

ANALISIS TOLERANSI TANAMAN KENTANG (*Solanum tuberosum* L.) KULTIVAR IPB CP1 TRANSGENIK YANG MENGEKSPRESIKAN GEN *MmCuZn-SOD* TERHADAP CEKAMAN ABIOTIK

MUSAWIRA



PROGRAM STUDI BIOLOGI TUMBUHAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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 TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Analisis Toleransi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Kultivar IPB CP1 Transgenik yang Mengekspresikan Gen *MmCuZn-SOD* terhadap Cekaman Abiotik” adalah karya saya bersama dengan 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, Agustus 2025

Musawira
G363180068



RINGKASAN

MUSAWIRA. Analisis Toleransi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Kultivar IPB CP1 Transgenik yang Mengekspresikan Gen *MmCuZn-SOD* terhadap Cekaman Abiotik. Dibimbing oleh MIFTAHUDIN, ARIS TJAHOJEKSONO, dan HAMIM.

Tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) merupakan komoditas hortikultura penting karena berperan dalam ketahanan pangan. Namun, kentang sangat rentan terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan, tanah masam dan suhu tinggi yang menyebabkan gangguan fisiologis dan penurunan hasil. Upaya untuk meningkatkan ketahanan kentang terhadap cekaman lingkungan adalah dengan melalui rekayasa genetika, yaitu dengan mentransformasikan gen-gen toleran seperti gen superoksida dismutase (SOD) ke dalam genom tanaman kentang. Kentang kultivar IPB CP1 merupakan kentang kultivar lokal yang digunakan sebagai bahan baku industri keripik kentang. Kultivar kentang IPB CP1 transgenik yang mengekspresikan gen *MmCuZn-SOD* telah dihasilkan pada penelitian sebelumnya dan telah diuji secara *in vitro*. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengetahui toleransi tanaman kentang IPB CP1 transgenik terhadap berbagai cekaman abiotik seperti kekeringan, pH rendah, dan suhu tinggi. Secara khusus bertujuan untuk (1) menganalisis stabilitas gen *MmCu/Zn-SOD* pada generasi G0 dan G1, (2) mengevaluasi toleransi klon transgenik terhadap cekaman kekeringan, pH rendah, dan suhu tinggi, (3) menganalisis ekspresi gen *MmCu/Zn-SOD* pada setiap klon tanaman kentang IPB CP1 transgenik secara kuantitatif dengan RT-qPCR, (4) menganalisis potensi daya hasil tanaman kentang IPB CP1 transgenik generasi G0 dan G1.

Penelitian bagian pertama adalah menganalisis stabilitas sisipan gen *MmCuZn-SOD* pada genom klon kentang generasi G0 dan G1. Analisis PCR terhadap dengan gen aktin terhadap DNA tanaman transgenik dan non transgenik menunjukkan DNA semua tanaman dapat digunakan untuk analisis stabilitas. Integrasi gen *MmCuZn-SOD* dianalisis menggunakan primer spesifik dari sekuen gen *MmCuZn-SOD* dan didapatkan amplicon sebesar 633 bp pada semua tanaman transgenik yang sama dengan ukuran amplicon kontrol plasmid pGWB5-*MmCuZn-SOD*. Dari hasil ini, tanaman kentang IPB CP1 transgenik memiliki stabilitas sisipan gen *MmCuZn-SOD* yang diwariskan dari generasi G0 ke generasi G1.

Penelitian bagian kedua adalah menganalisis respon morfologi dan fisiologi tanaman IPB CP1 transgenik terhadap cekaman abiotik yaitu cekaman kekeringan, pH rendah, dan suhu tinggi. Cekaman kekeringan berpengaruh nyata terhadap peningkatan pertumbuhan dan perkembangan, biomassa, laju fotosintesis dan transpirasi, kandungan klorofil, dan produksi hasil umbi serta penurunan tingkat malondialdehyde (MDA) pada tanaman transgenik. Hal yang sama diikuti oleh perlakuan cekaman pH rendah dan suhu tinggi. Pada perlakuan cekaman kekeringan jumlah umbi pertanaman klon CP1S5 dan CP1S6 masing-masing sebanyak 6,3, dan jumlah umbi pertanaman non transgenik sebanyak 3,3. Pelakuan pH rendah kedua klon transgenik tersebut menghasilkan jumlah umbi pertanaman berturut-turut sebanyak 4,7 dan 5 dan jumlah umbi pertanaman non transgenik sebanyak 3. Perlakuan suhu tinggi kedua klon transgenik menghasilkan jumlah



umbi pertanaman sebanyak 4,7 dan 3,9 dan jumlah umbi pertanaman non transgenik sebanyak 2,8. Klon CP1S5 dan CP1S6 memiliki kemampuan toleransi yang lebih baik diantara klon transgenik dan non transgenik lainnya berdasarkan respon morfologi dan fisiologi terhadap cekaman abiotik.

Penelitian bagian ketiga adalah ekspresi gen dan aktivitas antioksidan selama perlakuan cekaman abiotik. Secara umum, semua tanaman transgenik memiliki ekspresi gen *MmCuZn-SOD* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman non transgenik pada kondisi tanpa perlakuan dan cekaman. Pada kondisi normal, CP1S5 memiliki ekspresi 12 kali dan CP1S6 memiliki ekspresi 24 kali lebih tinggi dibandingkan dengan non transgenik. Pada perlakuan cekaman kekeringan, klon CP1S5 memiliki ekspresi 9 kali dan CP1S6 memiliki ekspresi 13 kali lebih tinggi dibandingkan non transgenik. Pada kondisi cekaman pH rendah, klon CP1S5 memiliki ekspresi yang lebih stabil yaitu sebanyak 12,3 kali dan CP1S6 memiliki ekspresi 15 kali lebih tinggi dibandingkan non transgenik. Selain itu, semua tanaman transgenik juga memiliki aktivitas enzim yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman non transgenik. Pada cekaman kekeringan, CP1S6 memiliki aktivitas enzim SOD sebesar 19 U/mg protein dan katalase 11 U/mg protein. Pada perlakuan pH rendah, CP1S5 memiliki aktivitas enzim SOD sebesar 20 U/mg protein dan katalase 8 U/mg protein. Pada cekaman suhu tinggi, CP1S5 memiliki aktivitas enzim SOD sebesar 11 U/mg protein dan katalase 5,5 U/mg protein. Klon CP1S5 dan CP1S6 memiliki tingkat ekspresi *MmCuZn-SOD* dan aktivitas enzim SOD dan CAT lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya pada kondisi cekaman abiotik.

Penelitian bagian keempat adalah analisis potensi daya hasil klon tanaman transgenik pada generasi klonal G0 dan G1. Hasil menunjukkan bahwa, klon tanaman transgenik memiliki potensi produksi yang tinggi dibandingkan dengan CP1 non transgenik. Klon CP1S6 pada generasi klonal G0 memiliki potensi produksi sebanyak 0,45 ton/ha, sedangkan CP1 non transgenik sebanyak 0,29 ton/ha. Pada generasi klonal G1, klon CP1S6 memiliki potensi produksi sebanyak 1,85 ton/ha, sedangkan non transgenik sebanyak 1,73 ton/ha. Klon tanaman IPB CP1 transgenik memiliki potensi produksi yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman non transgenik untuk skala yang lebih besar.

Studi ini memberikan gambaran tentang pengaruh ekspresi gen *MmCuZn-SOD* pada tanaman kentang transgenik yang mampu meningkatkan toleransi tanaman kentang dengan mempertahankan nilai laju fotosintesis, konduktansi stomata, laju transpirasi serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman pada saat terpapar cekaman kekeringan, pH rendah, dan suhu tinggi. Gen *MmCuZn-SOD* memiliki kontribusi dalam mempertahankan produksi umbi dan berbagai respon morfologi dan fisiologi pada kondisi tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi terhadap pengetahuan tentang peran gen *MmCuZn-SOD* dalam meningkatkan toleransi terhadap cekaman abiotik secara simultan. Penggunaan kentang transgenik dengan memanfaatkan rekayasa genetik terhadap jalur ROS dapat meningkatkan ketahanan tanaman tanpa mengorbankan produktivitas. Penggunaan klon transgenik yang toleran cekaman abiotik dapat memenuhi kebutuhan permintaan masyarakat untuk kentang industri.

Kata kunci: daya hasil, kentang keripik, respon fisiologi dan morfologi, RT-qPCR, stabilitas gen

SUMMARY

MUSAWIRA. Tolerance Response of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Cv. IPB CP1 Transgenic Expressing *MmCuZn-SOD* Gene to Abiotic Stresses. Supervised by MIFTAHUDIN, ARIS TJAHJOLEKSONO, and HAMIM.

Potatoes (*Solanum tuberosum* L.) are an essential horticultural commodity, significantly contributing to food security. However, potato productivity is highly affected by abiotic stresses such as drought, acidic soils, and high temperatures, which lead to physiological disorders and reduced crop yields. Several efforts to enhance potato resistance to environmental stress have been focusing on genetic engineering, specifically by introducing tolerant genes, such as the superoxide dismutase (SOD) gene, into the potato genome. The cultivar IPB CP1 is a local potato variety commonly used to produce raw material for potato chip industry. Previous studies have successfully generated transgenic IPB CP1 that express the *MmCuZn-SOD* gene and analyzed them by in vitro. This study aimed to evaluate the tolerant of these transgenic IPB CP1 to various abiotic stresses, including drought, low pH, and high temperature. Specifically, the objectives are to: (1) analyze the stability of *MmCu/Zn-SOD* transgenes in the G1 clonal generation, (2) evaluate transgenic clones that are tolerant to drought, low pH, and high temperature stress, (3) quantitatively analyze the expression of *MmCu/Zn-SOD* genes in each clone of transgenic IPB CP1 using RT-qPCR, and (4) analyze the potential yield of transgenic IPB CP1 potato plants..

The first part of the study focused on analyzing the stability of the *MmCuZn-SOD* gene insertion in the genomes of G0 and G1 generation potato clones. PCR analysis of the actin gene in both transgenic and non transgenic plants demonstrated that the DNA from all samples was suitable for stability analysis. The integration of the *MmCuZn-SOD* gene was evaluated using specific primers based on the *MmCuZn-SOD* gene sequence, resulting in the amplification of a 633 bp fragment in all transgenic plants. This size matched the control amplicons derived from the *pGWB5-MmCuZn-SOD* plasmid. These findings indicate that the transgenic IPB CP1 plants exhibit stability in the *MmCuZn-SOD* gene insertion, which is passed down from the G0 generation to the G1 generation.

The second part of the research was to analyze the morphological and physiological responses of transgenic IPB CP1 plants to abiotic stresses, namely drought stress, low pH, and high temperature. Drought stress significantly increased growth and development, biomass, photosynthesis and transpiration rates, chlorophyll content, and tuber yield production and decreased malondialdehyde (MDA) levels in transgenic plants. The same thing was followed by low pH and high temperature stress treatments. In the drought stress treatment, the number of tubers per plant of CP1S5 and CP1S6 clones was 6,3 each, and the number of tubers per non transgenic plant was 3,3. The low pH treatment of the two transgenic clones resulted in the number of tubers per plant of 4.7 and 5, respectively, and the number of tubers per non transgenic plant of 3. The high temperature treatment of the two transgenic clones resulted in the number of tubers per plant of 4,7 and 3,9, respectively, and the number of tubers per non transgenic plant of 2,8. Clones CP1S5 and CP1S6 have better tolerance ability among other transgenic and non



transgenic clones based on morphological and physiological responses to abiotic stress.

The third part of the study was gene expression and antioxidant activity during abiotic stress treatment. In general, all transgenic plants had higher expression of *MmCuZn-SOD* gene compared with nontransgenic plants under untreated and stress conditions. Under normal conditions, CP1S5 had 12 times higher expression and CP1S6 had 24 times higher expression compared to nontransgenic plants. Under drought stress treatment, clone CP1S5 had an expression 9 times and CP1S6 had an expression 13 times higher than the non transgenic. Under low pH stress conditions, clone CP1S5 had a more stable expression of 12.3 times and CP1S6 had a 15 times higher expression than non transgenic. In addition, all transgenic plants also had higher enzyme activity compared to non transgenic plants. Under drought stress, CP1S6 had SOD enzyme activity of 19 U/mg protein and catalase 11 U/mg protein. In low pH treatment, CP1S5 has SOD enzyme activity of 20 U/mg.protein and catalase 8 U/mg protein. At high temperature stress, CP1S5 had SOD enzyme activity of 11 U/mg protein and catalase 5.5 U/mg protein. Clones CP1S5 and CP1S6 had higher levels of *MmCuZn-SOD* expression and SOD and CAT enzyme activities compared to other plants under abiotic stress conditions.

The fourth part focused on analyzing the yield potential of transgenic crop clones in the G0 and G1 clonal generations. The results indicated that the transgenic crop plant clones have a production potential comparable to that of the non-transgenic clone CP1. In the G0 clonal generation, CP1S6 has a production potential of 0,45 tons/ha while the non transgenic CP1 is 0,29 tons/ha. In the G1 clonal generation, the CP1S6 has a production potential of 1,85 tons/ha while the non transgenic is 1,73 tons/ha. The transgenic IPB CP1 plant clones demonstrate superior production potential than non transgenic for large-scale cultivation. This advantage is attributed to their overexpression of the SOD gene, which enhances their tolerance to various environmental conditions.

This study examines the impact of the *MmCuZn-SOD* gene expression in transgenic potato plants, highlighting its role in improving stress tolerance. The gene helps maintain photosynthetic rates, stomatal conductance, transpiration rates, and overall plant growth and development under conditions of drought, low pH, and high temperatures. Additionally, the *MmCuZn-SOD* gene contributes to sustaining tuber yield and supports various morphological and physiological responses during these adverse environmental conditions.

This study contributes to the role of SOD gene expression in simultaneously increasing tolerance to abiotic stress. Transgenic potato used by utilizing genetic engineering against the ROS pathway can increase plant resistance without sacrificing productivity. The use of tolerant transgenic clones can meet the needs of public demand for industrial potatoes.

Keywords: chip potato, gene stability, morphological and physiological responses, RT-qPCR, yield potential



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.

ANALISIS TOLERANSI TANAMAN KENTANG (*Solanum tuberosum* L.) KULTIVAR IPB CP1 TRANSGENIK YANG MENGEKSPRESIKAN GEN *MmCuZn-SOD* TERHADAP CEKAMAN ABIOTIK

MUSAWIRA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Biologi Tumbuhan

**PROGRAM STUDI BIOLOGI TUMBUHAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
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. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.S.
2. Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P., M.Si.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

1. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.S.
2. Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P., M.Si.

Judul Disertasi : Analisis Toleransi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.)
Kultivar IPB CP1 Transgenik yang Mengekspresikan Gen
MmCuZn-SOD terhadap Cekaman Abiotik

Nama : Musawira
NIM : G363180068

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si.

Pembimbing 2:
Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, DEA.

Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si.
NIP 196503221990021001

Dekan FMIPA IPB
Dr. Berry Juliandi, S.Si, M.Si.
NIP 197807232007011001

Tanggal Ujian : 28 Juli 2025

Tanggal Lulus :



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga penulis berhasil menyelesaikan penelitian dan disertasi yang berjudul “Analisis Toleransi Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.) Kultivar IPB CP1 Transgenik yang Mengekspresikan Gen *MmCuZn-SOD* terhadap Cekaman Abiotik”. Penelitian ini didanai oleh program Pendidikan Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU). Ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si. sebagai ketua komisi Pembimbing yang telah meluangkan waktu dalam membimbing dan memberi arahan, nasihat, motivasi, dan semangat selama penelitian dan penulisan disertasi ini.
2. Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, DEA. sebagai anggota komisi pembimbing yang telah memberikan ilmu, waktu, arahan, nasihat dan motivasi dalam penyelesaian studi dan penulisan disertasi ini.
3. Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si. sebagai anggota komisi pembimbing yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing dan memberi arahan selama penyelesaian studi dan penulisan disertasi ini.
4. Prof. Dr. Ir. Suharsono, DEA (Alm) atas segala nasihat, bimbingan dan arahnya selama studi Doktoral.
5. Dr. Ir. Ence Darmo Jaya Supena, M.S. dan Dr. Sintho Wahyuning Ardie, S.P., M.Si selaku penguji luar komisi atas saran dan masukan yang diberikan.
6. Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si selaku ketua program studi Biologi Tumbuhan atas segala masukan dan arahan yang diberikan selama penyelesaian studi hingga selesai.
7. Seluruh dosen dan staf program studi Biologi Tumbuhan atas ilmu yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
8. Teman-teman seperjuangan BOT 2017 dan BOT 2018 atas semangat dan kebersamaan selama proses studi.
9. Keluarga di Laboratorium Rekayasa Sel dan Jaringan Tanaman, mbak Pepi Elvavina, Teh Nia Dahniar, Teh Sarah, Pak Mulya, Pak Asep dan Pak Sairi atas bantuan kepada penulis selama mengerjakan penelitian serta rekan penelitian yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas bantuan dan dukungan selama penelitian dan penulisan disertasi ini.
10. Orang tua penulis yaitu Mustang dan Sitti Rabiati serta adik penulis yaitu Mugfira dan Mukminati dan seluruh keluarga besar atas doa dan semangat yang selalu diberikan selama penulis menjalani pendidikan Doktoral di IPB.
11. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan dan penyelesaian disertasi ini hingga selesai.

Semoga disertasi ini nantinya dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2025

Musawira

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
LAMPIRAN	v
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	4
1.6 Ruang Lingkup	4
1.7 Hipotesis	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Produksi Tanaman Kentang	6
2.2 Respon dan Toleransi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik	7
2.3 <i>Reactive Oxygen Species</i> (ROS)	10
2.4 Respon Tanaman terhadap <i>Reactive Oxygen Species</i> (ROS)	12
2.5 Superoksida Dismutase (SOD)	14
2.6 Analisis Ekspresi Gen pada Tanaman	17
III STABILITAS GEN <i>MmCuZn-SOD</i> PADA KENTANG IPB CP1 TRANSGENIK GENERASI KLONAL G0 DAN G1	19
3.1 Abstrak	19
3.2 Pendahuluan	19
3.3 Metode	20
3.4 Hasil dan Pembahasan	22
3.5 Simpulan	24
IV RESPON MORFOLOGI DAN FISILOGI TANAMAN KENTANG KULTIVAR IPB CP1 TRANSGENIK TERHADAP CEKAMAN ABIOTIK	25
4.1 Abstrak	25
4.2 Pendahuluan	25
4.3 Metode	26
4.4 Hasil dan Pembahasan	29
4.5 Simpulan	47
V EKSPRESI GEN <i>MmCuZn-SOD</i> TANAMAN KENTANG KULTIVAR IPB CP1 TRANSGENIK PADA KONDISI CEKAMAN ABIOTIK	49
5.1 Abstrak	49
5.2 Pendahuluan	49
5.3 Metode	51
5.4 Hasil dan Pembahasan	53
5.5 Simpulan	60
VI DAYA HASIL TANAMAN KENTANG KULTIVAR IPB CP1 TRANSGENIK	61



6.1	Abstrak	61
6.2	Pendahuluan	61
6.3	Metode	62
6.4	Hasil dan Pembahasan	63
6.5	Simpulan	65
VII PEMBAHASAN UMUM		66
VIII SIMPULAN DAN SARAN		71
8.1	Simpulan	71
8.2	Saran	71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN		88
RIWAYAT HIDUP		100



DAFTAR TABEL

1	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap tinggi tanaman dan diameter batang kentang IPB CP1 pada 6 MST	30
2	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap jumlah daun dan buku kentang IPB CP1 pada 6 MST	30
3	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap bobot basah dan bobot kering tajuk kentang IPB CP1 pada 6 MST	31
4	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap bobot basah dan bobot kering akar kentang IPB CP1 pada 6 MST	31
5	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap kandungan klorofil kentang IPB CP1 pada 6 MST	32
6	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap laju fotosintesis, konduktansi stomata, dan laju transpirasi kentang IPB CP1 pada 6 MST	33
7	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap kandungan MDA kentang IPB CP1 pada 6 MST	34
8	Pengaruh cekaman kekeringan terhadap jumlah dan bobot umbi kentang IPB CP1 pada 11 MST	35
9	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap tinggi tanaman dan diameter batang kentang IPB CP1 pada 6 MST	36
10	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap jumlah daun dan buku kentang IPB CP1 pada 6 MST	36
11	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap bobot basah dan kering tajuk kentang IPB CP1 pada 6 MST	37
12	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap bobot basah dan kering akar kentang IPB CP1 pada 6 MST	37
13	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap kandungan klorofil kentang IPB CP1 pada 6 MST	38
14	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap laju fotosintesis, konduktansi stomata, dan laju transpirasi kentang IPB CP1 pada 6 MST	39
15	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap kandungan MDA kentang IPB CP1 pada 6 MST	39
16	Pengaruh cekaman pH rendah terhadap jumlah dan bobot kentang IPB CP1 pada 11 MST	41
17	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap tinggi tanaman dan diameter batang kentang IPB CP1 pada 6 MST	41
18	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap jumlah daun dan buku kentang IPB CP1 pada 6 MST	41
19	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap bobot basah dan kering tajuk kentang IPB CP1 pada 6 MST	43
20	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap bobot basah dan kering akar kentang IPB CP1 pada 6 MST	43
21	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap kandungan klorofil kentang IPB CP1 pada 6 MST	44
22	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap laju fotosintesis, konduktansi stomata, dan laju transpirasi kentang IPB CP1 pada 6 MST	44

23	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap kandungan MDA kentang IPB CP1 pada 6 MST	46
24	Pengaruh cekaman suhu tinggi terhadap jumlah dan bobot umbi kentang IPB CP1 pada 11 MST	47
25	Tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buku dan diameter batang kentang IPB CP1 generasi klonal G0	63
26	Jumlah umbi, bobot umbi, dan potensi produksi kentang IPB CP1 generasi klonal G0	64
27	Tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah buku dan diameter batang kentang IPB CP1 generasi klonal G1	64
28	Jumlah umbi, bobot umbi, dan potensi produksi kentang IPB CP1 generasi klonal G1	65

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian toleransi tanaman kentang transgenik IPB CP1 yang mengandung gen <i>MmCuZn-SOD</i> terhadap cekaman abiotik	5
2	Produksi dan lokalisasi pembetukan ROS	10
3	Lokasi superoksida dismutase pada kompartemen sel tanaman	15
4	Ilustrasi plot amplifikasi dengan qPCR	18
5	Peta daerah T-DNA plasmid pGWB5- <i>MmCuZn-SOD</i>	20
6	Hasil elektroforesis DNA genom tanaman kentang	22
7	Hasil amplifikasi gen aktin pada genom tanaman kentang	23
8	Hasil amplifikasi gen <i>MmCuZn-SOD</i> pada genom tanaman kentang	24
9	Kelembaban tanah pada media perlakuan normal dan perlakuan cekaman kekeringan pada sepuluh hari perlakuan	29
10	Keragaan tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik di bawah kondisi cekaman kekeringan	31
11	Keragaan hasil umbi tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik di bawah kondisi cekaman kekeringan	34
12	Keragaan tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik pada kondisi cekaman pH rendah	37
13	Keragaan hasil umbi tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik pada kondisi cekaman pH rendah	40
14	Keragaan tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik pada kondisi cekaman suhu tinggi. Bar: 10 cm.	44
15	Keragaan hasil umbi tanaman IPB CP1 non transgenik dan transgenik pada kondisi cekaman suhu tinggi. Bar = 2 cm.	47
16	RNA total kentang IPB CP1	53
17	Amplifikasi gen aktin pada genom dan cDNA tanaman kentang IPB CP1	54
18	Amplifikasi gen <i>MmCuZn-SOD</i> pada cDNA tanaman kentang IPB CP1	54
19	Ekspresi gen <i>MmCuZn-SOD</i> pada kondisi normal dan kekeringan	55
20	Aktivitas enzim SOD dan katalase pada kondisi normal dan kekeringan	56

21	Eksresi gen <i>MmCuZn-SOD</i> pada kondisi normal dan pH rendah	57
22	Aktivitas enzim SOD dan katalase pada kondisi normal dan cekaman pH rendah	58
23	Aktivitas enzim SOD dan katalase pada kondisi normal dan cekaman suhu tinggi	59
24	Mekanisme toleransi kentang transgenik terhadap cekaman abiotik	67

LAMPIRAN

1	Analisis sidik ragam tinggi tanaman terhadap cekaman kekeringan	88
2	Analisis sidik ragam diameter batang terhadap cekaman kekeringan	88
3	Analisis sidik ragam jumlah daun terhadap cekaman kekeringan	88
4	Analisis sidik ragam jumlah buku terhadap cekaman kekeringan	88
5	Analisis sidik ragam bobot basah tajuk terhadap cekaman kekeringan	89
6	Analisis sidik ragam bobot kering tajuk terhadap cekaman kekeringan	89
7	Analisis sidik ragam bobot basah akar terhadap cekaman kekeringan	89
8	Analisis sidik ragam bobot kering akar terhadap cekaman kekeringan	89
9	Analisis sidik ragam kandungan klorofil total terhadap cekaman kekeringan	90
10	Analisis sidik ragam konsuktansi stomata terhadap cekaman kekeringan	90
11	Analisis sidik ragam laju transpirasi terhadap cekaman kekeringan	90
12	Analisis sidik ragam kandungan MDA terhadap cekaman kekeringan	90
13	Analisis sidik ragam jumlah umbi terhadap cekaman kekeringan	91
14	Analisis sidik ragam bobot umbi terhadap cekaman kekeringan	91
15	Analisis sidik ragam tinggi tanaman terhadap cekaman pH rendah	91
16	Analisis sidik ragam diameter batang terhadap cekaman pH rendah	91
17	Analisis sidik ragam jumlah daun terhadap cekaman pH rendah	92
18	Analisis sidik ragam jumlah buku terhadap cekaman pH rendah	92
19	Analisis sidik ragam bobot basah tajuk terhadap cekaman pH rendah	92
20	Analisis sidik ragam bobot kering tajuk terhadap cekaman pH rendah	92
21	Analisis sidik ragam bobot basah akar terhadap cekaman pH rendah	93
22	Analisis sidik ragam bobot kering akar terhadap cekaman pH rendah	93
23	Analisis sidik ragam kandungan klorofil total terhadap cekaman pH rendah	93
24	Analisis sidik ragam laju fotosintesis terhadap cekaman pH rendah	93
25	Analisis sidik ragam konduktansi stomata terhadap cekaman pH rendah	94
26	Analisis sidik ragam laju transpirasi terhadap cekaman pH rendah	94
27	Analisis sidik ragam kandungan MDA terhadap cekaman pH rendah	94
28	Analisis sidik ragam jumlah umbi terhadap cekaman pH rendah	94
29	Analisis sidik ragam bobot umbi terhadap cekaman pH rendah	95
30	Analisis sidik ragam tinggi tanaman terhadap cekaman suhu tinggi	95
31	Analisis sidik ragam diameter batang terhadap cekaman suhu tinggi	95
32	Analisis sidik ragam jumlah daun terhadap cekaman suhu tinggi	95
33	Analisis sidik ragam jumlah buku terhadap cekaman suhu tinggi	96



34
35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

@Hak cipta milik IPB University

Analisis sidik ragam bobot basah tajuk terhadap cekaman suhu tinggi	96
Analisis sidik ragam bobot kering tajuk terhadap cekaman suhu tinggi	96
Analisis sidik ragam bobot basah akar terhadap cekaman suhu tinggi	96
Analisis sidik ragam bobot kering akar terhadap cekaman suhu tinggi	97
Analisis sidik ragam kandungan klorofil total terhadap cekaman suhu tinggi	97
Analisis sidik ragam laju fotosintesis terhadap cekaman suhu tinggi	97
Analisis sidik ragam konduktansi stomata terhadap cekaman suhu tinggi	98
Analisis sidik ragam laju transpirasi terhadap cekaman suhu tinggi	98
Analisis sidik ragam kandungan MDA terhadap cekaman suhu tinggi	98
Analisis sidik ragam jumlah umbi terhadap cekaman suhu tinggi	99
Analisis sidik ragam bobot umbi terhadap cekaman suhu tinggi	99

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.