



# **ANALISIS GENETIK DAN STUDI METABOLOMIK TOLERANSI PENGAIRAN TERBATAS PADA TANAMAN CABAI (*Capsicum annuum* L.)**

**ZAH RATUL MILLAH**



**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2021**



@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.



## PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi berjudul “Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Penyiraman Terbatas pada Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.)” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

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

Bogor, Februari 2021

*Zahratul Millah*  
NIM A263130021

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



## RINGKASAN

ZAHRATUL MILLAH. Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Pengairan Terbatas pada Tanaman Cabai (*Capsicum annuum* L.). Dibimbing oleh MUHAMAD SYUKUR sebagai ketua komisi pembimbing, SOBIR dan SINTHO WAHYUNING ARDIE sebagai anggota komisi pembimbing.

Cabai merupakan salah satu komoditi hortikultura yang sangat penting dan bernilai ekonomis tinggi. Produksi cabai nasional tergolong masih rendah dan tidak stabil. Ketidak stabilan produksi ini antara lain disebabkan oleh luasan areal pertanaman cabai yang selalu berubah-ubah, salah satunya akibat alih fungsi lahan serta produktivitas tanaman yang masih rendah akibat kondisi lingkungan tumbuh yang berubah. Pemanfaatan lahan kering untuk budidaya tanaman cabai menjadi salah satu alternatif yang dapat ditempuh untuk meningkatkan produksi cabai. Indonesia memiliki potensi lahan kering yang sangat besar, namun demikian usahatani tanaman pangan dan hortikultura semusim di lahan kering terutama di luar pulau Jawa produksinya masih rendah akibat kendala biofisik lahan serta masalah kekurangan air. Kekurangan air merupakan salah satu pembatas pada produksi cabai. Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas cabai di lahan kering adalah dengan penggunaan varietas unggul toleran pengairan terbatas. Evaluasi toleransi pengairan terbatas pada tanaman cabai untuk mengidentifikasi perbedaan respon perlu dilakukan dalam rangka mendapatkan tanaman cabai yang toleran terhadap kekurangan air.

Perakitan varietas toleran pengairan terbatas memerlukan adanya tetua donor yang memiliki toleransi terhadap pengairan terbatas dan informasi tentang kendali genetik dari sifat tersebut. Pemahaman dasar genetik toleransi pengairan terbatas pada tanaman merupakan prasyarat untuk mengembangkan genotipe unggul. Kekurangan air umumnya mempengaruhi proses fisiologis, biokimiawi, dan molekuler berupa gangguan homeostasis metabolit dan menyebabkan perubahan komposisi kimia yang signifikan pada tanaman yang memerlukan penyesuaian temporal dari jalur metabolismenya. Analisis metabolomik genotipe cabai dengan tingkat toleransi berbeda dapat dilakukan untuk mengungkap senyawa metabolit yang penting pada tanaman cabai terkait toleransinya terhadap pengairan terbatas. Profil metabolisme cabai, terutama dalam penentuan tingkat toleransi tanaman terhadap tekanan pengairan terbatas adalah informasi penting dalam program pemuliaan tanaman cabai toleran pengairan terbatas.

Penelitian ini berjudul Analisis genetik dan studi metabolomik toleransi pengairan terbatas pada tanaman cabai. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi lingkungan seleksi, menyeleksi tanaman cabai yang toleran terhadap cekaman kekeringan serta mempelajari parameter genetik dan daya gabung umum (DGU) serta daya gabung khusus (DGK) dari genotipe-genotipe yang digunakan terkait toleransi terhadap cekaman kekeringan.

Interval pengairan 7 hari atau setara dengan kadar air media 52-58% kapasitas lapang dapat digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan respon di antara 23 genotipe cabai terhadap cekaman kekeringan di dalam pot, dan konsentrasi PEG 15% atau setara dengan potensial osmotik -4.1 Bar dapat digunakan untuk mengidentifikasi perbedaan respon di antara 22 genotipe cabai

terhadap cekaman kekeringan pada fase perkecambahan. Karakter rasio akar tajuk dapat digunakan sebagai karakter seleksi toleransi pengairan terbatas saat fase vegetatif. Karakter panjang hipokotil, panjang akar, rasio panjang akar dan panjang hipokotil, panjang kecambah, bobot kering hipokotil, dan daya berkecambah dapat digunakan sebagai karakter seleksi untuk menduga toleransi kekeringan genotipe cabai pada fase perkecambahan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa terdapat perbedaan tingkat toleransi terhadap kekeringan dari genotipe cabai yang diuji. Genotipe cabai IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1, Yuni dan Syakira termasuk ke dalam kategori genotipe sangat toleran, sementara genotipe IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita dan Jalapeno termasuk dalam kategori genotipe peka, dan genotipe C18 termasuk dalam kategori toleran berdasarkan evaluasi toleransi terhadap pengairan terbatas di dalam pot. Genotipe cabai IPB C7, IPB C120, dan Jalapeno merupakan genotipe yang sangat toleran terhadap kekurangan air, genotipe IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145 dan SSP termasuk genotipe toleran terhadap kekurangan air, genotipe IPB C5, IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, dan Anies termasuk genotipe moderat toleran dan genotipe IPB C10, IPB C20 dan Seloka termasuk genotipe peka terhadap kekurangan air berdasarkan karakter perkecambahan.

Analisis parameter genetik berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan (ISK), memperlihatkan adanya pengaruh nyata ragam aditif pada karakter jumlah akar lateral, dan pengaruh nyata ragam dominan pada karakter jumlah buah. Pada kondisi pengairan terbatas, pengaruh nyata ragam aditif juga terlihat pada karakter jumlah akar lateral, sedangkan pengaruh nyata ragam dominan terlihat pada karakter berat kering akar, jumlah buah dan bobot buah.

Analisis Daya Gabung Umum (DGU) berdasar nilai ISK memperlihatkan pengaruh nyata hanya terlihat pada karakter jumlah buah. Tetua dengan daya gabung umum terbaik berdasarkan nilai ISK untuk karakter jumlah buah adalah IPB C7. Analisis Daya Gabung Umum (DGU) pada kondisi pengairan terbatas memperlihatkan adanya pengaruh nyata pada karakter panjang akar, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah. Tetua IPB C7 merupakan tetua dengan nilai DGU terbaik pada karakter panjang akar, rasio akar tajuk dan jumlah buah pada kondisi pengairan terbatas. Tetua dengan nilai DGU terbaik untuk karakter bobot buah pada kondisi penyiraman terbatas adalah Seloka.

Hasil analisis daya gabung pada persilangan setengah dialel berdasar nilai ISK menunjukkan bahwa daya gabung khusus (DGK) memiliki pengaruh nyata pada karakter rasio akar tajuk dan jumlah buah. DGK terbaik berdasarkan nilai ISK untuk karakter rasio akar tajuk dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka, sedangkan nilai DGK terbaik untuk karakter jumlah buah berdasarkan nilai ISK dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-8. Pengaruh nyata DGK pada kondisi pengairan terbatas terlihat pada karakter berat kering akar, jumlah cabang, rasio akar tajuk, jumlah buah dan bobot buah. Nilai DGK terbaik untuk karakter bobot kering akar dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x IPB C-7, nilai DGK terbaik untuk jumlah cabang dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-18 x SSP, nilai DGK terbaik untuk karakter rasio akar tajuk dan jumlah buah dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-8 x Seloka, dan nilai DGK terbaik untuk karakter bobot buah dimiliki oleh kombinasi persilangan IPB C-10 x Seloka.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

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



Teridentifikasi 83 senyawa volatil berdasarkan hasil evaluasi metabolomik terhadap tiga genotip cabai dengan tingkat toleransi yang berbeda yang tumbuh di bawah kondisi normal dan kekeringan, tetapi hanya 10 metabolit, yaitu: neophytadiene, ester-etil asam linolenat, asam linolenat, gamma-sitosterol, phytol, Alpha-tocopherol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate, Ergost-5-en-3-ol dan Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene yang dapat membedakan genotipe berdasarkan perlakuan penyiraman yang diterapkan dan hanya empat metabolit yang menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kondisi normal dan tercekam kekeringan, yaitu asam linolenat, alfa-tokoferol, gamma sitosterol dan squalene. Dua metabolit yaitu Alfa tokoferol dan squalene berkorelasi positif nyata dengan nilai yang tinggi dengan karakter daya berkecambah dan bobot buah. Hasil ini mengindikasikan bahwa kedua metabolit ini dapat dijadikan sebagai karakter seleksi untuk toleransi terhadap pengairan terbatas.

Kata kunci: cabai, daya gabung, metabolomik, toleransi kekeringan

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.



## SUMMARY

ZAHRATUL MILLAH. Genetic Analysis and Metabolomic Studies of Less Irrigation Tolerance in Chili (*Capsicum annuum* L.). Supervised by MUHAMAD SYUKUR as chairman of the supervisory commission, SOBIR and SINTHO WAHYUNING ARDIE as members of the supervisory commission.

Chili is one of the most notable horticultural commodities which have high economic value. However, the national chili production is still low and unstable. This instability in production is due to changes in chili agricultural land area which resulted from land conversion and low plant productivity which caused by changing growing environment conditions. Utilization of dry land for cultivation of chili plants is an alternative that can be chosen to increase chili production. Indonesia has enormous dry land potential, however, annual crop farming and horticulture on dry land, especially outside Java, has low production due to biophysical constraints on land and water deficit. Water deficit is one of the limitations on chili production. An effort can be done to increase chili productivity in dry land is the cultivation of superior varieties which are tolerant to less irrigation. Evaluation of less irrigation tolerance of chili plants to identify the response differences need to be conducted to obtain chili plants that are tolerant to water deficit.

Breeding of less irrigation tolerance varieties requires donor parents that have less irrigation tolerance and known information on genetic control of the trait. Understanding the genetic basis of limited water tolerance of plants is a prerequisite for developing superior genotypes. Lack of water generally affects physiological, biochemical, and molecular processes in the form of disruption of metabolite homeostasis and causes significant changes in the chemical composition of plants that require temporal adjustment in the metabolic pathways. Metabolomic analysis of chili genotypes with different tolerance levels can be conducted to investigate important metabolite compounds in chili plants related to limited water. The metabolic profile of chilies, especially in determining the level of limited water tolerance to limited irrigation stress, is essential information in developing limited water tolerant chili plant breeding program.

This study is entitled “genetic analysis and metabolomic study of less irrigation tolerance of chili plants”. The study aimed to evaluate the selection environment, select chili plants that are tolerant to less irrigation stress and determine the genetic parameters, the general combining ability (GCA) and the specific combining ability (SCA) of the genotypes used in relation to less irrigation tolerance.

An irrigation interval of 7 days or equivalent to 52-58% media water content of field capacity were used to identify differences in response between 23 genotypes of chili to less irrigation in pots. A polyethylen glycol (PEG) concentration of 15% or equivalent to osmotic potential of -4.1 Bar were used to identify differences in response between 22 chili genotypes to drought stress during the germination phase. The root shoot ratio character was determined as selection character for less irrigation tolerance during the vegetative phase. Meanwhile, selection characters to estimate the less irrigation tolerance of chili



genotypes in the germination phase were the hypocotyl length, root length, ratio of root length to hypocotyl length, sprout length, hypocotyl dry weight, and percentage of germination. The study results showed that there were differences in the level of drought tolerance from the chili genotypes tested. Based on evaluation at vegetative phase showed that IPB C-5, IPB C-7, IPB C-8, IPB C-12, IPB C-20, IPB C-37, IPB C-145, SSP, Gada MK F1, and Yuni were categorized as very tolerant genotypes and IPB C-10, IPB C-19, IPB C-51, IPB C-120, IPB C-142, IPB C-143, IPB C-160, Seloka, Anies, Bonita, and Jalapeno were categorized as sensitive, and IPB C-18 was categorized as tolerant. Based on evaluation at germination stage showed that IPB C7, IPB C120, and Jalapeno genotypes were very tolerant to water shortage and IPB C8, IPB C12, IPB C18, IPB C19, IPB C37, IPB C145, and SSP were tolerant, then IPB C51, IPB C142, IPB C143, Gada, Syakira, Yuni, Bonita, and Anies were categorized as moderate tolerant genotypes, while IPB C10, IPB C20, and Seloka genotypes were sensitive to water shortages.

Analysis of genetic parameters based on drought sensitivity index (DSI), showed a significant effect of additive variance from the character of the lateral roots number, and a significant effect of the dominant variance on the number of fruit. In less irrigation conditions, the significant effect of additive variance was also observed in the lateral roots number, while the significant effect of the dominant variance was found in the root dry weight, number of fruits and fruit weight.

General Combining Ability (GCA) analysis according to the DSI displayed significant effect only in the number of fruit. Genotype with the best GCA based on the DSI in the number of fruit was IPB C7. Analysis of GCA in less irrigation conditions exhibited a significant effect in the character of root length, root shoot ratio, number of fruits and fruit weight. IPB C7 were the genotype with the best GCA values on the characters of root length, root to shoot ratio and number of fruits under less irrigation conditions, while Seloka was the genotype with the best GCA value for fruit weight under less irrigation conditions.

The analysis results of combining ability in half diallel cross based on the DSI value showed that the specific combining ability (SCA) had a significant effect on root to shoot ratio and number of fruits. The best SCA based on the DSI value for the root to shoot ratio was observed in combination of IPB C-10 x Seloka crosses, while the best SCA value for the number of fruit according to DSI was shown in the combination of IPB C-10 x IPB C-8 crosses. The significant effect of SCA in less irrigation conditions was found in root dry weight, number of branches, root to shoot ratio, number of fruit and fruit weight. The best SCA value for the root dry weight was shown in the crossing combination of IPB C-10 x IPB C-7, the best SCA value for the number of branches was found in crossing combination of IPB C-18 x SSP, the utmost SCA value for the root to shoot ratio and number of fruit was observed in the crossing combination of IPB C-8 x Seloka, and the best SCA value for fruit weight was noted in crossing combination of IPB C-10 x Seloka.

Eighty three volatile compounds were identified based on the results of the metabolomic evaluation of three chili genotypes with different tolerance levels that grew under normal and less-irrigation conditions. Only 10 metabolites, namely: neophytadiene, ester-ethyl linolenic acid, linolenic acid, gamma-



sitosterol, phytol, Alpha-tocopherol, squalene, i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate, Ergost-5-en-3-ol and Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene which can distinguish genotypes based on watering treatment applied. From the ten metabolites, there are only four which showed significant different concentration between normal and less-irrigation conditions, namely linolenic acid, alpha-tocopherol, gamma sitosterol and squalene. Alpha-tocopherol and squalene were significant and positively correlated with the percentage of germination and fruit weight characters. These results indicate that selection for tolerance to limited irrigation can use these two metabolites as selection characters.

**Key words:** chili, combining ability, drought tolerance, metabolomics

@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

## © Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2021 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 GENETIK DAN STUDI METABOLOMIK TOLERANSI PENGAIRAN TERBATAS PADA TANAMAN CABAI (*Capsicum annum* L.)**

**ZAHRATUL MILLAH**

Disertasi  
Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Doktor pada  
Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman

**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
BOGOR  
2021**

- 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

Penguji pada Ujian Tertutup : Dr Willy Bayuardi S, SP MSi  
Dr Desta Wirnas, SP MSi

Penguji pada Ujian Terbuka : Dr Desta Wirnas, SP MSi  
Dr Redy Gaswanto, SP MP



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



Judul Disertasi : Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Pengairan Terbatas pada Tanaman Cabai (*Capsicum annum* L)

Nama : Zahratul Millah

NIM : A263130021

Disetujui oleh

Pembimbing 1:  
Prof Dr Muhamad Syukur, SP MSi

Pembimbing 2:  
Prof Dr Ir Sobir, MSi

Pembimbing 3:  
Dr Sintho Wahyuning Ardie, SP MSi



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:  
Dr Ir Yudiwanti Wahyu EK, MS  
NIP 19631107 198811 2 001

Dekan Pasca Sarjana:  
Prof Dr Ir Anas Fauzi Miftah, MEng  
NIP 19600419 198503 1 002



Tanggal Ujian: 03 Desember 2019

Tanggal Lulus:

03 DEC 2019





@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.

## PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah dengan judul Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Sifat Toleransi Pengairan Terbatas pada Tanaman Cabai telah berhasil diselesaikan.

Ungkapan terimakasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

- 1 Prof Dr Muhamad Syukur, SP MSi sebagai ketua komisi pembimbing, Prof Dr Ir Sobir, MSi dan Dr Sintho Wahyuning Ardie, SP MSi selaku anggota komisi pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan dan dukungan selama penulis melaksanakan studi pada program doktoral ini.
- 2 Dr Ir Trikoesoemaningtyas, MSc, Prof Dr Ir Didy Sopandie, MAgr, Dr Willy Bayuardi Suwarno, SP MSi, Dr Desta Wirnas, SP MSi dan Dr Redy Gaswanto, SP MP yang telah berkenan menjadi penguji luar komisi pada Ujian Pra-Kualifikasi, Ujian Tertutup dan Ujian Terbuka yang penulis jalani sebagai tahapan studi program doktoral. Saran dan koreksi bapak dan ibu sangat membantu penulis dalam perbaikan disertasi ini.
- 3 Rektor Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan kesempatan dan izin pada penulis untuk melanjutkan pendidikan S3 di IPB.
- 4 Kemenristek-Dikti yang telah memberikan beasiswa pendidikan S3 melalui program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPP-DN) Tahun 2013.
- 5 Rektor IPB beserta seluruh staf dan jajarannya yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh Pendidikan S3 di SPs IPB, Ketua Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman (PBT) Dr Ir Yudiwanti Wahyu EK MS, dosen-dosen PBT beserta seluruh staf administrasi (Pak Udin, Bu Neng dan Bu Mimin) yang selalu memberikan ilmu, pelayanan dan dukungan terbaik selama penulis studi di IPB.
- 6 Dekan Fakultas Pertanian dan Ketua Program Studi Agroekoteknologi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan kesempatan, izin dan dukungan semangat pada penulis untuk menyelesaikan Pendidikan S3.
- 7 Ir. Bregas Budiyanto, Ass. Dpl, Cucu Gunarsih, SP MSi, Dr Fitri Rachmawati, MSi, Khairunisa SSi MSi, Niken Kendarini, SP MSi, Dr Waras Nurcholish, SP MSi, Pak Adih, Mas Awang, Bi Heni dan Teh Yanti atas dukungan dan bantuannya baik secara teknis maupun analisis selama penulis melaksanakan penelitian dan menyusun disertasi.
- 8 Teman-teman dari Program Studi PBT, khususnya angkatan 2013: Anniversary, Atmitri, Dini, Furry, Ronny, Sherly dan Susi atas kebersamaan dan dukungannya, teman-teman di keluarga besar Labdik Genetika dan Pemuliaan Tanaman IPB: Abdul, Alfa, Arya, Ana, Emah, Helvi, Calvin, bu Laila, mbak Lasih, Tiara, Yora, Fajar dan Zulfikar yang telah banyak mendukung penulis baik berupa tenaga maupun fikiran dan Teman-teman di Griya Matudilipa: Dewi, Egsa, Eri, Faula, Nisa, Ratna, Sakinah atas kebersamaan, dukungan dan bantuannya.
- 9 Ayahanda H. Zahrudin Zen dan Ibunda Hj. Ifah Hanifah atas doa, dukungan dan kasih sayangnya dalam membesarkan dan mendidik penulis. Keluarga



(alm.) H. Zaini, keluarga (alm.) A. Bunyamin dan keluarga (alm.) H.M. Husein Lubis yang selalu mendukung dan mendoakan penulis.

10. Ir Khairul M Lubis, MM, suami tercinta atas doa, pengertian, dukungan dan kasih sayangnya yang luar biasa, juga anak-anak tersayang Arifa Khairunnisa, Batrisyia Khairunnisa, Nooura Khairunnisa dan Jose Omar Lubis atas segala pengertiannya kepada penulis.

Semoga apa yang sudah diikhtiarkan mendapat ridho Allah SWT dan karya tulis ini bisa memberikan manfaat dalam perkembangan ilmu pengetahuan. Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan dalam karya tulis ini, atas segala masukan yang membangun, penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Bogor, Februari 2021

*Zahratul Millah*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

## DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Hipotesis	4
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.7 Kebaruan Penelitian	6
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>9</b>
2.1 Klasifikasi, Botani dan Syarat Tumbuh Tanaman Cabai	9
2.2 Konsep dan Mekanisme Toleransi Tanaman terhadap Pengairan Terbatas	10
2.3 Karakteristik Tanaman Cabai Toleran Terhadap Pengairan Terbatas	12
2.4 Simulasi Kekeringan dengan Polyethylene Glycol (PEG)	14
2.5 Studi Metabolomik Toleransi Tanaman terhadap Pengairan Terbatas	15
2.6 Analisis Silang Dialel	15
<b>III IDENTIFIKASI LINGKUNGAN SELEKSI DAN GENOTIPE UNTUK TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN</b>	<b>17</b>
3.1 Abstract	17
3.2 Abstrak	17
3.3 Pendahuluan	18
3.4 Metode Penelitian	19
3.5 Hasil dan Pembahasan	25
3.6 Simpulan	29
<b>IV PENDUGAAN DINI TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP KEKURANGAN AIR DENGAN PEG 6000 PADA FASE KECAMBAH</b>	<b>31</b>
4.1 Abstract	31
4.2 Abstrak	31
4.3 Pendahuluan	32
4.4 Metode Penelitian	34
4.5 Hasil dan Pembahasan	37
4.6 Simpulan	49



## DAFTAR ISI (Lanjutan)

V	ANALISIS SILANG DIALEL UNTUK PENDUGAAN PARAMETER GENETIK DAN DAYA GABUNG TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP CEKAMAN PENGAIRAN TERBATAS	51
	5.1 Abstract	51
	5.2 Abstrak	51
	5.3 Pendahuluan	52
	5.4 Metode Penelitian, Waktu dan Tempat	53
	5.5 Hasil dan Pembahasan	57
	5.6 Simpulan	63
VI	EVALUASI PROFIL METABOLOMIK TOLERANSI TANAMAN CABAI TERHADAP PENGAIRAN TERBATAS	65
	6.1 Abstract	65
	6.2 Abstrak	65
	6.3 Pendahuluan	66
	6.4 Metode Penelitian	67
	6.5 Hasil dan Pembahasan	69
	6.6 Simpulan	82
VII	PEMBAHASAN UMUM	83
VIII	SIMPULAN DAN SARAN	85
	8.1 Simpulan	85
	8.2 Saran	86
	DAFTAR PUSTAKA	87
	LAMPIRAN	93
	RIWAYAT HIDUP	98

@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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



## DAFTAR TABEL

1	Daftar genotipe cabai koleksi yang digunakan	20
2	Rekapitulasi sidik ragam pengaruh perlakuan penyiraman dan genotipe terhadap karakter morfologis dan hasil tanaman cabai ( <i>Capsicum annuum</i> L.)	26
3	Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh perlakuan penyiraman terhadap karakter morfologi cabai	26
4	Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh genotipe terhadap karakter morfologi dan hasil cabai	27
5	Nilai indeks sensitivitas kekeringan 23 genotipe cabai berdasarkan karakter rasio akar tajuk	30
6	Kuadrat tengah karakter perkecambahan 3 genotipe cabai yang diuji	37
7	Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh perlakuan konsentrasi PEG terhadap karakter kecambah cabai	37
8	Rekapitulasi nilai tengah dan hasil uji DMRT pengaruh genotipe terhadap karakter perkecambahan cabai	38
9	Rata-rata, kuadrat tengah dan koefisien variasi berbagai karakter yang diamati dari 22 genotipe cabai pada lingkungan normal (E1) dan tercekam 15% PEG 6000 (E2) di laboratorium	42
10	Kisaran, rata-rata, persentase penurunan di bawah cekaman 15% PEG 6000 (E2) dibandingkan dengan kondisi normal (E1), kuadrat tengah dan koefisien variasi berbagai karakter dalam 22 genotipe cabai	42
11	Tabel penampilan rata-rata genotipe cabai pada kondisi normal dan tercekam 15% PEG 6000	43
12	Estimasi koefisien variasi genotipe, koefisien variasi fenotipe, variabilitas genetik, variabilitas fenotipe, dan heritabilitas arti luas dari 22 genotipe cabai di lingkungan normal (E1) dan tercekam 15% PEG (E2) untuk berbagai karakter di laboratorium	44
13	Analisis komponen utama karakter kecambah cabai	45
14	Nilai indeks sensitivitas kekeringan di bawah cekaman konsentrasi 15% PEG 6000 pada berbagai karakter dalam 22 genotipe cabai	47
15	Toleransi masing-masing peubah dari 22 genotipe cabai berdasarkan klasifikasi Kumar <i>et al.</i> , (2014)	48
16	Skoring masing-masing peubah dan klasifikasi toleransi 22 genotipe cabai di bawah kondisi cekaman 15% PEG 6000 mengacu pada metode Misnen <i>et al.</i> , (2012)	48
17	Sidik ragam daya gabung metode Griffing II	56
18	Nilai duga ragam DGU, DGK, galat, aditif, dominan, rasio ragam aditif-dominan, rasio Baker, ragam fenotip, heritabilitas arti sempit dan heritabilitas arti luas dari masing-masing karakter cabai berdasar nilai indeks sensitivitasnya	58
19	Nilai duga ragam DGU, DGK, galat, aditif, dominan, rasio ragam aditif-dominan, rasio genetik, ragam fenotip, heritabilitas arti sempit dan heritabilitas arti luas dari masing-masing karakter cabai pada lingkungan dengan pengairan terbatas	58

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



## DAFTAR TABEL (Lanjutan)

20	Nilai duga daya gabung umum (DGU) karakter jumlah akar lateral, jumlah cabang, panjang akar, berat kering akar, berat kering tajuk, rasio akar-tajuk, jumlah buah dan bobot buah per tanaman cabai berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan masing-masing peubah dan nilai karakter pada kondisi pengairan terbatas menggunakan metoda Griffing II	61
21	Nilai duga daya gabung khusus (DGK) karakter jumlah akar lateral, jumlah cabang, panjang akar, berat kering akar, berat kering tajuk, rasio akar-tajuk, jumlah buah dan bobot buah per tanaman cabai berdasarkan nilai indeks sensitivitas kekeringan masing-masing peubah dan nilai karakter pada kondisi pengairan terbatas menggunakan metoda Griffing II	62
22	Konsentrasi senyawa volatil dalam daun tiga genotipe cabai pada kondisi normal dan kekeringan	73
23	Rata-rata konsentrasi kandungan sepuluh metabolit pada cabai pada kondisi normal dan pengairan terbatas	76
24	Analisis ragam empat metabolit yang menunjukkan perbedaan konsentrasi pada cabai pada dua kondisi lingkungan pengairan	76
25	Korelasi antara karakter cabai metabolomik dengan karakter vegetatif dan hasil	78
26	Konsentrasi metabolit pada cabai genotipe Gada MK (toleran), SSP (toleran) dan IPB C-10 (peka) di bawah kondisi normal dan pengairan terbatas	79

## DAFTAR GAMBAR

1	Bagan alir penelitian	7
2	Bagian akar tunggang	24
3	Respon empat genotipe cabai terhadap kondisi cekaman kekeringan pada rasio akar tajuk	28
4	Grafik RC50 karakter rasio akar tajuk cabai	28
5	Respon tiga genotipe cabai terhadap kondisi cekaman PEG 6000 pada karakter indeks vigor, jumlah akar lateral, panjang akar, dan panjang hipokotil	38
6	Grafik RC50 karakter jumlah akar lateral kecambah cabai	39
7	Grafik RC50 karakter panjang akar kecambah cabai	40
8	Grafik RC50 karakter panjang hipokotil cabai	40
9	Biplot 11 karakter kecambah cabai pada KU1, KU2 dan KU3	46
10	Genotipe cabai ( <i>Capsicum annuum</i> L.) yang digunakan dalam percobaan analisis metabolomik	68
	Biplot 83 metabolit cabai pada KU1, KU2 dan KU3	71
	Grafik persen kontribusi metabolit cabai dalam membentuk keragaman pada KU1, KU2 dan KU3	72

## DAFTAR GAMBAR (Lanjutan)

13	<i>Heatmap</i> 10 metabolit pada 3 genotipe cabai dibawah kondisi normal dan pengairan terbatas. Keterangan: M1 Neophytadiene; M2 Linolenic acid, ethyl ester; M5 Linolenic acid; M9 gamma sitosterol; M10 phytol; M15 Alfa tokoferol; M25 Squalane; M43 i-Propyl 7,10,13,16,19-docosapentaenoate; M47 Ergost-5-en-3-ol; M53 Bicyclo [10.1.0] tridec-1-ene	76
14	Rata-rata konsentrasi kandungan metabolit yang menunjukkan perbedaan pada sampel daun cabai yang tumbuh dibawah kondisi normal dan pengairan terbatas	77
15	Kandungan Asam linolenat (a), Alfa-tokoferol (b), Gamma sitosterol (c) dan squalene (d) pada cabai genotipe Gada MK, SSP dan C10 dibawah kondisi normal	77
16	Respon perubahan konsentrasi ( $\Delta$ ) asam linolenat, gamma sitosterol alfa-tokoferol dan squalane pada masing-masing genotipe cabai akibat kondisi pengairan terbatas	79

## DAFTAR LAMPIRAN

1	Kondisi suhu dan kelembapan pada kegiatan percobaan pemilihan lingkungan seleksi (interval penyiraman)	94
---	--	----



@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.