

ANALISIS GENETIK DAN STUDI METABOLOMIK TOLERANSI NAUNGAN PADA TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* Mill.)

ARYA WIDURA RITONGA



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



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

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 yang berjudul **Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Naungan pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.)** 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, Januari 2021

Arya Widura Ritonga
NIM A263140061

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



@Hak cipta milik IPBUniversity

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

RINGKASAN

ARYA WIDURA RITONGA. Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Naungan pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.). Dibimbing oleh MUHAMAD SYUKUR, M ACHMAD CHOZIN, AWANG MAHARIJAYA dan SOBIR.

Sistem budidaya tanaman di bawah tegakan pohon, tumpang sari atau tanaman sela pada tanaman kehutanan, perkebunan maupun pekarangan merupakan salah satu alternatif solusi dalam menjawab tantangan luas lahan optimum untuk pertanian yang semakin berkurang dan luas kepemilikan lahan petani Indonesia yang masih kecil. Adanya kekurangan cahaya (cekaman naungan) pada sistem budidaya tersebut dapat menyebabkan terganggunya proses metabolisme tanaman, turunnya laju fotosintesis dan penurunan produktivitas tanaman sehingga diperlukan varietas tanaman yang toleran dengan intensitas cahaya rendah dengan memiliki produktivitas yang tinggi. Tanaman tomat potensial digunakan pada sistem budidaya tersebut karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi dan terdapat genotipe tomat yang toleran bahkan suka terhadap cekaman naungan. Hal ini menjadikan kegiatan pemuliaan varietas tomat toleran naungan yang berdaya hasil tinggi penting untuk dilakukan sehingga diperlukan informasi tentang karakter seleksi toleransi cekaman naungan (karakter morfologi, fisiologi, metabolomit atau molekuler) dan analisis genetiknya agar kegiatan pemuliaan varietas tomat toleran cekaman naungan yang berdaya hasil tinggi dapat lebih efektif dan efisien.

Penelitian dilakukan dari bulan Juli 2016 sampai dengan bulai mei 2019 di Kebun Percobaan PKHT-IPB Pasir Kuda, Ciomas, Bogor dan Laboratorium Pendidikan Pemuliaan Tanaman, Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Pemberian cekaman naungan dilakukan memberikan naungan paranet plastik 50%. Pengamatan metabolit sekunder dilakukan di Laboratorium Kesehatan Daerah, DKI Jakarta.

Penelitian ini diawali dengan menentukan genotipe tomat yang akan digunakan sebagai bahan penelitian. Genotipe tomat yang digunakan pada penelitian ini yaitu genotipe tomat suka naungan (SSH3 dan Apel), genotipe toleran naungan (GIK), genotipe moderat toleran naungan (Intan), dan genotipe peka naungan (Tora IPB dan 4979). Dari genotipe-genotipe tersebut kemudian dibuat populasi persilangan Biparental dan Diallel Lengkap untuk mempelajari pewarisan sifat toleransi naungan pada tanaman tomat.

Setelah populasi persilangan diperoleh, dilakukan percobaan pertama yaitu studi analisis genetik toleransi naungan pada tanaman tomat menggunakan populasi biparental. Hasil percobaan menunjukkan bahwa karakter produktivitas, jumlah buah per tanaman, fruit set dan kehijauan daun merupakan karakter tomat yang terkait dengan toleransi cekaman naungan. Karakter-karakter tersebut lebih banyak dikendalikan oleh aksi gen dominan. Adanya interaksi epistasis duplikat pada karakter-karakter tersebut menyebabkan ragam non aditif lebih berperan pada karakter-karakter tersebut kecuali pada karakter fruit set. Sebanyak lebih dari 20 segregan diseleksi berdasarkan karakter toleransi naungan dari populasi F2 persilangan Biparental. Verifikasi terhadap kedua puluh segregan tersebut, hanya diperoleh 4 segregan transgresif tomat yang toleran cekaman naungan.



Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan dan mengevaluasi kemajuan seleksi segregan transgresif tomat yang toleran naungan dan berdaya hasil tinggi. Seleksi dilakukan pada generasi F2 percobaan 1 menggunakan indeks seleksi dan hanya karakter hasil. Verifikasi segregan transgresif dilakukan pada generasi F3 sedangkan evaluasi respon seleksi dilakukan sejak generasi F2 sampai generasi F4. Seleksi pada F2 menggunakan indeks seleksi menghasilkan 11 segregan transgresif putatif sedangkan menggunakan hanya karakter hasil memberikan 20 segregan transgresif putatif. Verifikasi pada populasi F3 menggunakan indeks seleksi menghasilkan 3 segregan transgresif (G370-1, G381-4, dan G384-11), sedangkan menggunakan karakter hasil hanya memberikan 4 segregan transgresif (G370-1, G376-16, G381-4, dan G384-11). Seluruh segregan transgresif menghasilkan produktivitas yang sama atau lebih baik dibandingkan genotipe tetua terbaik.

Analisis daya gabung dan analisis genetik toleransi naungan pada tanaman tomat juga dilakukan menggunakan populasi persilangan dialel lengkap. Hasil dari percobaan ini juga memperlihatkan bahwa karakter produktivitas, jumlah buah per tanaman dan kehijauan daun merupakan karakter tomat yang terkait dengan toleransi cekaman naungan. Selain itu, juga dihasilkan karakter kerapatan bulu daun dan luas daun sebagai karakter terkait toleransi naungan pada tanaman tomat. Memperkuat percobaan sebelumnya, bahwa karakter-karakter tomat yang terkait toleransi naungan lebih banyak dikendalikan oleh aksi gen aditif. Adanya interaksi epistasis pada karakter-karakter tersebut kecuali luas daun menyebabkan ragam non aditif lebih berperan dibandingkan ragam aditif. Hasil analisis daya gabung memperlihatkan bahwa mekanisme toleransi yang berbeda antara genotipe tetua toleran naungan dan adanya pengaruh daya gabung khusus yang nyata pada semua karakter terkait toleransi naungan. Hasil-hasil tersebut mengindikasikan bahwa program pemuliaan tomat toleran naungan yang berdaya hasil tinggi sebaiknya diarahkan sebagai varietas tomat hibrida. Jika akan diarahkan sebagai varietas galur murni, seleksi sebaiknya dilakukan pada generasi lanjut sampai gen-gen terkait toleransi naungan terfiksasi.

Analisis metabolit sekunder juga dilakukan untuk mengidentifikasi metabolit sekunder terkait toleransi cekaman naungan pada tanaman tomat. Dihasilkan 8 metabolit daun tomat yang terkait dengan cekaman naungan yaitu asam palmitat, methyl 8,11,14- heptadecatrienoate, nonadecane, fitol, hexadecane, icosanoic acid, hexadecanol, dan octadecene. Genotipe tomat toleran naungan menghasilkan fitol dan nodecane yang nyata lebih tinggi dibandingkan genotipe tomat peka naungan pada kondisi tanpa naungan dan cekaman naungan. Genotipe tomat toleran naungan juga menghasilkan methyl 8,11,14- heptadecatrienoate, hexadecane, asam arakidonat yang nyata lebih tinggi dibandingkan genotipe peka naungan pada kondisi cekaman naungan. Genotipe peka naungan menghasilkan asam palmitat, hexadecanol, dan octadecene yang nyata lebih tinggi dibandingkan genotipe peka naungan pada kondisi cekaman naungan

Kata kunci: cekaman intensitas cahaya rendah, karakter seleksi, kemajuan seleksi, metabolit sekunder.

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

SUMMARY

ARYA WIDURA RITONGA. Genetic Analysis and Metabolomic Study of Shade Tolerance in Tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.). Supervised by MUHAMAD SYUKUR, M ACHMAD CHOZIN, AWANG MAHARIJAYA, and SOBIR.

The crop cultivation system under trees or intercropping under forestry, plantation, or yard crops is one alternative solution in responding to the challenges of diminishing agricultural land area in Indonesia and the small area of land ownership for crops by Indonesian farmers. The low light intensity (shade stress) in that cultivation system can disrupt plant metabolic processes, a decrease in the rate of photosynthesis, and productivity so that shade-tolerant varieties with high yielding are needed. Tomato has potential to be developed in intercropping system because it had high economic value, and there were tomato genotypes that were tolerant and even like shade stress. However, there was no shade tolerant with high yielding varieties of tomatoes in Indonesia. However, there was no shade tolerant with high yielding varieties of tomatoes in Indonesia. This makes it important to carry out shade-tolerant tomato breeding. However, shade tolerance selection character (morphological, physiological, metabolite, or molecular character) information and genetic analysis are needed so that high yielding tolerance tolerant tomato breeding can be more effective and efficient.

The study was conducted from July 2016 to May 2019 in the Center for Tropical Horticulture Studies Field - IPB University, Pasir Kuda, Bogor, Indonesia, and in the Plant Breeding Laboratory, Department of Agronomy and Horticulture, Faculty of Agriculture, IPB University. Observation of secondary metabolites was carried out at the Regional Health Laboratory, DKI Jakarta.

The research begins by determining the tomato genotype that will be used as research material. Tomato genotypes used in this study were loved-shade tomato genotypes (SSH3 and Apel), shade-tolerant genotypes (GIK), moderate shade-tolerant genotypes (Intan), and shade-sensitive genotypes (Tora IPB and 4979). These genotypes are used in biparental and full diallel mating design to study the inheritance of shade tolerance in tomato.

The first experiment conducted in this study was a genetic analysis of shade tolerance in tomato using a biparental population. The research aimed to obtain a selection character and information about the inheritance of shade stress tolerance in tomato. The result showed that green leaf, *fruit set*, fruit number, and fruit weight per plant were selection characters related to shade tolerance in tomato. There were dominant genes action and duplicate epistasis on these characters both under normal and shade stress conditions, except for *fruit set* characters under normal conditions. The dominance of leaf green, *fruit set*, fruit number, and fruit weight per plant characters were overdominant in the normal but were partially dominant in shade stress conditions. The additive genetic variance was more important than the non-additive genetic variance in the character's observed normal condition. In contrast, the non-additive genetic variance was more important than the additive genetic variance in shading stress.

Selection, verification, and evaluation of tomato transgressive segregants were done in the second experiment. Selection from F2 generation using selection index produced 11 putative transgressive segregants, whereas using yield

character produced 20 putative transgressive segregants. Verification in F3 generation using the selection index produced three transgressive segregants (G370-1, G381-4, and G384-11), whereas using yield character produced four transgressive segregants (G370-1, G376-16, G381-4, and G384-11). All transgressive segregants produced the same or better yield than the best parent genotypes from generation F2 to generation F4. This indicated that the selection of transgressive segregants in tomato was not effective if done at the beginning of the generation.

The combining ability information of selection characters related to shade stress tolerance in tomato resulted from the third experiment. Correlation and path analysis in this experiment indicated that relative productivity, fruit number, leaf area, leaf green, and trichome density were selection characters for shade stress tolerance in tomato. Significant general and specific combining ability variances were observed for all shade tolerance selection characters in this study. The SSH3, Apel, and GIK inbred lines were good combiners for shade tolerance based on GCA estimates. Four F1 hybrids Apel x GIK, Apel x SSH3, Tora IPB x SSH3, and Tora IPB x Apel had the highest DGK for shade tolerance in tomato. Conclusively, the F1 hybrid, Apel x GIK, and Tora IPB x SSH3 were the best combination as evaluated through combining ability and yield character in shade stress conditions.

The genetic analysis of shade tolerance in tomato was done used a full diallel population in the fourth experiment. The result showed that among the studied characters, only the leaf area and trichome density fulfilled the additive–dominance hypothesis. Non-allelic gene interaction (epistatic) could be involved in the inheritance of relative productivity, relative fruit number, and relative leaf green. The parental lines SSH3 and Apel contained mostly recessive genes with increasing effects for leaf area, and the parental line Apel contained mostly dominant genes with the decreasing effects for trichome density. The non-additive genetic variance was more important than the additive genetic variance for leaf area and trichome density relative characters.

The last experiment from this study aimed to identify the secondary metabolites related to shade tolerance in tomato. The result showed that there were eight metabolites related to shade stress and 26 metabolites not related to shade stress in this experiment. Phytol, palmitic acid, and methyl 8,11,14-heptadecatrienoate were identified as shade tolerance selection characters in tomato. Shade tolerance genotypes had higher phytol content compared to shade sensitive genotypes, both under normal and shading stress conditions. The palmitic acid and methyl 8,11,14-heptadecatrienoate content increased in shade-tolerant genotypes but did not increase in shade-sensitive genotypes during shading stress conditions.

Keywords: low light stress, secondary metabolites, selection characters, response selection.



@Hak cipta milik IPBUniversity

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



@Hak cipta milik IPBUniversity

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

© 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



@Hak cipta milik IPBUniversity

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

ANALISIS GENETIK DAN STUDI METABOLOMIK TOLERANSI NAUNGAN PADA TANAMAN TOMAT (*Solanum lycopersicum* Mill.)

ARYA WIDURA RITONGA

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor
pada
Program Studi Pemuliaan Tanaman 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 IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



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

Penguji Luar Komisi pada Ujian Tertutup	: Prof. Dr. Ir. Didy Sopandie, MAgr. : Dr. Ir. Trikoesoemaningtyas, MSc.
Penguji Luar Komisi pada Ujian Promosi	: Prof. Dr. Ir. Didy Sopandie, MAgr. : Dr. Ir. Catur Hermanto, MP.



@Hak cipta milik IPBUniversity

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



@Hak cipta milik IPBUniversity

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

IPBUniversity

Judul Disertasi: Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Naungan pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.)

Nama : Arya Widura Ritonga
NIM : A263140061

Disetujui oleh

Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Muhamad Syukur, SP, MSi.
Ketua

Prof. Dr. Ir. M. Achmad Chozin, MAg.
Anggota

Dr. Awang Maharijaya, SP., MSi.
Anggota

Prof. Dr. Ir. Sobir, MS.
Anggota

Diketahui oleh

Ketua Program Studi
Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman

Dr. Ir. Yudiwanti Wahyu EK, MS.

Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, MEng

Tanggal Ujian Tertutup: 12 Februari 2020
Tanggal Ujian Terbuka: 5 Maret 2020

Tanggal Lulus: 05 MAR 2020

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya sehingga karya ilmiah yang berjudul “Analisis Genetik dan Studi Metabolomik Toleransi Naungan pada Tanaman Tomat (*Solanum lycopersicum* Mill.)” dapat diselesaikan.

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Muhamad Syukur, SP., MSi, Prof. Dr. Ir. M. Achmad Chozin, MAgr, Dr. Awang Maharijaya, SP., MSi, dan Prof. Dr. Ir. Sobir, MSi, selaku komisi pembimbing atas arahan, bimbingan, motivasi, nasehat dan kesabaran dalam perencanaan, penyusunan dan penyelesaian disertasi ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Pror. Dr. Ir. Didy Sopandie, MAgr dan Dr. Ir. Trikoesoemaningtyas, MSc selaku penguji luar komisi saat ujian Prelim Lisan dan penguji luar komisi pada ujian tertutup. Ucapan terima kasih juga penulis kembali berikan kepada Prof. Dr. Ir. Didy Sopandie, MAgr dan Dr. Ir. Catur Hermanto, MP. selaku penguji luar komisi pada ujian promosi.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepada Rektor Institut Pertanian Bogor, Dekan Fakultas Pertanian IPB, Ketua Jurusan Departemen Agronomi dan Hortikultura, Ketua Divisi Genetika dan Pemuliaan Tanaman yang telah memberi izin penulis untuk melanjutkan pendidikan doktor di sekolah pascasarjana, IPB. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Ir. Yudiwanti Wahyu E.K., MS dan Dr. Dewi Sukma, SP. MSi selaku Ketua dan Sekretaris Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman, SPs IPB beserta staf administrasi. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian melalui skema Penelitian Unggulan Strategis dan Hibah Disertasi Doktor.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Pimpinan dan Staf di kebun percobaan PKHT-IPB Pasir Kuda Bogor yang telah membantu pelaksanaan penelitian di lapangan. Teman-teman seperjuangan dari Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman (PBT-2014) yang banyak memberikan doa dan dukungan dan anggota Lab Pendidikan Pemuliaan tanaman.

Sembah sujud dan terima kasih penulis sampaikan kepada ayahanda H. Kalpen Ritonga dan ibunda Hj. Sri Nuryanti atas semua kasih sayang dan doa-doa yang selalu dipanjatkan untuk penulis. Kepada Bapak mertua Waluyo dan Ibu mertua, serta semua kakak-kakak dan adik-adik yang telah memberikan semangat, dukungan serta doa untuk penulis. Tidak lupa ucapan terima kasih penulis juga sampaikan kepada istri tercinta Yusnita Sari dan ananda abang Alvaro Hafeezy Ritonga yang selalu bersabar mendampingi penulis menyelesaikan disertasi ini.

Bogor, November 2020

Arya Widura Ritonga



@Hak cipta milik IPBUniversity

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

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	2
1.3 Manfaat Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Kebaruan Penelitian	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Botani, Morfologi dan Syarat Tumbuh Tanaman Tomat	5
2.2 Cekaman Intensitas Cahaya Rendah pada Tanaman Tomat	6
2.3 Toleransi Cekaman Naungan pada Tanaman Tomat	6
2.4 Keragaman Genetik Tanaman Tomat Terhadap Cekaman Intensitas Cahaya Rendah	7
2.5 Pengaruh Naungan Terhadap Kualitas dan Kuantitas Hasil Tanaman Tomat	8
2.6 Karakter Pertumbuhan dan Fisiologi yang Berkaitan dengan Naungan pada Tanaman Tomat	9
2.7 Mekanisme Penurunan Hasil Akibat Naungan pada Tanaman Tomat	10
2.8 Mekanisme Toleransi Tomat terhadap Cekaman Naungan	10
2.9 Studi Pola Pewarisan Sifat dan Analisis Genetik Sifat Toleransi terhadap Naungan	11
2.10 Penggunaan Analisis Rata-Rata 6 Populasi untuk Studi Pewarisan Sifat dan Analisis Genetik	12
2.11 Penggunaan Analisis Diallel untuk Studi Pewarisan Sifat dan Analisis Genetik	13
2.12 Segregan Transgresif	15
2.13 Metabolit Sekunder	15
3 PERAN EPISTASIS PADA KARAKTER TOMAT TERKAIT TOLERANSI NAUNGAN	17
3.1 Pendahuluan	18
3.2 Metode Penelitian	19
3.3 Hasil dan Pembahasan	21
3.4 Simpulan	
4 KEMAJUAN SELEKSI SEGREGAN TRANSGRESIF TOMAT TOLERAN NAUNGAN	31
4.1 Pendahuluan	31
4.2 Metode Penelitian	32

DAFTAR ISI (Lanjutan)

4.3 Hasil dan Pembahasan	33
4.4 Simpulan	44
4.1 DAYA GABUNG KARAKTER TERKAIT TOLERANSI NAUNGAN PADA TANAMAN TOMAT	45
5.1 Pendahuluan	46
5.2 Metode Penelitian	46
5.3 Hasil dan Pembahasan	50
5.4 Simpulan	65
4.2 ANALISIS GENETIK TOLERANSI NAUNGAN PADA TANAMAN TOMAT MENGGUNAKAN POPULASI DIALEL LENGKAP	67
6.1 Pendahuluan	68
6.2 Metode Penelitian	68
6.3 Hasil dan Pembahasan	71
6.4 Simpulan	78
4.3 METABOLIT TERKAIT TOLERANSI NAUNGAN PADA TANAMAN TOMAT	79
7.1 Pendahuluan	80
7.2 Metode Penelitian	80
7.3 Hasil dan Pembahasan	84
7.4 Simpulan	95
4.4 PEMBAHASAN UMUM	96
4.5 SIMPULAN UMUM DAN SARAN	103
9.1 Simpulan	103
9.2 Saran	103
DAFTAR PUSTAKA	105
LAMPIRAN	112
RIWAYAT HIDUP	115

DAFTAR TABEL

1	Nilai tengah berbagai karakter dari 2 genotipe tomat pada kondisi tanpa naungan dan dengan naungan paranet 50%	22
2	Nilai tengah dan selang karakter kehijauan daun, fruit set, jumlah buah per tanaman beberapa populasi tomat pada kondisi tanpa naungan dan cekaman naungan	23
3	Korelasi antar berbagai karakter relatif pada tanaman tomat	24
4	Berbagai parameter genetik karakter kehijauan daun, fruit set, jumlah buah dan bobot buah per tanaman tomat pada kondisi tanpa naungan dan cekaman naungan	25
5	Uji skala dan aksi gen karakter kehijauan daun, fruit set, jumlah buah dan bobot buah per tanaman tomat pada kondisi tanpa naungan	28
6	Uji skala dan aksi gen karakter kehijauan daun, fruit set, jumlah buah dan bobot buah per tanaman tomat pada kondisi cekaman naungan	28
7	Nilai tengah berbagai karakter segregan tomat hasil seleksi berdasarkan indeks seleksi	34
8	Nilai tengah berbagai karakter segregan tomat hasil seleksi menggunakan hanya karakter seleksi	35
9	Kamajuan seleksi beberapa karakter tomat pada cekaman naungan	37
10	Rata-rata dan ragam tinggi tanaman, panjang internode dan diameter batang berbagai genotipe tomat pada naungan paranet 50%	38
11	Rata-rata dan ragam bobot per buah, panjang buah dan diameter buah berbagai genotipe tomat pada naungan paranet 50%	39
12	Rata-rata dan ragam fruit set, jumlah dan bobot buah per tanaman tomat berbagai genotipe tomat pada naungan paranet 50%	39
13	Nilai tengah berbagai karakter beberapa genotipe tomat	41
14	Kombinasi persilangan dialel lengkap dengan 6 genotipe tetua tomat	47
15	Anova daya gabung Griffing metode 1	50
16	Rekapitulasi sidik ragam pengaruh genotipe terhadap berbagai karakter tomat relatif kondisi naungan paranet 50% terhadap kondisi tanpa naungan	51
17	Koefesien korelasi antar karakter relatif tomat pada kondisi cekaman naungan paranet 50% terhadap kondisi tanpa naungan	52
18	Pengaruh langsung dan tidak langsung karakter jumlah buah per tanaman tomat relatif, kerapatan bulu daun relatif dan luas daun relatif terhadap bobot buah per tanaman tomat relatif	53
19	Produktivitas dan jumlah buah per tanaman tomat berbagai genotipe tomat pada kondisi normal (tanpa naungan) dan naungan paranet 50%	59
20	Kehijauan daun, kerapatan bulu daun dan luas daun berbagai genotipe tomat pada kondisi normal (tanpa naungan) dan naungan paranet 50%	60
21	Kuadrat tengah daya gabung beberapa karakter tomat relatif dialel lengkap menggunakan metode Griffing 1	62

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 IPBUniversity.

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

DAFTAR TABEL (Lanjutan)

22	Nilai daya gabung umum dan khusus sifat toleransi naungan dan karakter terkait toleransi naungan genotipe tetua dan kombinasi persilangannya	64
23	Kombinasi persilangan dialel lengkap dengan 6 genotipe tetua	68
24	Analisis ragam	70
25	Kuadrat tengah karakter terkait toleransi naungan pada tanaman tomat	71
26	Berbagai parameter genetik beberapa karakter relatif tomat	72
27	Rekapitulasi sidik ragam pengaruh genotipe, naungan dan interaksi genotipe x naungan terhadap pertumbuhan dan produksi tomat	84
28	Rekapitulasi sidik ragam pengaruh genotipe, naungan dan interaksi genotipe x naungan terhadap metabolit daun tomat	86
29	Korelasi antar berbagai metabolit daun tomat dengan karakter produktivitas relatif dan karakter terkait produktivitas relatif tomat	94

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram alir penelitian studi pewarisan sifat dan analisis genetik toleransi naungan pada tanaman tomat	4
2	Respon seleksi fruit set segregan tomat terseleksi pada generasi F ₂ , F ₃ dan F ₄ pada naungan paranet 50%	42
3	Grafik jumlah buah per tanaman tomat segregan tomat terseleksi pada generasi F ₂ , F ₃ dan F ₄ pada naungan paranet 50%	42
4	Grafik bobot buah per tanaman tomat segregan tomat terseleksi pada generasi F ₂ , F ₃ dan F ₄ pada naungan paranet 50%	42
5	Produktivitas tomat relatif genotipe tetua (merah) dan turunan F ₁ (biru) terhadap naungan paranet 50%.	55
6	Jumlah buah per tanaman tomat relatif genotipe tetua (merah) dan turunan F ₁ (biru) terhadap naungan paranet 50%.	56
7	Luas daun tomat relatif genotipe tetua (merah) dan turunan F ₁ (biru) terhadap naungan paranet 50%.	56
8	Warna hijau daun tomat relatif genotipe tetua (merah) dan turunan F ₁ (biru) terhadap naungan paranet 50%.	57
9	Kerapatan bulu daun tomat relatif genotipe tetua (merah) dan turunan F ₁ (biru) terhadap naungan paranet 50%.	58
10	Hubungan peragam (W_r) dan ragam (V_r) karakter produktivitas tomat relatif.	75
11	Hubungan peragam (W_r) dan ragam (V_r) karakter jumlah buah per tanaman tomat relatif.	75



DAFTAR GAMBAR (Lanjutan)

12	Hubungan peragam (Wr) dan ragam (Vr) karakter luas daun tomat relatif	76
13	Hubungan peragam (Wr) dan ragam (Vr) karakter kerapatan bulu daun tomat relatif.	76
14	Hubungan peragam (Wr) dan ragam (Vr) karakter kehijauan daun tomat relatif.	77
15	Produktivitas tomat relatif (%) produktivitas pada cekaman naungan paranet 50% terhadap produktivitas kondisi normal.	85
16	Jumlah metabolit sekunder pada kondisi normal dan cekaman naungan pada fase vegetatif, berbunga dan berbuah tanaman tomat	86
17	Respon metabolit terhadap naungan paranet dari genotipe tomat toleran dan peka naungan. Abu-abu : kondisi tanpa naungan, hitam : kondisi naungan paranet 50%.	87
18	Asam palmitat (M1) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan (N50) dan tanpa naungan (N0)	88
19	Methyl 8,11,14-heptadecatrienoate (M7) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan	89
20	Asam arakidonat (M21) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan	89
21	Asam arakidonat (M9A) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan	90
22	Struktur molekul klorofil.	91
23	Fitol (M9) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan	91
24	Nonadecane (M8) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan	92
25	Heksadekanol (M22) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan.	92
26	Octadecene (M23) genotipe tomat toleran dan peka pada kondisi cekaman naungan dan tanpa naungan.	93

DAFTAR LAMPIRAN

1	Penanaman tomat tanpa menggunakan naungan paranet	115
2	Penanaman tomat dengan menggunakan naungan paranet 50%	115
3	Keragaan genotipe tetua tomat yang digunakan selama penelitian	115