



IDENTIFIKASI *QUANTITATIVE TRAIT LOCI* (QTL) TERKAIT KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT GUGUR DAUN *CIRCULAR* (*Pestalotiopsis* sp.) PADA TANAMAN KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)

MUHAMAD RIZQI DAROJAT
A2503201018



PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023



@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.



*"Maha Suci Tuhan yang telah menciptakan pasangan-pasangan semuanya,
baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka maupun
dari apa yang tidak mereka ketahui"*

QS Yaasin: 36

- 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 tesis dengan judul “Identifikasi *Quantitative Trait Loci* (QTL) terkait Ketahanan terhadap Penyakit Gugur Daun *Circular* (*Pestalotiopsis* sp.) pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

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

Bogor, April 2023

Muhamad Rizqi Darojat
NIM A2503201018



RINGKASAN

MUHAMAD RIZQI DAROJAT. Identifikasi *Quantitative Trait Loci* (QTL) terkait Ketahanan terhadap Penyakit Gugur Daun *Circular* (*Pestalotiopsis* sp.) pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg). Dibimbing oleh SUDARSONO, SINTHO WAHYUNING ARDIE, dan FETRINA OKTAVIA.

Tanaman karet merupakan salah satu komoditas penting perkebunan di Asia Tenggara sebagai penghasil karet alam yang digunakan di berbagai industri seperti otomotif dan kesehatan. Indonesia menghasilkan sekitar 3,1 juta ton dengan nilai ekspor sebesar \$3,01 Milyar pada tahun 2020. Penurunan produksi terjadi dalam beberapa tahun terakhir yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti fluktuasi harga, kekurangan tenaga penadap, perubahan iklim, dan serangan penyakit gugur daun (PGD). Penyakit gugur daun *circular*, yang disebabkan oleh *Pestalotiopsis* dan cendawan lainnya, dilaporkan menyerang perkebunan karet di Sumatera Utara sejak tahun 2017 dan menyebar cepat ke perkebunan lain di Indonesia maupun negara penghasil karet alam lainnya. Cara pengendalian terefisien untuk serangan PGD *circular* ini yaitu dengan menggunakan klon unggul tahan. Dasar genetik ketahanan terhadap PGD *circular* masih terbatas, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk memahami sistem ketahanan genetik pada tanaman karet.

Penelitian ini terdiri atas dua percobaan utama yaitu (1) isolasi dan karakterisasi patogen penyebab PGD *circular* serta pengujian seleksi klon terhadap PGD *circular*; (2) analisis genetik dan identifikasi QTL terkait PGD *circular*. Percobaan pertama memiliki dua tujuan yaitu: (1) mengisolasi dan mengkarakterisasi penyebab PGD *circular* yang menyerang tanaman karet dan (2) mengevaluasi ketahanan genetik dan menyeleksi klon dan genotipe tanaman karet pada populasi hasil persilangan dua tetua terhadap terhadap penyakit gugur daun *circular*. Proses identifikasi dan karakterisasi patogen merupakan salah satu tahapan penting untuk diagnosa penyakit, keputusan teknik pengendalian, dan pengujian dan seleksi genotipe untuk sifat ketahanan terhadap penyakit gugur daun. Empat isolat patogen diperoleh dari 32 daun klon tanaman karet terinfeksi PGD *circular*. Karakterisasi patogen berdasarkan morfologi konidia dan secara molekuler menggunakan sekuen gen ITS menunjukkan PGD *circular* yang diidentifikasi sebagai *Neopestalotiopsis saprophytica*.

Seluruh isolat bersifat patogenik dengan variasi tingkat virulensi berdasarkan pengukuran diameter lesi (mm) yang dihasilkan isolat pada daun melalui metode *detached leaf assay*. Isolat P-212 secara statistik menghasilkan tingkat patogenitas tertinggi. Faktor jenis klon, isolat, dan interaksi jenis klon dan isolat menghasilkan pengaruh nyata ($P < 0,05$) terhadap tingkat ketahanan terhadap patogen PGD *circular* berdasarkan pengukuran diameter lesi. Klon IRR 112 dan klon RRIC 100 menunjukkan diameter lesi kurang dari 10 mm setelah inokulasi dengan isolat P-212 yang mengindikasikan kedua klon tersebut termasuk ke dalam klon dengan sifat tahan terhadap PGD *circular*. Sementara itu klon IRR 39 dan PB 260 termasuk ke dalam klon rentan dengan diameter lesi lebih dari 20 mm untuk kedua isolat.

Percobaan kedua bertujuan untuk (1) memahami sistem genetik tanaman karet (heritabilitas, kemajuan genetik, jumlah gen pengendali) terhadap PGD *circular* dan (2) mengidentifikasi keberadaan QTL terkait ketahanan terhadap

serangan PGD *circular*. Evaluasi ketahanan 169 progeni dalam populasi F1 (PB 260 x SP 217) terhadap PGD *circular* dilakukan menggunakan isolat P-GT1 dan P-212 dengan metode DLA. Ketahanan progeni yang diamati berdasarkan diameter lesi menunjukkan keragaman cukup tinggi dengan nilai koefisien keragaman mencapai lebih dari 20%. Kedua tetua (PB 260 dan SP 217) menghasilkan tingkat ketahanan yang berbeda nyata. Analisis ragam menunjukkan perbedaan signifikan ($P < 0,05$) antara 169 progeni untuk sifat ketahanan terhadap PGD *circular* berdasarkan diameter lesi.

Aksi gen pada karakter ketahanan terhadap PGD *circular* pada populasi F1 yaitu dominan dan epistasis komplementer. Analisis skewness dan kurtosis mengindikasikan bahwa sifat ketahanan PGD *circular* diduga dikendalikan oleh beberapa gen. Heritabilitas arti luas karakter ketahanan terhadap PGD *circular* tergolong tinggi dengan nilai 0,91 untuk isolat P-GT1 dan 0,86 untuk isolat P-212. Hasil seleksi memperoleh sebanyak 17 genotipe tahan dari 169 genotipe F1 yang diuji menggunakan dua isolat yaitu G002, G005, G027, G065, G083, G089, G118, G142, G157, G164, G172, G198, G209, G216, G221, G239, dan G248. Sebagian besar genotipe F1 memiliki kategori ketahanan moderat terdiri atas 89 genotipe untuk isolat P-GT1 dan 138 genotipe untuk isolat P-212. Kemajuan genetik teramati cukup tinggi sebesar 45% untuk P-GT1 dan 39% untuk P-212 yang dihitung dengan intensitas seleksi 10% dari populasi progeni F1. Analisis *interval mapping* (IM) dan Kruskal-Wallis (KW) menunjukkan terdapat pengaruh QTL mayor dan QTL minor yang berasosiasi dengan sifat ketahanan PGD *circular*. Lokus karakter ketahanan PGD tersebar pada 12 linkage group (LG) yang berbeda untuk setiap isolat, 24 lokus untuk P-GT1 dan 40 lokus untuk P-212. Hasil IM dan KW menunjukkan seluruh lokus untuk ketahanan terhadap isolat P-GT1 menghasilkan QTL minor dengan nilai LOD tertinggi sebesar 2,41 dan nilai keragaman fenotipe di bawah 10%. Lokus g10SSH55 yang terletak di LG10 memiliki nilai K tertinggi dengan nilai 10,63 (**) dan nilai LOD 1,92. Sementara itu ketahanan terhadap isolat P-212 menunjukkan terdapat lima dugaan QTL mayor dengan nilai LOD 3,93-4,73. Lokus g5A2745 pada LG5 memiliki signifikansi tertinggi sebesar 0,0001 (*****) dengan nilai LOD 4,73 dan keragaman fenotipe 12,2%. Hasil ini mengindikasikan bahwa ketahanan tanaman karet terhadap PGD *circular* memiliki respon genetik yang berbeda terhadap jenis isolat dan dikendalikan oleh beberapa gen.

Informasi terkait jenis patogen dan tingkat ketahanan tanaman karet terhadap PGD *circular* serta tingkat keragamannya sangat bermanfaat dan dapat membantu program pemuliaan tanaman karet dalam rangka pengembangan klon tahan. Hasil identifikasi QTL diharapkan dapat memberikan informasi mengenai marka genetik yang berasosiasi dengan gen-gen ketahanan sehingga dapat dimanfaatkan dalam seleksi berbasis marka (*marker-assisted selection*). Cara ini selanjutnya diharapkan dapat mempercepat program pemuliaan tanaman karet dalam menghasilkan klon unggul tahan terhadap PGD *circular*.

Kata kunci: heritabilitas, ITS, kemajuan genetik, marka SSR, *Neopestalotiopsis*, pemuliaan ketahanan,

SUMMARY

MUHAMAD RIZQI DAROJAT. Identification of Quantitative Trait Loci (QTL) Associated with Circular Leaf Fall Disease (*Pestalotiopsis* sp.) Resistance in Rubber Tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg). Supervised by SUDARSONO, SINTHO WAHYUNING ARDIE, and FETRINA OKTAVIA.

Rubber tree (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) is one of the valued plantation commodities in Southeast Asia planted as a source of natural rubber used in various industries such as automotive and health. Indonesia produced around 3.1 million tons with an export value of \$3.01 billion in 2020. A decline in production has occurred in recent years due to several factors such as price fluctuations, shortage of tappers, climate change, and leaf fall disease (LFD). The new leaf fall disease, caused by *Pestalotiopsis* and other fungal pathogens, has been reported in rubber plantations in North Sumatra since 2017 and has spread rapidly to other Indonesian plantations and other natural rubber-producing countries. The most efficient way to control this circular LFD is to use resistant clones. The genetic basis of resistance to the circular LFD is still limited, thus information regarding the genetic nature of resistance is needed for effective and efficient introgression into breeding materials.

This research consists of two main experiments, (1) isolation and characterization of pathogens that cause circular LFD and clone selection against circular LFD; (2) genetic analysis and identification of QTL related to circular LFD. The first experiment has two objectives: (1) to isolate and to characterize the fungal pathogen associated with circular LFD in rubber trees and (2) to evaluate the genetic resistance of rubber tree clones or F1 progeny population from crossed two parental (PB 260 x SP 217) against the circular leaf fall disease. Identification and characterization of the pathogen is a critical stage for diagnosing disease, deciding the controlling techniques, and selecting rubber tree genotypes for LFD resistance. Four pathogen isolates were obtained from infected leaves of 32 rubber tree genotypes. Characterization of the pathogen based on conidial morphology and molecular characterization using ITS gene marker identified it as *Neopestalotiopsis saprophytica*.

All fungal isolates associated with circular LFD are pathogenic with varied virulence levels based on lesion diameter (mm) resulting from inoculation on rubber tree leaves using a detached leaf assay (DLA) method. Isolate P-212 statistically showed the highest virulence level. The rubber tree clone, isolate, and the interaction of both clone and isolate had a significant response ($P < 0.05$) on the level of resistance to the circular LFD fungal isolates based on lesion diameter (mm). Rubber tree clone IRR 112 and RRIC 100 produced low lesion diameters (< 10 mm), indicating that these two clones were grouped as resistant clones to the circular LFD. Meanwhile, clones IRR 39 and PB 260 were classified as susceptible clones with lesion diameters of more than 20 mm.

The second experiment aimed to (1) understand the genetic system of rubber trees (heritability, genetic gain, number of controlling genes) to the circular LFD and (2) identify the trait-marker association (QTL) related to LFD resistance. Total 169 progenies from F1 segregated population (PB 260 x SP 217) were evaluated



for the circular LFD resistance against isolate P-GT1 and P-212 using the DLA method. The resistance of the progenies observed based on lesion diameter showed high diversity with the coefficient of variation reaching more than 20%. The two parental clones (PB 260 and SP 217) showed significant difference in the resistance levels. Analysis of variance (ANOVA) showed significant differences ($P < 0.05$) between the 169 progenies for resistance to the circular LFD based on lesion diameter.

The skewness and kurtosis analysis indicated that the circular LFD resistance trait were thought to be controlled by dominance and complementary-epistatic gene action. The broad-sense heritability of the circular LFD resistance was 0,91 for P-GT1 and 0,86 for P-212. The selection obtained 17 resistant genotypes out of 169 F1 genotypes which were tested sing two isolates namely G002, G005, G027, G065, G083, G089, G118, G142, G157, G164, G172, G198, G209, G216, G221, G239, and G248. Most of the F1 genotypes had a moderate resistance consisting of 89 genotypes for isolate P-GT1 and 138 genotypes for isolate P-212. Genetic gain was observed to be relatively high at 45% for P-GT1 and 39% for P-212 calculated with a selection intensity of 10% of the F1 progeny population. Interval mapping (IM) and Kruskal-Wallis (KW) analysis showed the effects of major QTL and minor QTL associated with the circular LFD resistance trait. The QTL-LFD resistance loci were distributed in 12 different linkage groups (LGs), 24 loci for P-GT1 and 40 loci for P-212. The IM and KW analysis showed that all loci for resistance to P-GT1 isolates resulted in minor QTL with the highest LOD value of 2.41 and phenotypic variance values below 10%. The g10SSH55 locus located in LG10 had the highest K value (10.63**) with an LOD score of 1.92. In addition, eight significant major QTLs ($P < 0,01$) were detected for resistance to P-212 isolate with LOD score of 3.93-4.73. The strongest QTL was located on LG5 (g5A2745) with LOD score of 4.73 ($K^* = 15.99$, $P < 0.001$) and phenotypic variance of 12.2%. These results indicated that the rubber tree resistance to circular LFD has different genetic responses to different species pathogen and it was controlled by several genes.

Information regarding to the type of pathogen, the level of resistance of the circular LFD, and the level of diversity are very useful and can help for rubber tree breeding programs in order to develop resistant clones. Identification of QTLs is expected to provide information on genetic markers associated with resistance genes so that it can be utilized in marker-assisted selection (MAS). This method can potentially accelerate the rubber tree breeding programs for developing superior clones with resistant to the circular leaf fall disease.

Keywords: breeding resistance, genetic gain, heritability, ITS gene, *Neopestalotiopsis*, SSR marker



© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023
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 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.





**IDENTIFIKASI QUANTITATIVE TRAIT LOCI (QTL) TERKAIT
KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT GUGUR DAUN *CIRCULAR*
(*Pestalotiopsis* sp.) PADA TANAMAN KARET (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)**

**MUHAMAD RIZQI DAROJAT
A2503201018**

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman

**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

1 Dr. Ir. Diny Dinarty, M.Si

2 Prof. Dr. Dewi Sukma, S.P, M.Si

Judul Tesis : Identifikasi *Quantitative Trait Loci* (QTL) terkait Ketahanan terhadap Penyakit Gugur Daun *Circular* (*Pestalotiopsis* sp.) pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)

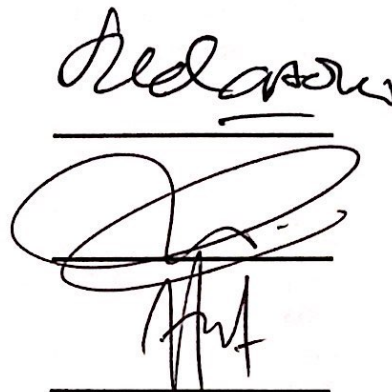
Nama : Muhamad Rizqi Darajat
NIM : A2503201018

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Sudarsono M.Sc.

Pembimbing 2:
Dr. Sintho Wahyuning Ardie S.P, M.Si.

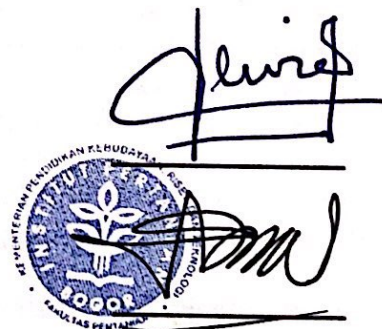
Pembimbing 3:
Dr. Fetrina Oktavia S.Si, M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Dewi Sukma, S.P, M.Si.
NIP 197004041997022001

Dekan Fakultas Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP 196902121992031003.



Tanggal Ujian: 28 Maret 2023

Tanggal Lulus: 09 JUN 2023



PRAKATA

Bismillaahirrohmaanirrohiim

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah serta kekuatan sehingga tesis ini berhasil diselesaikan. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Tesis berjudul “Identifikasi *Quantitative Trait Loci* (QTL) terkait Ketahanan Terhadap Penyakit Gugur Daun *Circular* (*Pestalotiopsis* sp.) pada Tanaman Karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg)” merupakan hasil penelitian yang dilakukan sejak bulan Agustus 2021 hingga Juli 2022 sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains pada Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Sudarsono M.Sc. selaku ketua komisi pembimbing, Dr. Sintho Wahyuning Ardie S.P., M.Si., dan Dr. Fetrina Oktavia S.Si., M.Si selaku anggota komisi pembimbing yang telah memberikan banyak saran, bimbingan serta arahan selama kegiatan penelitian hingga selesainya penyusunan tesis ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen penguji Dr. Ir. Diny Dinarti M.Si yang telah memberikan saran dan masukan terhadap perbaikan tulisan. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada pimpinan Pusat Penelitian Karet, PT Riset Perkebunan Nusantara atas izin yang diberikan untuk melanjutkan pendidikan di IPB. Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas dukungan dan keterlibatan dalam *RUBIS Project* yang merupakan kerjasama antara Pusat Penelitian Karet, CIRAD dan UGM yang mendapatkan pendanaan dari *Agropolis Foundation*. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada staf peneliti dan teknisi Pemuliaan dan Proteksi Tanaman, Pusat Penelitian Karet atas diskusi dan bantuan tenaga selama penelitian berlangsung. Ungkapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada kedua orang tua Ibu Binti Aslamah dan Bapak Ali Mashar, istri tercinta Dyna Rochmyaningsih, dan anak-anakku tersayang Pelangi Nur Izzah dan Pesona Mutiara Hikmah, serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan serta doa terbaik. Selain itu terima kasih juga disampaikan kepada pimpinan Departemen AGH dan Program Studi PBT IPB, seluruh dosen dan staf PBT IPB, serta teman-teman mahasiswa pascasarjana PBT IPB khususnya angkatan 2020.

Semoga karya ilmiah ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2023

Muhamad Rizqi Darajat
A2503201018

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	vii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Umum	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
1.6 Hipotesis	3
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pemuliaan Tanaman Karet	5
2.2 Penyakit Gugur Daun <i>Circular</i>	6
2.3 Analisis <i>Quantitative Trait Loci</i> (QTL)	7
2.4 Karakter Genetik Ketahanan Tanaman Karet	8
III PENYAKIT GUGUR DAUN <i>CIRCULAR</i> PADA TANAMAN KARET – KARAKTERISASI PATOGEN DAN EVALUASI KLON KARET MENGUNAKAN <i>DETACHED LEAF ASSAY</i>	10
3.1 Abstrak	10
3.2 Pendahuluan	10
3.3 Metode Penelitian	12
3.5.1 Waktu dan Tempat	12
3.5.2 Alat dan Bahan	12
3.4 Pelaksanaan Percobaan	12
3.5.1 Isolasi Patogen terkait PGD <i>Circular</i>	12
3.5.2 Identifikasi Morfologi Patogen	12
3.5.3 Identifikasi Molekuler	13
3.5.4 Uji Patogenisitas Isolat Patogen	13
3.5.5 Uji Ketahanan Klon Karet	14
3.5.6 Analisis Data	14
3.5 Hasil dan Pembahasan	15
3.5.1 Pengamatan Gejala PGD <i>circular</i>	15
3.5.2 Isolasi Patogen terkait PGD <i>circular</i>	16
3.5.1 Karakteristik Morfologi Patogen PGD <i>circular</i>	17
3.5.2 Analisis Filogenetik	18
3.5.3 Sifat Patogenitas Isolat	20
3.5.4 Pengujian Ketahanan Klon Karet terhadap Patogen	21
3.6 Simpulan	23

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.

IV

ANALISIS GENETIK DAN IDENTIFIKASI QTL TERKAIT KETAHANAN TERHADAP PENYAKIT GUGUR DAUN <i>CIRCULAR</i> (<i>Pestalotiopsis</i> sp.) PADA TANAMAN KARET	24
4.1 Abstrak	24
4.2 Pendahuluan	24
4.3 Metode Penelitian	25
4.3.1 Waktu dan Tempat	25
4.3.2 Alat dan Bahan	25
4.4 Pelaksanaan Percobaan	26
4.4.1 Inokulasi Isolat PGD <i>circular</i>	26
4.4.2 Pengamatan Tingkat Ketahanan terhadap PGD <i>circular</i> .	26
4.4.3 Analisis Data Fenotipe Ketahanan	26
4.4.4 Analisis Molekuler (<i>Genotyping</i>)	28
4.4.5 Analisis QTL	28
4.5 Hasil dan Pembahasan	28
4.5.1 Sebaran Fenotipe Ketahanan PGD <i>circular</i> .	28
4.5.2 Analisis Ragam Sifat Ketahanan terhadap PGD <i>circular</i>	30
4.5.3 Respon Tetua dan Progeni F1 terhadap PGD <i>circular</i>	31
4.5.4 Aksi Gen dan Heritabilitas	32
4.5.5 Seleksi Genotipe F1 Persilangan PB 260 x SP 217	33
4.5.6 Kemajuan Genetik	33
4.5.7 Klasifikasi Ketahanan F1 terhadap PGD <i>circular</i>	34
4.5.8 Analisis QTL	36
4.6 Simpulan	40
V PEMBAHASAN UMUM	41
VI SIMPULAN DAN SARAN	43
6.1 Simpulan	43
6.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	58

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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

1	Skor ketahanan klon karet terhadap serangan penyakit gugur daun	14
2	Keberhasilan (%) isolasi patogen penyakit gugur daun	16
3	Hasil analisis BLAST menggunakan sekuen ITS	19
4	Respon klon karet terhadap isolat terkait penyakit gugur daun	22
5	Nilai rata-rata, ragam, koefisien keragaman dan rasio skewness	30
6	Analisis ragam diameter lesi (mm) untuk ketahanan terhadap PGD	31
7	Pendugaan tipe aksi gen, jumlah gen pengendali, dan heritabilitas	32
8	Pengelompokkan genotipe F1 (PB 260 x SP 217)	33
9	Genotipe F1 (PB 260 x SP 217) yang diseleksi	34
10	Analisis QTL terkait ketahanan terhadap PGD <i>circular</i> dengan P-GT1	37
11	Analisis QTL terkait ketahanan terhadap PGD <i>circular</i> dengan P-212	38

DAFTAR GAMBAR

1	Produksi karet kering (ton) dan luas areal perkebunan karet (ha)	2
2	Diagram alir penelitian	4
3	Kondisi tajuk dan daun tanaman karet	6
4	Gejala penyakit gugur daun (PGD) <i>circular</i>	15
5	Karakter morfologi dari empat isolat penyakit gugur daun	17
6	Pohon filogenetik	19
7	Uji patogenisitas lima isolat terkait PGD <i>circular</i>	20
8	Diameter lesi yang dihasilkan diantara sembilan klon karet	22
9	Respon klon karet terhadap isolat P-212	23
10	Diameter lesi (mm) yang dihasilkan dari inokulasi dua isolat	29
11	Perbandingan rata-rata diameter lesi untuk ketahanan PGD	31
12	Sebaran jumlah genotipe yang diuji tingkat ketahanan	35
13	Peta pautan genetik	39



@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.