, SSPI, and YI indices. The Pearson correlation analysis revealed a significant negative correlation between the stem lodging index and stem breaking strength, stem mechanical strength, and cellulose content. Dendrogram analysis classified the resistant group (Botok-10 and Botok-4) and the susceptible group (NTB-1, Mauliru, and Hambapraing) based on TOL indices and potential yield loss.

The second experiment was conducted from September 2023 to February 2024 at the Plant Molecular Biology Laboratory (PMB 2), Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agriculture, IPB University. The aim was to characterize genes responsible for cellulose and lignin biosynthesis in nine Indonesian foxtail millet accessions. The genetic material used included accessions Botok-10, Botok-4, NTB-1, Mauliru-2, Hambapraing, ICERI-5, ICERI-6, Buru,

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

and Toraja. Characterization was carried out on the *SiCesA4* gene with a sequence length of 4,775 bp amplified in seven fragments and the *SiCCR1* gene with a sequence length of 2,447 bp amplified in two fragments. Characterization included similarity levels of the *SiCesA4* and *SiCCR1* genes among the nine foxtail millet accessions with two reference accessions (IC-403579 and Yugu1), nucleotide variation for SNP sites, phylogenetic tree analysis, and prediction of conserved domains. The characterization of the *SiCesA4* gene revealed 100% similarity between the nine foxtail millet accessions and the two reference accessions, whereas similarity with other species ranged from 70-86%. No nucleotide base variation was found in the *SiCesA4* gene sequences aligned with the reference accessions. Only four out of seven *SiCes4* gene fragments were successfully sequenced using the Sanger method in this study. Thus, it is suspected that there may still be potential base variations in the fragments that were not successfully isolated. Phylogenetic tree analysis showed that the *SiCesA4* gene from the nine accessions clustered in the same group as the two reference sequences, with the closest similarity found to the *CeS4* gene from wheat (*TaCesA4*) and barley (*HvCesA4*). Prediction of conserved domains for the *SiCesA4* gene identified the cellulose synthase conserved domain within the PLN02189 superfamily.

Characterization of the *SiCCR1* gene in the nine foxtail millet accessions showed a 98-99% similarity with the reference accessions and 85-97% with other species in the *Poaceae* family. Alignment of *SiCCR1* gene sequences from the nine accessions with the reference accessions revealed several nucleotide base variations. Identified nucleotide base variations (SNPs) in the *SiCCR1* gene included synonymous SNPs in intron 1 (nucleotide 40, 41, and 42) and intron 4 (nucleotide 1,398), as well as non-synonymous SNPs in exon 6 (nucleotide 2,029). The nucleotide variation at position 2,029 changes the amino acid translation from valine to leucine in the NTB-1 accession. Phylogenetic tree analysis showed that the *SiCCR1* gene from the nine foxtail millet accessions clustered in the same group as the reference accessions, except for the Botok-10 accession. This is suspected to be due to Botok-10 having the shortest isolated sequence length compared to other accessions. The *SiCCR1* gene showed closeness to the *CCR1* genes of *Panicum virgatum, Panicum hallii, Zea mays,* and *Sorghum bicolor*. Prediction of conserved domains for the *SiCCR1* gene identified the NADB Rossman superfamily domain. The NADB domain is frequently found in various proteins involved in redox reactions and various enzymes participating in metabolic pathways.

Keywords: cellulose, gene cloning, lignin, stem strength

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

© Copyright belongs to IPB, 2025
All rights reserved

It is prohibited to quote parts or all of this paper without including or mentioning the source. Quotations are only for the sake of education, research, writing scientific papers, preparing reports, writing criticisms, or reviewing a problem; and the quotation does not harm the interests of IPB.

It is forbidden to publish and reproduce part or all of this paper in any form without the permission of 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

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

THE MORPHOLOGY AND MOLECULAR STUDIES OF INDONESIAN FOXTAIL MILLET (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) ACCESSIONS RELATED TO STEM LODGING RESISTANCE

SUWASDI

Thesis
As part of the requirements to obtain a degree of
Magister Sains in
Plant Breeding and Biotechnology Study Program

PLANT BREEDING AND BIOTECHNOLOGY STUDY PROGRAM
FACULTY OF AGRICULTURE
IPB UNIVERSITY
BOGOR
2025

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

Examiners on Thesis Examination:

1 Prof. Dr. Ir. Bambang Sapta Purwoko, M.Sc.
2 Dr. Arya Widura Ritonga, S.P., M.Si.

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

Thesis Title : The Morphology and Molecular Studies of Indonesian Foxtail Millet (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) Related to Stem Lodging Resistance
Name : Suwasdi
Student ID : A2503222017

Approved by

Supervisor 1:
Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P., M.Si.

Supervisor 2:
Dr. Willy Bayuardi Suwarno, S.P., M.Si.

Acknowledged by

Head of Study Program:
Prof. Dr. Dewi Sukma, S.P., M.Si.
NIP 197004041997022001

Dean of Faculty of Agriculture:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP 196902121992031003

Examination date:
December 19th, 2024

Graduation date: 30 JAN 2025

@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

PREFACE

Praise God Almighty for all the blessings so that the author can complete this thesis entitled “The Morphology and Molecular Studies of Indonesian Foxtail Millet (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) Related to Stem Lodging Resistance”. This research was conducted from March 2023 to March 2024. This thesis was made to obtain a Magister Sains degree in the Plant Breeding and Biotechnology study program, Faculty of Agriculture, IPB University.

The author expresses gratitude to :

1. The Ministry of Finance, The Republic of Indonesia, provided funding through The Endowment Fund for Education Agency (LPDP Scholarship) during the study period (2022-2024).
2. Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P., M.Si. and Dr. Willy Bayuardi Suwarno, S.P., M.Si. as supervisory committee for all of the motivation and knowledge. Thank you for all your time, passion, empathy, and kindness during my study and entered this research until is completed. I apologized for the flaws and missteps along the way.
3. Prof. Dr. Ir. Satriyas Ilyas, M.S. as the moderator of the research thesis seminar, Prof. Dr. Ir. Bambang Sapta Purwoko, M.Sc. as the examiner of the thesis examination, and Dr. Arya Widura Ritonga, S.P., M.Si. as the representative of the Plant Breeding and Biotechnology Study Program. Thank you for the meaningful knowledge and suggestions for this research.
4. The author’s parents who always supportive during the study process. Thank you for being so kind and always listening and understanding. No words can describe how deeply important your support is.
5. The laboratory technician of Plant Molecular Biology II Laboratory, Mr. Yudiansyah S.Si., for the kind help during the laboratory study. All of the field technicians of Cikabayan Bawah Teaching Farm AGH-IPB provided support during the field trial and research.
6. The lab-field mates, Ramadaniarto Rizqullah, Darius Dare, Anita Rahayu, Nadya Urmila, Arslan Arshad, Sophia and Nurhalimah Hardiyanti. Thank you for the kind help during the research.
7. ASHIMA Research Group, thank you for providing a supporting community during the study and thesis research.
8. The CTalks Community, Dr. Terry G. Berke, Jonas Rothkegel, Lucas Thausendfreund, Łukasz Wojtowicz, dr. Csaba Vajai and Barkin Cem Demir. Thank you for always being willing to provide input regarding writing manners.
9. To all colleagues who help during this research either field experiment or lab study.

Hopefully, this thesis will be useful for developing plant breeding and biotechnology and all related fields.

Bogor, January 2025
Suwasdi

@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

CONTENTS

LIST OF TABLES xv

LIST OF FIGURES xvi

LIST OF APPENDIXES xviii

I INTRODUCTION 1
- 1.1 Background 1
- 1.2 Research Objectives 2
- 1.3 Hypotheses 3
- 1.4 Research Benefits 3
- 1.5 Research Scopes 3

II LITERATURE REVIEW 4
- 2.1 Foxtail Millets (*Setaria italica* [L.] P. Beauv.) 4
- 2.2 Lodging Stress 5
- 2.3 Cellulose and Lignin 6
- 2.4 Molecular Studies of Lodging Traits in Cereals 8

III STURDY STEM STRUCTURE REDUCES STEM LODGING AND YIELD LOSS IN INDONESIAN FOXTAIL MILLET (*Setaria italica* [L.] P. Beauv. ACCESSIONS 11
- 3.1 Abstract 11
- 3.2 Introduction 12
- 3.3 Research Method 13
- 3.4 Result and Discussion 16
- 3.5 Conclusion 28

IV STUDY OF SINGLE NUCLEOTIDE POLIMORFISM OF CELLULOSE (*SiCesA4*) AND LIGNIN (*SiCCR1*) IN INDONESIAN FOXTAIL MILLET (*Setaria italica* [P.] L. Beauv.) ACCESSIONS 29
- 4.1 Abstract 29
- 4.2 Introduction 30
- 4.3 Research Method 31
- 4.4 Result and Discussion 35
- 4.5 Conclusion 54

V GENERAL DISCUSSION 55

VI GENERAL CONCLUSION AND SUGGESTION 60
- 6.1 General Conclusion 60
- 6.2 General Suggestion 60

REFERENCES 61
APPENDICES 72
BIOGRAPHY 81

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

LIST OF TABLES

1 Resistance genes associated with lodging resistance in wheat and rice 10
2 Analysis of variance of morphological and biochemical of five Indonesian foxtail millet accessions under different stem lodging treatments 18
3 Natural lodging incidence, the weight of a filled grain of the main panicle, and potential yield loss of five foxtail millet accessions under different lodging treatments 19
4 Tolerance indices based on the filled grain weight of the main panicle of five foxtail millet accessions 20
5 The correlation coefficient between the filled grain weight of the main panicle (Yp and Ys) of five foxtail millets and stress tolerance indices 21
6 Stem breaking strength, stem failure moment, internode length, fresh weight of upper biomass to root ratio, and lodging coefficient of five foxtail millet accessions under different lodging treatments 23
7 Significant interaction between accession and type of lodging on internode length 23
8 Significant interaction between accession and type of lodging in lodging coefficient 24
9 Cellulose and lignin content of five foxtail millet accessions 24
10 Significant interaction between accession and type of lodging on cellulose content 24
11 Plant height, stem diameter, fresh weight of upper biomass, and root of five foxtail millet accessions 25
12 Specific primer design of *SiCesA4* and *SiCCR1* 32
13 PCR mix components for primer optimization 34
14 The absorbance measurements, and estimates of the quantity and quality of genomic DNA 36
15 Final optimization compilation of the *SiCesA4* gene 42
16 The CDS similarity levels of the *SiCesA4* gene among nine foxtail millet accessions with *Setaria italica* accessions IC-403579, Yugu1, and other species 45
17 Final optimization compilation of the *SiCCR1* gene 48
18 Nucleotide polymorphism observed in the *SiCCR1* sequence of nine Indonesian foxtail millet accessions 49
19 The CDS similarity levels of the *SiCCR1* gene among nine foxtail millet accessions with *Setaria italica* accessions IC-403579, Yugu1, and other species 50

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

LIST FIGURES

1 Flowchart of the research on the morphology and molecular studies of Indonesian foxtail millet accessions related to stem lodging resistance 3
2 Various types of lodging are devastatingly reducing yield in wheat and rice 5
3 Photographs of stem lodging type: temporary and permanent 6
4 Cellulose biosynthesis pathway 7
5 Lignin biosynthesis pathway 8
6 Experimental layout of the first experiment with split plot design 13
7 Staggered planting method for five foxtail millet accessions 14
8 Criteria for foxtail millet panicles 14
9 Illustration of SBS measurement using digital force gauge 15
10 The average temperature (ºC), humidity (%), precipitation (mm), light intensity (hours), and wind speed (knots) during the experiments 16
11 The percentage of germination of five Indonesian foxtail millet accessions. Bar following with the same letter indicated no significant difference (Fisher test, $p<0.05$) 17
12 Weeds, pests, and diseases in foxtail millet 17
13 The morphology of stem hollow type of five foxtail millet accessions 17
14 The heatmap depicting the distribution of five accessions of foxtail millet based on seven tolerance indices 22
15 The correlation value between agro-morphological traits and stem lodging coefficient 26
16 Clustering dendrogram based on lodging coefficient and tolerance indices 27
17 Results of genomic DNA quality testing 36
18 RAPD universal primer test of nine foxtail millet accessions 37
19 The optimization of fragment 1 of *SiCesA4* was conducted on nine accessions of Indonesian foxtail millet 38
20 The first optimization of fragments 2,3,4, and 5 of *SiCesA4* was conducted on nine Indonesian foxtail millet accessions 39
21 The second optimization of fragments 2,3,4,5, and 6 of *SiCesA4* was conducted on nine Indonesian foxtail millet accessions 40
22 The third optimization of fragments 2,3,4,5, and 6 of *SiCesA4* was conducted on nine Indonesian foxtail millet accessions 40
23 The fourth optimization fragment 3 and fragment 6 of *SiCesA4* was conducted on nine accessions of Indonesian foxtail millet 41
24 Optimization of fragment 7 of *SiCesA4* was conducted on nine accessions of Indonesian foxtail millet 41
25 Mapping the successful nucleotide sequence reading of the *SiCesA4* gene across nine foxtail millet accessions 42
26 Trafficking of cellulose synthase complex (CSC) in plant cells 43
27 A phylogenetic tree was constructed based on the alignment of the CDS of *SiCesA4* from nine foxtail millet accessions, two reference CDS from foxtail millet accessions, and CDS from seven other species 47

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

28 Predictions of conserved domains in the amino acid sequences of the CDS *SiCesA4* from nine foxtail millet accessions and the reference accession Yugu 1 (IC-403579) 47
29 Optimization of *SiCCR1* genes 48
30 Mapping the successful nucleotide sequence reading of the *SiCCR1* gene across nine foxtail millet accessions 49
31 Nucleotide base variation in nine foxtail millet accessions was identified using reference accessions 50
32 Variation in amino acids among nine foxtail millet accessions 51
33 A phylogenetic tree was constructed based on the alignment of the CDS of *SiCCR1* from nine foxtail millet accessions, two reference CDS from foxtail millet accessions, and CDS from seven other species 53
34 Predictions of conserved domains in the amino acid sequences of the CDS *SiCCR1* from nine foxtail millet accessions and the reference accession Yugu 1 (IC-403579) 54
35 Prediction of the amino acids in the conserved domain of foxtail millet, sorghum, barley, and Arabidopsis. 57
36 Amino acids in the cellulose synthase domain of the *CesA4* gene from foxtail millet (*Setaria italica*) and other species (A. *thaliana, S. bicolor, H. vulgare,* and *T. aestivum*). 58

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

LIST APPENDICES

1 The mean value of stem morphological traits 68
2 The mean value of stem strength properties 68
3 The mean value of panicle traits 69
4 The mean value of stem biochemical traits 69
5 PCR set up program for fragment 1 optimization 1 of *SiCesA4* 70
6 PCR set up program for fragment 1 optimization 2 of *SiCesA4* 70
7 PCR set up program for fragment 1 optimization 3 of *SiCesA4* 71
8 PCR set up program for fragment 1 optimization 4 of *SiCesA4* 71
9 PCR set up program for fragment 2,3,4,5 and 6 optimization 1 of *SiCesA4* 72
10 PCR set up program for fragment 2,4,5 optimization 2 of *SiCesA4* 72
11 PCR set up program for fragment 2,4,5 optimization 3 of *SiCesA4* 73
12 PCR set up program for fragment 3 optimization 4 of *SiCesA4* 73
13 PCR set up program for fragment 6 optimization 5 of *SiCCR1* 74
14 PCR set up program for fragment 7 optimization 1 of *SiCesA4* 75
15 PCR set up program for fragment 7 optimization 2 of *SiCesA4* 76
16 PCR set up program for fragment 7 optimization 3 of *SiCesA4* 77
17 PCR set up program for fragment 1 and 2 optimizations 1 of *SiCCR1* 78
18 PCR set up program for fragment 1 and 2 optimization 2 of *SiCCR1* 78