



PENDEKATAN GENOMIKA EKOLOGI UNTUK PEMULIAAN SENGON (*Falcataria moluccana*) RESISTEN KARAT TUMOR (*Uromycladium falcatariae*)

HASYATI SHABRINA



**PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

- 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 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 mengumunkan 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 Pendekatan Genomika Ekologi untuk Pemuliaan Sengon (*Falcataria moluccana*) Resisten Karat Tumor (*Uromycladium falcatariae*) adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

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

Bogor, Desember 2020

Hasyiyati Shabrina
NIM E461160028



RINGKASAN

Hasyati Shabrina. Pendekatan Genomika Ekologi untuk Pemuliaan Sengon (*Falcataria moluccana*) Resisten Karat Tumor (*Uromycladium falcatariae*). Dibimbing oleh ISKANDAR Z. SIREGAR, ULFAH J. SIREGAR, dan DEDEN D. MATRA.

Sengon (*Falcataria moluccana*) merupakan spesies favorit untuk pengembangan hutan rakyat karena sifatnya yang cepat tumbuh dan serapan pasar yang tinggi. Salah satu kendala pengembangan hutan tanaman sengon yaitu serangan penyakit karat tumor yang disebabkan oleh cendawan *Uromycladium falcatariae* yang menyebabkan kerusakan batang bahkan kematian. Sementara itu, metode pengendalian yang telah dilakukan beberapa di antaranya kurang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap serangan penyakit karat tumor, menganalisis keragaman genetik dan mengkonfirmasi jenis sengon yang terserang dan tidak terserang karat tumor, serta menganalisis ekspresi gen dari sengon yang terserang karat tumor dan tidak terserang karat tumor.

Analisis faktor lingkungan dilakukan dengan mensensus pohon dari 32 plot dengan ukuran 50 x 50 m² di Bogor dan Ciamis. Meskipun kedua lokasi penelitian memiliki klasifikasi iklim yang sama, rata-rata keparahan serangan penyakit karat tumor di Ciamis (25.53%) lebih tinggi dibanding di Bogor (8.22%). Intensitas serangan penyakit maksimum dapat mencapai 53.63% di Bogor dan 91.67% di Ciamis. Analisis komponen utama (PCA) menunjukkan faktor iklim (curah hujan, suhu, kelembaban relatif, dan kecepatan angin), elevasi, kerapatan tegakan, jumlah tanaman muda (<2 tahun), tutupan tajuk, serta tingginya unsur Fe dan Cu dalam tanah berpengaruh kuat terhadap intensitas dan keparahan serangan penyakit karat tumor. Pada tanaman dengan umur lebih dari dua tahun, rata-rata diameter tanaman yang terserang lebih besar daripada tanaman yang tidak terserang karat tumor, baik di Bogor maupun Ciamis, kemungkinan karena adanya *trade-off* energi antara pertumbuhan dengan ketahanan terhadap penyakit.

Keragaman genetik antar populasi sengon terserang dan tidak terserang yang diambil dari plot di Bogor dan Ciamis dengan metode *pairing* tergolong rendah (Φ -stat 0.036-0.104) dan memiliki jarak genetik yang kecil (<0.1) baik menggunakan penanda RAPD, AFLP, maupun gabungan keduanya. Sementara itu, nilai keragaman genetik (H_e) dalam populasi cenderung rendah hingga menengah (0.145-0.234) yang menunjukkan populasi-populasi tersebut mengalami *bottleneck*. Penanda RAPD mampu membedakan struktur genetik populasi sengon yang terserang dan tidak terserang karat tumor dengan 2 spektrum genetik (K). Gabungan penanda RAPD dan AFLP mampu memisahkan kedua tipe aksesori berdasarkan hasil *Principal Coordinate Analysis* (PCoA). Berdasarkan daerah *psbA-trnH intergenic spacer* pada DNA kloroplas, sengon yang terserang dan tidak terserang karat tumor terkonfirmasi merupakan satu spesies yang sama (*F. moluccana*) dengan nilai keragaman InDel 0.031. Selain itu, meskipun memiliki kemiripan morfologi dengan spesies sengon merah (*Albizia chinensis*), kedua spesies tersebut memiliki perbedaan pada 29 situs dengan jarak genetik 0.017.

Hasil analisis transkriptom sengon yang terserang dan tidak terserang karat tumor yang disekuens menggunakan metode *Next-generation sequencing* (NGS)

menunjukkan terdapat 5 944 gen yang diekspresikan secara *up-regulated* dan 8 075 gen yang diekspresikan secara *down-regulated*. Beberapa kandidat gen yang ditemukan telah dikonfirmasi memiliki keterkaitan dengan ketahanan seperti *Ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase 13*, dan *Transcription Factor CPC*, serta terkait kerentanan yaitu *NADH-ubiquinone oxidoreductase* (NUOR). Analisis transkriptom karat tumor yang terdapat pada batang dan daun menunjukkan adanya respon seluler yang terjadi terhadap stimulus dengan skor gen ontologi 1078.41. Analisis DEG tumor batang vs daun menunjukkan terdapat 4 883 gen yang terekspresi secara *up-regulated*, dan 3 609 gen yang terekspresi secara *down-regulated*. Pada tumor batang, gen *Patatin-like protein* yang memiliki fungsi utama penyimpanan metabolit terekspresi lebih besar dibanding pada tumor daun, sedangkan gen *Expansin* yang berperan dalam degradasi dinding sel lebih banyak terdapat pada tumor daun.

Kata kunci: ekspresi gen, karat tumor (*Uromycladium falcatariae*), keragaman genetik, ketahanan ekologi, *Next-generation sequencing* (NGS), resisten, sengon (*Falcataria moluccana*)

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





SUMMARY

HASYATI SHABRINA. Ecological Genomics Approach for Resistant Sengon (*Falcataria moluccana*) Improvement against Gall-Rust (*Uromycladium falcatariae*). Supervised by ISKANDAR Z. SIREGAR, ULFAH J. SIREGAR, and DEDEN D. MATRA.

Sengon (*Falcataria moluccana*) is one of the favorite species for the development of community plantations because of its fast-growing nature and high market demand. One major threat to the development of sengon plantations is the infection of gall-rust caused by the fungus *Uromycladium falcatariae* which causes stem damage and even death while the control methods have been carried out were some of had low efficacy. Environmental modification and planting of resistant sengon can be an alternative for controlling disease infection on plants. This study aimed to analyze the environmental factors that influence gall-rust infection, analyze genetic diversity and confirm the type of gall-rust infected and non-infected sengon, and analyze the gene expression from the infected and non-infected sengon.

Analysis of environmental factors of 32 plots with a size of 50 x 50 m² in Bogor and Ciamis showed the average severity of gall-rust infections in Ciamis (25.53%) was higher than in Bogor (8.22%). The maximum disease intensity could reach 53.63% in Bogor and 91.67% in Ciamis. Principal component analysis (PCA) showed temperature, rain, relative humidity, wind speed, elevation, tree density, number of young plants (<2 years), canopy closure, and the high Fe and Cu elements in soil were strongly influencing the intensity and severity of gall-rust infections. In > 2-year-old plants, the average diameter of infected plants was greater than non-infected plants, both in Bogor and Ciamis, probably due to the growth-defense trade-off.

Genetic diversities among the infected and non-infected sengon populations taken from plots in Bogor and Ciamis using the pairing method were low (Φ -stat 0.036-0.104) with small genetic distances (<0.1) using either the RAPD marker, AFLP or combination of both markers. Meanwhile, the value of genetic diversity (H_e) in populations tend to be low to medium (0.145-0.234), which indicated that these populations experience bottlenecks. RAPD markers were able to distinguish the genetic structure of the gall-rust infected and non-infected populations with 2 genetic spectra (K). The combined RAPD and AFLP markers successfully separated the two types of accessions based on the results of the Principal Coordinate Analysis (PCoA). Based on the *psbA-trnH* intergenic spacer region in the chloroplast DNA, the infected and non-infected sengon was confirmed to be one same species (*F. moluccana*) with InDel diversity value of 0.031. Besides, despite the morphological similarities with the red sengon (*Albizia chinensis*), the two species differed at 29 sites with a genetic distance of 0.017.

The results of sengon transcriptomes analysis from gall-rust infected and non-infected, sequenced using the Next-generation sequencing (NGS) method, showed that there were 5 944 genes expressed in up-regulated way and 8 075 genes expressed in down-regulated way. Some candidate of genes found linked to resistance traits such as *Ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase 13*, and susceptibility such as *NADH-ubiquinone oxidoreductase (NUOR)*. Analysis of

gall-rust transcriptomes found on the stems and leaves showed there was the cellular response that occurred because of the external stimulus with gene ontology scored 1078.41. DEG analysis of stem vs leaf tumors showed that 4 883 genes expressed in up-regulated way, and 3 609 genes expressed in down-regulated way. In stem tumors, the *Patatin-like protein* gene with the main function in storing the metabolites expressed greatly compared to leaf tumors, while the *Expansin* gene that played a role in cell wall degradation expressed more in leaf tumors.

Keywords: ecological resistance, gall-rust (*Uromycladium falcatariae*), gene expressions, genetic variation, *Next-generation sequencing* (NGS), resistant, sengon (*Falcataria moluccana*).

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2020 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.



PENDEKATAN GENOMIKA EKOLOGI UNTUK PEMULIAAN SENGON (*Falcataria moluccana*) RESISTEN KARAT TUMOR (*Uromycladium falcatariae*)

HASYATI SHABRINA

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Silvikultur Tropika

**PROGRAM STUDI SILVIKULTUR TROPIKA
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

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



Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr Ir Elis Nina Herliyana, MSi
- 2 Dr Ir Yulianti Bramasto, MS

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka

Disertasi:

- 1 Dr Ir Elis Nina Herliyana, MSi
- 2 Dr Dede J Sudrajat, SHut, MT

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 : Pendekatan Genomika Ekologi untuk Pemuliaan Sengon
(*Falcataria moluccana*) Resisten Karat Tumor
(*Uromycladium falcatariae*)

Nama : Hasyiyati Shabrina
NIM : E461160028

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof Dr Ir Iskandar Z. Siregar, MForSc

Pembimbing 2:
Dr Ir Ulfah J. Siregar, MAgr

Pembimbing 3:
Dr Deden D. Matra, SP, MAgr

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof Dr Ir Sri Wilarso Budi R, MS
NIP 19620210 198803 1 003

Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof Dr Ir Anas Miftah Fauzi, MEng
NIP 19600419 198503 1 002

Tanggal Ujian: 10 Juli 2020

Tanggal Lulus: 23 Juli 2020





@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 mengumunkan 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 karya ilmiah yang berjudul “Pendekatan Genomika Ekologi untuk Pemuliaan Sengon (*Falcataria moluccana*) Resisten Karat Tumor (*Uromycladium falcatariae*)” dapat diselesaikan. Karya ilmiah ini merupakan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan sejak 2016 dan merupakan salah satu bagian dari payung besar penelitian pemuliaan sengon resisten karat tumor dan hama boktor.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung berkontribusi sehingga disertasi ini dapat diselesaikan. Terima kasih kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melanjutkan studi pada program Doktor melalui beasiswa Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) *batch* II. Terima kasih pada Bapak Prof Dr Ir Iskandar Z. Siregar, MForSc, Ibu Dr Ir Ulfah J. Siregar, MAgr, dan Bapak Dr Deden D. Matra, SP, MAgr, selaku komisi pembimbing yang telah memberikan masukan, arahan dan bimbingan dalam penyusunan disertasi ini. Terima kasih kepada Dr Yulianti Bramasto dan Dr Elis Nina Herliyana selaku penguji luar komisi pada ujian tertutup, serta kepada Dr Dede J. Sudrajat selaku penguji luar komisi pada sidang promosi doktor, yang telah memberikan masukan yang sangat berharga untuk perbaikan disertasi ini.

Terima kasih kepada Dr Koichi Kamiya dari Ehime University yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengerjakan sebagian dari disertasi ini di laboratorium beliau. Terima kasih kepada Balai Penelitian dan Teknologi Agroforestri (BPTA) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Badan Ketahanan Pangan dan Pelaksana Penyuluh Pertanian, Perikanan, dan Kehutanan (BKP5K) Kabupaten Bogor, yang telah membantu mengarahkan penulis dalam pengambilan sampel penelitian. Terima kasih kepada saudara Anidah SSi dan Dewi Rahmawati MSi serta rekan-rekan di Laboratorium Bioteknologi *Southeast Asian Ministers of Education Organization Regional Center for Tropical Biology* SEAMEO BIOTROP, rekan-rekan di Laboratorium Genetika Hutan dan Kehutanan Molekuler Departemen Silviculture IPB, rekan-rekan satu bimbingan, rekan-rekan Silviculture Tropika, rekan-rekan Silviculture 47, rekan-rekan PMDSU IPB dan PMDSU se-Indonesia *batch* II atas bantuan dan semangatnya kepada penulis untuk menyelesaikan studi.

Terima kasih kepada para sahabat yang selalu menanyakan kabar dan menyemangati penulis untuk segera menyelesaikan studi. Terima kasih kepada rekan seperjuangan, saudari Fitri Indriani yang telah bersama-sama dengan penulis sejak awal perkuliahan hingga akhirnya lulus bersama. Ungkapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada keluarga, Alm. Ayah, Mama, Acil, Ica, serta seluruh keluarga besar atas segala doa, dukungan, dan bantuan selama penulis menempuh pendidikan tinggi di Bogor. Semoga karya ilmiah ini bermanfaat.

Bogor, Desember 2020

Hasyati Shabrina



@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.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Hipotesis Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Kebaruan Penelitian	5
1.7. Ruang Lingkup Penelitian	5
II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Risalah Sengon (<i>Falcataria moluccana</i> Miq.)	7
2.2. Perbedaan Sengon Laut dengan Sengon Merah	7
2.3. Karat Tumor Sengon	8
2.4. Resistensi Tanaman	10
2.5. Genomika Ekologi	10
2.6. <i>Amplified Fragment Length Polymorphism</i> (AFLP)	11
2.7. Random Amplified Polymorphism DNA (RAPD)	11
2.8. DNA kloroplas	12
2.9. <i>Next-generation Sequencing</i> (NGS)	12
III PSEUDORESISTENSI DAN KERAGAAN PERTUMBUHAN SENGON DI BOGOR DAN CIAMIS, JAWA BARAT	13
3.1. Pendahuluan	13
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian	13
3.3. Bahan dan Metode	14
3.4. Hasil	16
3.5. Pembahasan	23
3.6. Kesimpulan	27
IV KERAGAMAN GENETIK SENGON TERSERANG DAN TIDAK TERSERANG KARAT TUMOR BERDASARKAN PENANDA DNA	28
4.1. Pendahuluan	28
4.2. Metode	29
4.3. Hasil	33
4.4. Pembahasan	43
4.5. Kesimpulan	44
V ANALISIS TRANSKRIPTOM DENGAN NGS DAN PERBEDAAN EKSPRESI GEN TERKAIT SERANGAN PENYAKIT KARAT TUMOR	45
5.1. Pendahuluan	45
5.2. Bahan dan Metode	45
5.3. Hasil	47
5.4. Pembahasan	55



5.5. Kesimpulan	57
VI PEMBAHASAN UMUM	58
VII SIMPULAN DAN SARAN	61
7.1. Simpulan	61
7.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	77

- 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

1	Perbedaan morfologi sengon dan sengon merah	7
2	Perbedaan sifat kayu sengon dan sengon merah	8
3	Skor keparahan serangan penyakit karat tumor	15
4	Formulasi reaksi restriksi/ligasi	31
5	Formulasi reaksi amplifikasi pre-selektif	31
6	Reaksi PCR cpDNA	32
7	Daftar primer RAPD hasil seleksi	33
8	Variabilitas genetik berdasarkan penanda RAPD	34
9	Hasil AMOVA RAPD	35
10	Variabilitas genetik berdasarkan penanda AFLP	36
11	Hasil AMOVA AFLP	37
12	Variabilitas genetik berdasarkan Gabungan RAPD dan AFLP	39
13	Hasil AMOVA gabungan RAPD dan AFLP	40
14	Polimorfisme InDel pada sekuen <i>psbA-trnH intergenic spacer</i> sengon	42
15	Polimorfisme daerah <i>psbA-trnH intergenic spacer</i> pada sengon dan sengon merah	43
16	Hasil <i>reads</i> dan <i>assembled contigs</i> kayu sengon	47
17	<i>Functional annotation</i> dari <i>Contig</i> kayu sengon	48
18	Daftar 10 gen dengan ekspresi tertinggi DEG kayu tidak terserang vs terserang karat tumor	51
19	Jumlah dan motif mikrosatelit yang ditemukan dalam transkriptom kambium sengon	51
20	Hasil <i>reads</i> dan <i>assembled contigs</i> karat tumor	52
21	<i>Functional Annotation contig</i> karat tumor	52
22	Daftar 10 gen dengan ekspresi tertinggi DEG tumor di daun vs kayu	54

DAFTAR GAMBAR

1	Ruang lingkup penelitian	6
2	Serangan karat tumor	9
3	Peta lokasi penelitian	14
4	Keparahan serangan penyakit (A) dan intensitas serangan penyakit (B) karat tumor di Bogor dan Ciamis.	16
5	Distribusi letak dan ukuran karat tumor	17
6	Dimensi dan komposisi tegakan.	19
7	Perbandingan diameter sengon terserang dan tidak terserang karat tumor	20
8	Iklim Bogor dan Ciamis	21
9	Keparahan penyakit dan sebaran kandungan beberapa unsur hara	22
10	<i>Screeplot</i> PCA, dengan variabel iklim (A), tanpa variabel iklim (B).	23
11	<i>Biplot</i> PCA dengan variabel iklim (A), tanpa variabel iklim (B)	23
12	Interaksi antar unsur hara	26
13	Dendrogram jarak genetik berdasarkan penanda RAPD	34
14	Hasil analisis <i>STRUCTURE</i> dengan penanda RAPD	35

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.



15	Hasil PCoA dengan penanda RAPD	36
16	Dendrogram jarak genetik populasi berdasarkan penanda AFLP	37
17	Hasil analisis <i>STRUCTURE</i> dengan penanda AFLP	38
18	Hasil PCoA dengan penanda AFLP	38
19	Dendrogram jarak genetik populasi berdasarkan gabungan penanda RAPD dan AFLP	39
20	Hasil analisis <i>STRUCTURE</i> dengan gabungan RAPD dan AFLP	39
21	Hasil analisis PCoA dengan gabungan penanda RAPD dan AFLP	40
22	Dendrogram sengan berdasarkan sekuens daerah <i>psbA-trnH intergenic spacer</i>	41
23	Dendrogram sengan dan sengan merah berdasarkan sekuen daerah <i>psbA-trnH intergenic spacer</i>	42
24	Hasil analisis <i>gene ontology</i> kayu terserang dan tidak terserang karat tumor	49
25	Top-20 Perbedaan jumlah contig terekspresi hasil analisis <i>KEGG Pathway</i> sengan	50
26	<i>Volcano plot</i> hasil analisis DEG kayu sengan	50
27	Hasil analisis <i>gene ontology</i> karat tumor	53
28	<i>Volcano plot</i> DEG karat tumor	55

DAFTAR LAMPIRAN

1	Kontribusi variabel pada PCA dataset dengan variabel iklim	78
2	Kontribusi variabel pada PCA tanpa variabel iklim	79
3	Nilai eigen PCA dengan variabel iklim	80
4	Nilai eigen PCA tanpa variabel iklim	80
5	Komposisi buffer ekstraksi DNA untuk satu reaksi 1 mL	81