



**IPB University**  
— Bogor Indonesia —



# Penerapan Bioteknologi dan Genomika Hutan dalam Pemuliaan Sengon *(Falcataria moluccana)* Resisten Terhadap Hama Boktor dan Penyakit Karat Tumor

**Prof. Dr. Ir. Ulfah Juniarti Siregar, M.Agr.**

Fakultas Kehutanan dan Lingkungan  
IPB University

**ORASI ILMIAH GURU BESAR IPB UNIVERSITY**

Graha Widya Wisuda  
Institut Pertanian Bogor  
10 Desember 2022

**ORASI ILMIAH GURU BESAR IPB**

**PENERAPAN BIOTEKNOLOGI DAN GENOMIKA  
HUTAN DALAM PEMULIAAN SENGON  
(*Falcataria moluccana*) RESISTEN TERHADAP  
HAMA BOKTOR DAN PENYAKIT KARAT TUMOR**

**ORASI ILMIAH**

**Guru Besar Tetap  
Fakultas Kehutanan dan Lingkungan  
IPB University**

**Prof. Dr. Ir. Ulfah Juniarti Siregar, M.Agr.**

**Graha Widya Wisuda  
Institut Pertanian Bogor  
10 Desember 2022**



## **Ringkasan**

Kontribusi hutan tanaman rakyat saat ini semakin penting, yaitu mencapai 46% bagi pemenuhan kebutuhan bahan baku industri kayu nasional. Kayu sengon mendominasi hutan tanaman rakyat terutama di Jawa karena pohon sengon mudah beradaptasi dengan lingkungan yang ada, merupakan pohon legum yang multiguna, di samping pemanfaatan kayu, daunnya juga dapat menjadi pakan ternak, serta pada struktur akarnya seringkali ditemukan bintil-bintil akar yang dapat menyuburkan tanah. Akan tetapi, keberadaan hutan tanaman sengon monokultur yang melimpah ini telah mendatangkan serangan hama penggerek batang boktor dan penyakit karat tumor yang melanda hampir seluruh populasi sengon di Jawa secara bersama-sama. Upaya pengendalian hama boktor dan penyakit karat tumor ini sudah diupayakan sejak mulai timbulnya pandemi, tetapi metode pengendalian yang efektif dan efisien belum ditemukan. Bila tidak dikendalikan maka hama boktor dan penyakit karat tumor ini dapat merusak pertanaman hingga 70%. Hal tersebut menimbulkan pemikiran untuk menanam jenis sengon unggul yang resisten terhadap serangan hama dan penyakit tersebut melalui program pemuliaan pohon sengon. Program pemuliaan pohon konvensional mempunyai kendala berupa umur pohon yang panjang, serta membutuhkan lahan yang luas untuk penanaman uji coba dan dengan demikian dana yang diperlukan juga besar. Oleh karena itu, proses pemuliaan perlu dipersingkat dan dibantu dengan teknologi baru, seperti teknik molekuler, genomik-transkriptomik serta bioteknologi.

Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa meskipun hampir semua individu pohon sengon terserang hama dan penyakit tersebut di atas, terdapat individu-individu yang relatif resisten, bahkan bebas dari hama dan penyakit tersebut. Hal ini dimungkinkan karena populasi sengon di Jawa mempunyai

keragaman genetik yang cukup besar sebagai modal dasar seleksi. Individu yang resisten terhadap hama boktor ternyata mempunyai mekanisme pertahanan biokimia, di antaranya adalah mempunyai aktivitas inhibitor enzim yang lebih tinggi dibandingkan yang rentan. Demikian pula individu yang resisten terhadap penyakit karat tumor juga mempunyai kandungan metabolit sekunder yang lebih banyak dibandingkan yang rentan, sebagai pertahanan terhadap serangan penyakit karat tumor. Pendekatan genomik-transkriptomik berhasil mengungkapkan bahwa resistensi terhadap hama dan penyakit melibatkan banyak gen yang terkait dengan metabolit sekunder maupun adaptasi tanaman dengan lingkungan, baik biotik maupun abiotik dengan pembentukan multi-transkrip dan pola ekspresi yang rumit.

Dengan kerumitan-kerumitan tersebut, program pemuliaan pohon sengon untuk resistensi terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor disarankan untuk menerapkan metode “*genome wide selection*” menggunakan penanda SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) dalam jumlah yang cukup banyak serta tersebar pada seluruh genom tanaman sengon. Beberapa penanda SNP yang telah dikembangkan dan diujikan pada sejumlah kecil individu pohon menunjukkan bahwa penanda tersebut dapat digunakan untuk membantu mempercepat program pemuliaan pohon sengon unggul yang resisten terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor.

## **Ucapan Selamat Datang**

Bismillahirrohmaanirrahim

Yang saya hormati,

Rektor IPB;

Ketua dan Anggota Majelis Wali Amanat IPB; Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar IPB; Ketua dan Anggota Senat Akademik IPB;

Para Wakil Rektor, Kepala Lembaga, Dekan, Wakil Dekan, Direktur, Kepala Pusat, Ketua Departemen, dan Pejabat Struktural Lainnya di Lingkungan IPB;

Para Dosen, Tenaga Kependidikan, Teman-teman Sejawat, Mahasiswa, dan Alumni IPB;

Keluarga dan segenap undangan yang saya muliakan;

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatu.*

Selamat pagi dan salam sejahtera untuk kita semua.

Syukur *Alhamdulillah* kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang dilimpahkan kepada kita semua, sehingga kita mengikuti acara Orasi Ilmiah Guru Besar IPB dalam keadaan sehat. *Shalawat* dan salam semoga Allah SWT mencerahkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabatnya, dan para pengikutnya. *Aamiin.*

Para Hadirin yang saya hormati,

Pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas kesediaan Bapak dan Ibu semuanya yang telah meluangkan waktu dan kehadirannya pada orasi hari ini, baik secara luring maupun daring.

Perkenankan saya sebagai Guru Besar Tetap pada Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB menyampaikan orasi dengan judul:

**Penerapan Bioteknologi dan Genomika Hutan  
dalam Pemuliaan Sengon (*Falcataria moluccana*) Resisten  
Terhadap Hama Boktor dan Penyakit Karat Tumor**

Materi orasi ini diringkaskan dari hasil penelitian-penelitian saya bersama dengan kolega dosen IPB, staf peneliti dari institusi lain, baik dalam negeri maupun luar negeri, para mahasiswa bimbingan dari strata S-1, S-2 sampai S-3 serta kegiatan pengabdian saya lainnya. Hasil penelitian yang disajikan dalam buku orasi ini berasal dari data penelitian tersebut, baik yang telah maupun belum dipublikasikan. Materi yang secara ringkas disajikan dalam naskah orasi ini merupakan hasil penelitian yang menurut saya merupakan “milestone” atau capaian penting dalam upaya menghasilkan klon sengon unggul, tahan hama boktor, dan penyakit karat tumor. Tema orasi ini disampaikan sebagai bentuk pemikiran dalam bidang Genetika Hutan serta penerapannya pada Program Pemuliaan Pohon. Besar harapan saya Orasi Ilmiah ini dapat bermanfaat, terutama dalam mengembangkan hutan tanaman yang lestari di Indonesia.

## Foto Orator



**Prof. Dr. Ir. Ulfah Juniarti Siregar, M.Agr.**



## Daftar Isi

Ringkasan.....	iii
Ucapan Selamat Datang.....	v
Foto Orator.....	vii
Daftar Isi .....	ix
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar .....	xiii
Pendahuluan.....	1
Penurunan sumber daya dan produksi hutan alam .....	1
Peningkatan peran hutan tanaman.....	2
Permasalahan Produksi Hutan Tanaman Sengon Saat Ini .....	3
Permasalahan hutan tanaman monokultur.....	3
Program Pemuliaan Pohon Sengon Konvensional .....	5
Pemuliaan pohon konvensional .....	5
Peran keragaman genetik dalam pemuliaan .....	8
Resistensi Jenis Pohon Tropis Terhadap Hama dan Penyakit.....	9
Hubungan antara pohon sengon dengan hama boktor .....	9
Mekanisme pertahanan biokimiawi sengon terhadap serangan hama boktor .....	12
Mekanisme pertahanan biokimiawi sengon terhadap serangan penyakit karat tumor.....	15
Pewarisan sifat resistensi sengon dari hasil uji keturunan.....	16

Aplikasi Teknik Molekuler pada Program Pemuliaan Pohon .....	18
Aplikasi penanda molekuler bagi penetapan aksesi pohon .....	18
Isolasi dan identifikasi gen terlibat resistensi tanaman menggunakan teknik PCR.....	20
Pendekatan <i>Genomics</i> dan <i>Transcriptomics</i> dalam Studi Resistensi Pohon .....	22
Aplikasi Bioteknologi Kehutanan bagi Pemuliaan Pohon Sengon Tahan Hama dan Penyakit... <td>28</td>	28
Penutup .....	29
Daftar Pustaka .....	30
Ucapan Terima Kasih.....	38
Foto Keluarga.....	42
Riwayat Hidup .....	43

## **Daftar Tabel**

Tabel 1. Rata-rata derajat serangan hama boktor (%), diukur dengan jumlah titik/pohon, pada 8 <i>provenans</i> sengon di 3 lokasi uji penanaman sengon Jawa Barat .....	7
Tabel 2. Top-5 gen yang terekspresi ( <i>upregulated</i> dan <i>downregulated</i> ) sampel resisten vs terserang karat tumor.....	24



## Daftar Gambar

- Gambar 1. Perilaku menggerek larva boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe) dalam makanan buatan (*artificial diet*) (Siregar & Marta, *unpublished data*).....11
- Gambar 2. Aktivitas trypsin inhibitor (a) dan  $\alpha$ -amylase inhibitor (b) pada pohon sengon yang sehat/ resisten dan sakit-rentan dari provenan Banjarnegara dan Subang (Siregar & Djati, *Unpublished data*).....14
- Gambar 3. Analisis 3 dimensi anatomi kayu sengon dengan mikroskop elektron, di mana (a) dan (b) adalah jaringan kayu sengon yang resisten terhadap serangan jamur karat tumor, sedangkan (c), (d), (e), dan (f) adalah jaringan kayu sengon yang rentan terhadap serangan jamur karat tumor (Rahmawati *et al.* 2019).....16
- Gambar 4. Dendrogram pengelompokan 50 aksesi sengon resisten dan rentan penyakit karat tumor menggunakan penanda mikrosatelit (Siregar *et al.* 2019).....19
- Gambar 5. Ekspresi gen UBP13, NUOR, dan WRKY pada sengon saat inokulasi, 1 minggu pasca inokulasi, hingga 4 minggu pasca inokulasi karat tumor (Shabrina *et al.*, *unpublished data*).....26
- Gambar 6. *Principal component analysis* 24 sampel sengon resisten dan rentan terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor berdasarkan penanda SNP (Siregar & Nugroho, *unpublished data*).....27



## **Pendahuluan**

### **Penurunan sumber daya dan produksi hutan alam**

Hutan hujan tropis Indonesia merupakan yang terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Kongo dengan luasan mencapai 126 juta hektare atau 10% dari total luas hutan di dunia (KLHK 2021). Sampai dengan awal tahun 1990-an sektor kehutanan masih memberikan kontribusi terhadap pendapatan nasional ke-2 terbesar setelah migas dan urutan ke-3 di bawah migas dan tekstil. Selama krisis ekonomi, sektor kehutanan masih memberikan kontribusi yang signifikan. Pada tahun 1999/2000 devisa yang diperoleh dari aktivitas kehutanan antara lain US\$ 84,02 juta dari pulp dan US\$ 93,99 juta dari *paper*, serta devisa dari ekspor kayu olahan selama lima tahun terakhir sebesar US\$ 28,12 juta untuk kayu gergajian dan US\$ 2.720,33 juta untuk kayu lapis (Pusat Rencana Kehutanan Departemen Kehutanan RI 2001).

Namun pada tahun 2000-an, produksi kayu dari hutan alam terus mengalami penurunan. Sebagai contoh, kinerja produksi Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu Hutan Alam (IUPHHK-HA) pada 2 tahun berturut-turut, kontribusinya dalam memenuhi kebutuhan Bahan Baku Industri (BBI) nasional menurun dari 19,8% pada tahun 2007 menjadi 14,6% pada tahun 2008. Turunnya kontribusi kehutanan pada perekonomian Indonesia disebabkan oleh banyak faktor, tetapi faktor utamanya adalah besarnya laju kerusakan hutan atau degradasi hutan dan alih fungsi hutan (deforestasi), terutama dari hutan alam. Turunnya kemampuan hutan alam dalam memasok kebutuhan kayu nasional sebenarnya telah dirasakan sejak tahun 80-an, sehingga pada era tersebut mulai dicanangkan pembangunan hutan tanaman, terutama hutan tanaman industri untuk memenuhi kebutuhan industri kayu.

## **Peningkatan peran hutan tanaman**

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2002, pembangunan hutan tanaman selain bertujuan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku industri, juga diharapkan untuk merehabilitasi hutan dan lahan kritis yang tidak produktif lagi. Secara perlahan namun pasti hutan tanaman mulai menggantikan peran hutan alam dalam memenuhi kebutuhan kayu nasional. Kinerja produksi hutan tanaman dalam memenuhi BBI nasional telah meningkat dari 63,5% pada tahun 2007, menjadi 68,8% pada tahun 2008 (Susetyo 2021). Dalam beberapa tahun terakhir, suplai bahan baku kayu dari hutan tanaman semakin meningkat dari sebesar 37,3 juta m<sup>3</sup> pada tahun 2015 menjadi 46,6 juta m<sup>3</sup> pada tahun 2018. Dari produksi tersebut, secara khusus pasokan bahan baku dari hutan rakyat meningkat dari 4,8 juta m<sup>3</sup> pada tahun 2015 menjadi sebesar 6,2 juta m<sup>3</sup> pada tahun 2018 (KLHK 2019).

Hutan Tanaman Rakyat (HTR) terutama di Jawa semakin menunjukkan kontribusi dan peranan yang semakin baik terutama untuk memenuhi berbagai keperluan industri serta untuk penyerapan tenaga kerja dan Usaha Kecil Menengah (UKM). Potensi HTR mencapai 34,8 juta ha dengan sebaran di Jawa seluas 2,7 juta ha dengan potensi 78,7 juta m<sup>3</sup>, sedangkan di luar Jawa luasnya 32,1 juta ha dengan potensi 912 juta m<sup>3</sup>. Jenis tanaman hutan berkayu, tanaman budidaya tahunan berkayu maupun jenis lainnya di Hutan Tanaman Industri (HTI) atau Hutan Tanaman rakyat (HTR) diarahkan untuk mendukung industri hasil hutan, bioenergi, pangan, obat-obatan, kosmetika, kimia, dan pakan ternak. Jenis-jenis kayu yang ditanam khususnya di Jawa adalah sengon (55,97%), mahoni (8,76%), jati (19,74%), jabon, sonokeling dan sebagainya (Susetyo 2021).

Sengon (*Falcataria moluccana*) adalah salah satu jenis cepat tumbuh yang banyak dipakai dalam program reboisasi di Indonesia, maupun pada penanaman hutan rakyat. Sengon banyak ditanam terutama oleh petani dan masyarakat, baik dalam sistem monokultur atau agroforestri karena memiliki banyak manfaat, mudah dibudidayakan, merupakan jenis *legume*, sehingga dapat menambat nitrogen dari udara dengan bantuan bakteri (Siregar *et al.* 2007; Budelman 2005). Sengon menjadi komoditas hutan rakyat yang sangat populer terutama sejak dicetuskannya Program Pemerintah, yaitu “sengonisasi” pada tahun 1989. Sengon merupakan jenis pohon cepat tumbuh yang dapat dipanen ketika berusia 4–6 tahun. Prospek ekspor kayu sengon yang tergolong kayu ringan saat ini sangat besar. Ekspor kayu ringan Indonesia tercatat sebesar US\$ 3,2 miliar atau berkontribusi sebesar 45% dari total ekspor produk kayu Indonesia (BPS 2021). Sementara itu, pangsa pasar kayu dunia tercatat sebesar US\$ 2,1 triliun.

## **Permasalahan Produksi Hutan Tanaman Sengon Saat Ini**

### **Permasalahan hutan tanaman monokultur**

Hutan tanaman yang umumnya bersifat monokultur ternyata mempunyai masalah yang tidak ditemui pada hutan alam. Masalah utama yang ditemui adalah serangan hama dan penyakit akibat melimpahnya jumlah pohon inang. Nair (2000) telah mengidentifikasi dan mendeskripsikan hama dan penyakit yang ditemui pada hutan tanaman di Indonesia. Hampir semua jenis pohon cepat tumbuh yang ditanam dalam hutan tanaman mempunyai masalah hama penyakit, bahkan seringkali lebih dari satu macam yang harus ditangani. Masalah hama penyakit ini di samping akibat dari sistem monokultur, juga diakibatkan

adanya perubahan iklim yang saat ini melanda dunia. Perubahan iklim telah diketahui menyebabkan timbulnya wabah hama penyakit baru, baik itu tanaman, hewan maupun manusia. Perubahan iklim sangat mempengaruhi musim hujan dan kemarau di Indonesia, sehingga menimbulkan dampak besar seperti kebakaran hutan atau sebaliknya, yaitu curah hujan yang sangat tinggi, cuaca yang sulit diprediksi yang dapat mempengaruhi kinerja pertumbuhan tanaman dan produktivitas hutan tanaman.

Hama dan penyakit utama yang dilaporkan dapat menghancurkan pertanaman sengon adalah hama penggerek batang atau biasa dikenal dengan nama boktor (*Xystrocera festiva*) dan penyakit karat tumor akibat jamur *Uromycladium falcatariae* (Matsumoto 1994; Suharti *et al.* 1998; Haneda *et al.* 2021; Doungsa-ard *et al.* 2015). Hama dan penyakit tersebut telah menyerang seluruh hutan tanaman sengon baik di Jawa maupun luar Jawa tanpa ada pengecualian. Penggerek batang mulai menyerang saat tanaman berumur 2–3 tahun dan berlangsung hingga panen pada umur 5–6 tahun. Tanpa pengendalian yang memadai, hama boktor dapat merusak tanaman dari mulai 10%–70% atau bahkan seluruh pertanaman (Nair dan Sumardi 2000). Upaya untuk pengendalian hama ini telah banyak dilakukan dengan berbagai metode, dari mulai fisik, kimiawi maupun biologis, namun tidak ada hasil yang efektif dan efisien (Notoatmodjo 1963; Suratmo 1974; Hardi dan Intari 1990). Hal ini disebabkan karena hama yang perilakunya menggerek ke dalam batang, sehingga sulit untuk dicapai dan dimusnahkan dari luar.

Sementara itu, penyakit karat tumor dapat menyerang tanaman pada semua umur, mulai dari bibit di persemaian hingga tanaman tua di lapang. Potensi merusak dari penyakit ini jauh lebih besar dari pada hama boktor karena awal serangan yang sangat dini dan hampir seluruh pertanaman terkena serangan.

Pada areal Perum Perhutani, Kesatuan pemangkuan Hutan (KPH) Kediri, Resort pengelolaan Hutan (RPH) Pandantoyo, yang menanam sengon seluas 970 ha, serangan penyakit karat tumor mencapai 80–90%, sehingga diumumkan sebagai darurat nasional pada tahun 2016–2017. Metode pengendalian penyakit karat tumor yang efektif juga belum tersedia, meskipun berbagai metode telah dicoba (Baskorowati 2020). Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa baik hama boktor maupun penyakit karat tumor dapat menyerang tanaman pada saat yang bersamaan, sehingga potensi kerugian ekonomi sangat besar.

Tiadanya metode pengendalian yang efektif, ditambah dengan kurangnya pengetahuan serta tidak adanya sumber daya yang memadai pada masyarakat untuk melakukan upaya terstruktur melalui penelitian dan pengendalian terpadu, telah membuat hama dan penyakit ini tetap bertahan dalam populasi sengon hingga saat ini. Tidak adanya metode efektif dan efisien dalam pengendalian hama dan penyakit ini telah memunculkan kemungkinan pengendaliannya melalui penanaman benih atau bibit unggul yang resisten terhadap hama dan penyakit tersebut. Benih dan bibit unggul ini hanya dapat dihasilkan dari suatu program pemuliaan atau seleksi pohon resisten.

## **Program Pemuliaan Pohon Sengon Konvensional**

### **Pemuliaan pohon konvensional**

Program pemuliaan pohon cepat tumbuh telah dimulai di Indonesia dengan dimulainya pengembangan HTI karena adanya unsur penelitian dan penggunaan benih atau bibit unggul yang menjadi syarat bagi pemegang Izin Usaha Pengelolaan Hasil Hutan kayu Hutan tanaman Industri (IUPHHK-HTI)

atau Perizinan Berusaha Pemanfaatan Hutan (PBPH) hutan tanaman. Pada awal pembangunan hutan tanaman, program pemuliaan pohon diarahkan untuk meningkatkan produksi kayu, yaitu dengan metode seleksi berulang yang berfokus pada pertambahan pertumbuhan tinggi dan diameter pohon. Karakter resistensi terhadap hama penyakit umumnya merupakan karakter tambahan. Program pemuliaan yang dilakukan perusahaan HTI telah mampu meningkatkan produksi akasia dan eukaliptus sebanyak 26% sehingga riap volume kayu dari  $20\text{ m}^3/\text{ha/th}$  menjadi  $25\text{--}27\text{ m}^3/\text{ha/th}$  (Leksono 2011). Pada saat itu juga untuk tanaman sengon telah ditemukan *provenansi* yang sangat cepat pertumbuhannya, di mana pada umur 3 tahun diameter batang dapat mencapai 25 cm dengan tinggi batang lurus hingga 20 m, yaitu *provenan* Solomon yang kemudian sangat populer dan dicari-cari benih dan bibitnya di antara para pengusaha hutan rakyat (Trubus 2014). Sayangnya, pengamatan selanjutnya oleh Siregar & Sopandi (*unpublished data*) menunjukkan bahwa jenis sengon Solomon ini juga terserang hama boktor (Tabel 1) dan penyakit karat tumor. Jenis sengon Solomon juga tidak dapat beradaptasi dengan baik pada kondisi iklim Indonesia karena jenis ini hampir tidak dapat berbunga dan berbuah hingga pohon mencapai umur tebang maksimum, yaitu 8 tahun.

Tabel 1. Rata-rata derajat serangan hama boktor (%), diukur dengan jumlah titik/pohon, pada 8 *provenans* sengon di 3 lokasi uji penanaman sengon Jawa Barat

No	Provenansi	Lokasi			Rata-rata
		Unwim	Sumedang	Garut	
1.	Solomon	2,00	3,36	1,90	2,42
2.	Kediri SSO	1,50	2,30	1,60	1,80
	<b>Rata-rata</b>	<b>1,75</b>	<b>2,83</b>	<b>1,75</b>	
3.	Subang	1,20	-	-	
4.	Kuningan	2,00	-	-	
5.	Banjarnegara	2,29	-	-	
6.	Sumedang	-	3,77	-	
7.	Sukabumi	-	-	2,70	
8.	Kediri CSO	-	-	1,70	
	<b>Rata-rata total</b>	<b>1,80</b>	<b>3,14</b>	<b>1,98</b>	

(Siregar & Sunarya, *unpublished data*)

Program pemuliaan konvensional biasanya dimulai dengan tahapan penelitian tentang keragaman genetik jenis yang dimaksud, disusul dengan seleksi *fenotipe* pohon-pohon plus yang kemudian dilanjutkan dengan uji *provenan* dan *progeny*, sampai tahap terakhir yaitu pembangunan kebun benih untuk produksi benih unggul. Dibandingkan program pemuliaan tanaman pertanian, program pemuliaan pohon mempunyai kendala besar yang harus diatasi, yaitu umur pohon serta membutuhkan sumber daya lahan maupun dana yang cukup mahal untuk penanamannya. Oleh karena itu, seringkali hasil penelitian uji genetik seperti uji *provenan* dan *progeny* di kemudian hari akan dikonversi menjadi kebun benih yang diharapkan menjadi sumber benih unggul.

## **Peran keragaman genetik dalam pemuliaan**

Keragaman genetik pohon merupakan modal awal program pemuliaan pohon karena tanpa keragaman maka seleksi tidak akan dapat dilakukan. Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa hampir semua tanaman sengon di Jawa terkena serangan hama boktor dan karat tumor. Pengamatan ini menjadikan timbulnya asumsi bahwa keragaman genetik sengon di Jawa sangat rendah karena tidak ada tanaman yang terlihat resisten terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor. Asumsi ini juga dipicu adanya laporan bahwa tanaman sengon di Jawa berasal dari satu aksesi sengon yang ada di Kebun Raya Bogor yang diambil dari habitat aslinya, yaitu Indonesia bagian Timur pada tahun 1871 (Heyne 1987). Penelitian selanjutnya menggunakan penanda biokimia maupun DNA menunjukkan bahwa hipotesis tersebut tidak benar karena ditemukan bahwa keragaman genetik populasi sengon di Jawa cukup besar dengan nilai  $H_e$  berkisar antara 0,13–0,65 (Siregar *et al.* 1998; 2003; 2012; 2019). Keragaman populasi sengon di Jawa yang cukup besar ini tidak mungkin berasal dari satu aksesi di Kebun Raya Bogor. Kisaran nilai heterozigot harapan populasi sengon ini setara dengan nilai heterozigot harapan beberapa populasi jenis pohon lain, misalnya jenis pohon hutan mangrove *Rhizophora mucronata* di Sumatra Utara mempunyai nilai rata  $H_e = 0,17$  (Basyuni *et al.* 2012), jenis kamper (*Dryobalanops aromatica*) di Sumatra Utara dan Aceh dengan  $H_e = 0,19$  dan  $I = 0,31$  (Ritonga *et al.* 2018); *Pinus merkusii* di Tapanuli dengan  $H_e = 0,45$  (Siregar dan Dwiputra 2013); serta *Shorea laevis* dan *S. parvifolia* di beberapa populasi di Sumatra dan Kalimantan masing-masing mempunyai  $Ht = 0,17$  dan  $0,07$  (Zulfahmi *et al.* 2015).

# **Resistensi Jenis Pohon Tropis Terhadap Hama dan Penyakit**

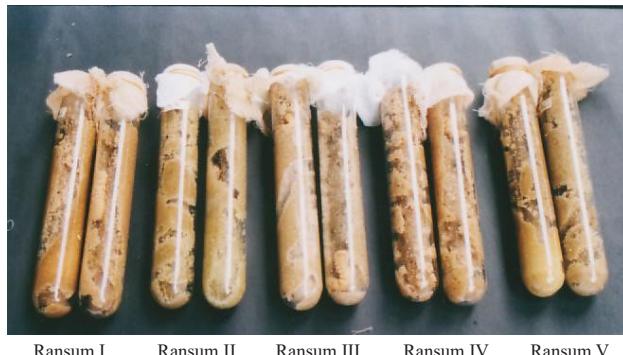
## **Hubungan antara pohon sengon dengan hama boktor**

Serangan hama dan infeksi penyakit dapat terjadi bila ada kesesuaian antara pohon inang dengan hama dan penyakit tersebut, serta didukung oleh kondisi lingkungan yang optimum. Resistensi atau kerentanan terhadap hama dan penyakit seringkali terkait dengan sebuah bahan alami tertentu, protein, enzim, ekstraktif, atau metabolit sekunder yang diproduksi oleh individu pohon. Sebagai contoh, resistensi tanaman jagung terhadap hama penggerek batang adalah karena adanya kandungan enzim *cysteine proteinase* (Jiang *et al.* 1995). Menurut Finkeldey (2005) seringkali bahan alami tersebut ditentukan oleh satu atau hanya beberapa lokus gen yang dapat dideteksi dengan metode molekuler atau terpaut dengan beberapa marka genetik molekuler. Tanaman tidak mempunyai sistem kekebalan yang berdasar pada antibodi seperti pada hewan, tetapi mereka mengaktifkan beberapa mekanisme pertahanan, seperti penguatan dinding sel dan akumulasi protein yang bersifat antimikroba, serta ikatan kecil zat *phytoalexins* (Lamb & Dixon 1997). Oleh karena itu, pendekatan yang biasa dilakukan adalah dengan membandingkan kandungan zat kimia individu yang resisten dan yang rentan atau profil genetiknya.

Boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe) termasuk dalam Ordo Coleoptera, Famili Cerambycidae dan Subfamili Cerambycinae (Hardi, 1998). Hama ini mempunyai daerah penyebaran di Burma, Sumatra, Kalimantan, dan Jawa (Husaeni 2000). Menurut Matsumoto (1994), boktor mempunyai beberapa tanaman inang dari famili Fabaceae khususnya subfamili

Mimosoideae, tetapi dari beberapa jenis tanaman inang tersebut tampaknya yang paling disukai adalah jenis sengon (*Falcataria moluccana*). Adapun beberapa jenis tanaman inang yang lain adalah *Albizia chinensis*, *Acacia mangium*, *A. auriculiformis*, *A. vera*, *A. arabica*, *A. catcu*, *Pithecolobium jiringa*, *P. dulce*, *Parkia speciosa*, *Samanea saman*, *Enterolobium cyclocarpum*, dan *Calliandra calothrysus*. Kumbang betina merupakan serangga nokturnal yang melakukan aktivitas terbang, kawin, dan bertelur pada malam hari. Seekor kumbang betina biasanya meletakkan satu atau dua, kadang-kadang sampai tiga kelompok telur selama hidupnya. Larva-larva yang baru menetas akan segera memakan bagian dalam kulit dan bagian luar kayu gubal. Larva membuat lubang kecil kearah luar kulit untuk mengeluarkan kelebihan serbuk gerek yang merupakan gejala awal yang tampak dari adanya serangan boktor sengon. Pada saat akan berkepompong, larva akan membuat lubang gerek ke arah atas di bawah kayu gubal. Bentuk lubang gereknya oval, berukuran 0,75–1,33 cm, dalamnya mencapai 20 cm. Menurut Matsumoto (1994), siklus hidup *X. festiva* pada makanan buatan adalah 159 hari untuk kumbang jantan dan 193 hari untuk kumbang betina. Pada kondisi alami siklus hidup kumbang jantan 253 hari dan kumbang betina 250 hari.

Larva akan berkepompong di ujung lubang gerek dengan kepala di bawah. Pupa dilindungi dengan  $\text{CaCO}_3$  yang merupakan dinding. Imago (kumbang) yang dihasilkan dari pupa akan keluar melalui lubang gerek kemudian menggigit kulit pohon yang menghalangi untuk keluar dari kulit *Albizia* (Suratmo 1974).



Gambar 1. Perilaku menggerek larva boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe) dalam makanan buatan (*artificial diet*) (Siregar & Marta, *unpublished data*)

Penelitian tentang perilaku hama boktor dalam *artificial diet* mengkonfirmasi perilaku larva boktor di alam (Gambar 1). Larva yang diletakkan di atas makanan buatan, memakan *artificial diet* yang tersusun dari serbuk kayu sengon dalam tabung reaksi dengan cara menggerek, melingkar, dan menurun semakin dalam dari atas tabung (Siregar & Marta, *unpublished data*). Penelitian selanjutnya tentang aktivitas enzim yang ada dalam pencernaan larva boktor selama menggerek batang sengon, dari sejak larva menetas hingga masuk ke dalam batang kayu sengon juga menunjukkan kesesuaian dengan perilakunya (Siregar *et al.* 2022). Ketika telur yang diletakkan pada kulit pohon sengon oleh serangga dewasa menetas, maka larva akan memakan kulit batang yang masih banyak mengandung protein karena jaringan kulit terdiri dari sel-sel yang masih hidup. Pada saat ini maka enzim yang sangat aktif dalam pencernaan larva adalah tripsin, yaitu enzim yang membantu mencerna protein. Seiring dengan semakin besarnya ukuran larva, aktivitas enzim tripsin akan semakin menurun, dan perlahan digantikan oleh enzim  $\alpha$ -amilase.

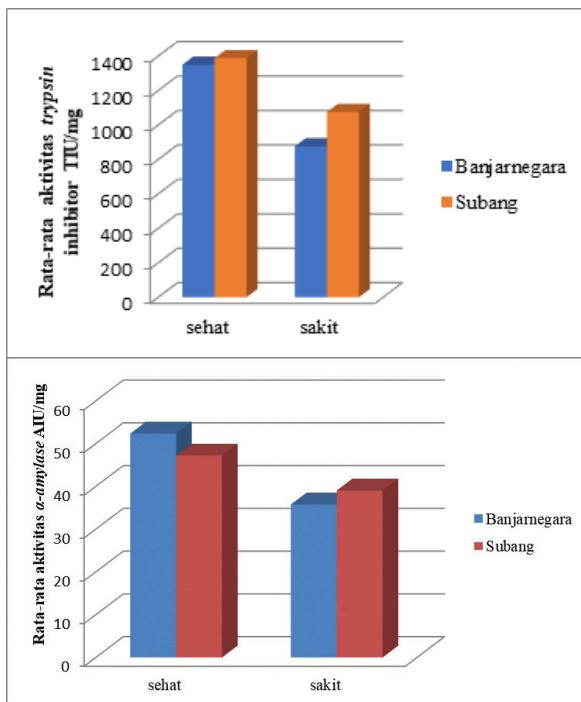
Aktivitas enzim  $\alpha$ -amilase ini semakin meningkat seiring dengan meningkatnya umur dan ukuran larva, serta aktivitas larva yang mulai menggerek bagian batang kayu sengon yang tentunya mempunyai kandungan karbohidrat atau bahan lain yang terbuat dari karbohidrat dalam kayu (Siregar *et al.* 2022).

## **Mekanisme pertahanan biokimiawi sengon terhadap serangan hama boktor**

Penelitian tentang sistem pertahanan tanaman tropis terhadap serangan hama penyakit sangat jarang ditemukan. Penelitian seperti itu terutama untuk jenis sengon belum pernah ada, sehingga berdasarkan pengetahuan terbaik kami, penelitian tersebut merupakan satu-satunya di dunia. Meskipun hampir seluruh tanaman sengon rentan terhadap kedua hama dan penyakit tersebut, pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa beberapa individu pohon mengindikasikan adanya resistensi karena dapat bertahan hidup di antara populasi yang terserang hebat oleh hama dan penyakit tersebut. Fenomena tersebut sangat menarik untuk kegiatan program pemuliaan pohon yang resisten terhadap hama dan penyakit. Adanya individu-individu pohon yang resisten di antara pohon-pohon yang sebagian besar rentan memang diharapkan, karena populasi sengon di Indonesia pada umumnya, dan Jawa khususnya, diketahui mempunyai keragaman genetik yang cukup tinggi (Siregar dan Olivia 2012). Saat ini belum ada informasi mendasar tentang proses biologis dan mekanisme resistensi pada jenis pohon tropis. Pemahaman tentang mekanisme resistensi terhadap hama dan penyakit bukan hanya penting untuk pengendalian hama dan penyakit tersebut, namun juga sangat bermanfaat untuk menerapkan mekanisme tersebut untuk memproduksi bahan metabolit sekunder yang berhubungan dengan mekanisme ketahanan tanaman dan mempunyai kegunaan lain, misalnya gaharu.

Adanya 2 macam enzim pencernaan, yaitu trypsin dan  $\alpha$ -amilase yang aktif dalam pencernaan larva yang sedang aktif memakan kulit kayu sengon dan menggerek batang kayu sengon mengindikasikan bahwa pada tanaman yang terlihat resisten mempunyai zat inhibitor terhadap kedua enzim tersebut. Ketika hama menyerang pohon sengon, maka bagian kulit akan menjadi benteng pertahanan pertama terhadap serangan tersebut. Penelitian selanjutnya menunjukkan bahwa aktivitas trypsin inhibitor dan  $\alpha$ -amilase inhibitor pada kulit batang sengon adalah yang tertinggi dibandingkan daun dan kayu sengon (Winarni *et al.* 2001; Djati 2009; Siregar dan Saimima 2011; Siregar *et al.* 2020). Dengan demikian, dapat digambarkan bahwa hubungan antara pohon sengon sebagai inang dengan hama boktor merupakan interaksi biokimiawi antara enzim dengan inhibitornya. Apabila aktivitas inhibitor-enzim dalam pohon sengon dapat melebihi aktivitas enzim terkait dalam pencernaan larva boktor, maka pohon tersebut akan lebih tahan terhadap serangan hama atau larva boktor. Hal yang sebaliknya yaitu ketika aktivitas inhibitornya lebih rendah maka pohon tersebut akan rentan terhadap serangan hama boktor. Hal ini selanjutnya dikonfirmasi dengan membandingkan aktivitas inhibitor-enzim, baik trypsin inhibitor maupun enzim  $\alpha$ -amilase inhibitor pada individu pohon yang resisten, yang tidak terdapat serangan hama boktor dengan individu yang rentan, yaitu penuh dengan lubang gerek akibat serangan hama boktor. Terbukti bahwa individu pohon atau aksesi yang resisten mempunyai aktivitas inhibitor enzim yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan aksesi yang rentan (Siregar & Djati *unpublished data*; Siregar dan Saimima 2011; Siregar *et al.* 2020) seperti terlihat pada Gambar 2. Hubungan ini berlaku untuk sengon dari berbagai *provenan*, seperti Subang, Banjarnegara, Kediri, Solomon, dan sebagainya. Kaitan antara tingkat aktivitas enzim-

inhibitor dengan kerentanan dan resistensi pohon sengon ini juga dikonfirmasi dengan uji penghambatan pertumbuhan larva boktor menggunakan *artificial diet* atau makanan buatan (Siregar *et al.* 2011), di mana secara umum ditunjukkan bahwa larva boktor tidak menyukai makanan buatan yang mengandung serbuk pohon sengon sehat atau resisten yang mempunyai aktivitas inhibitor enzim lebih tinggi dibandingkan pohon yang sakit atau rentan.

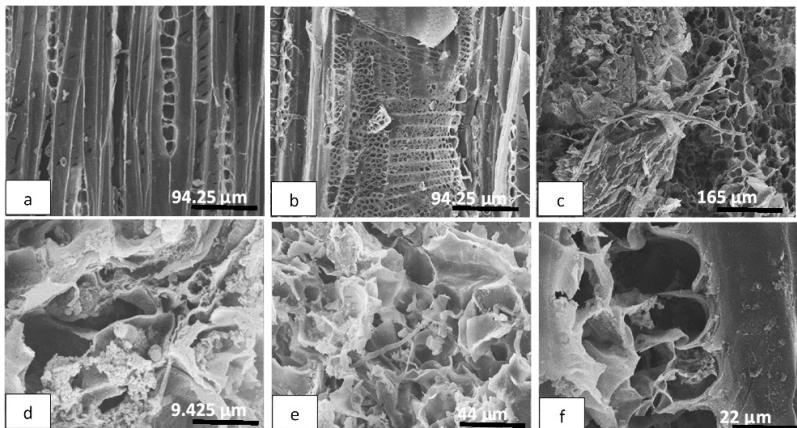


Gambar 2. Aktivitas trypsin inhibitor (a) dan  $\alpha$ -amylase inhibitor (b) pada pohon sengon yang sehat/resisten dan sakit/rentan dari provenan Banjarnegara dan Subang (Siregar & Djati, *Unpublished data*)

Hasil penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian lain pada tanaman pertanian ataupun tanaman dari daerah dengan empat musim di mana trypsin dan  $\alpha$ -amylase inhibitor adalah salah satu dari mekanisme resistensi tanaman terhadap hama serangga.

## **Mekanisme pertahanan biokimiawi sengon terhadap serangan penyakit karat tumor**

Penelitian tentang serangan karat tumor pada sengon menemukan hal serupa tentang resistensi terhadap penyakit ini. Pengamatan di lapang menunjukkan bahwa terdapat variasi keparahan serangan penyakit ini di antara pohon sengon yang rata-rata terkena serangan karat tumor. Terdapat individu/aksesi pohon sengon yang lebih resisten dibandingkan pohon sekitarnya, terlihat dari jumlah tumor yang lebih sedikit pada ujung-ujung ranting dan daun, serta keragaan pohon yang lebih baik. Rahmawati *et al.* (2019) membandingkan aksesi pohon sengon yang resisten dengan yang rentan terhadap karat tumor, diambil dari petak yang sama, menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) serta membandingkan kandungan beberapa metabolit sekunder, di antaranya yaitu flavonoid, triterpenoid, saponin, dan steroid. Gambar 3 menunjukkan bahwa struktur anatomi kayu sengon yang resisten menunjukkan struktur yang teratur dan tidak tertembus hifa dari jamur karat tumor. Sebaliknya pada aksesi yang rentan, terlihat strukturnya rusak akibat invasi hifa yang berhasil menembus jaringan kayu.



Gambar 3. Analisis 3 dimensi anatomi kayu sengon dengan mikroskop elektron, di mana (a) dan (b) adalah jaringan kayu sengon yang resisten terhadap serangan jamur karat tumor, sedangkan (c), (d), (e), dan (f) adalah jaringan kayu sengon yang rentan terhadap serangan jamur karat tumor (Rahmawati *et al.* 2019)

Selanjutnya juga terbukti bahwa aksesi sengon yang resisten terhadap serangan penyakit karat tumor mempunyai kandungan metabolit sekunder yang lebih tinggi dibandingkan yang rentan, terutama kandungan flavonoid, saponin, triterpenoid, dan steroid.

### Pewarisan sifat resistensi sengon dari hasil uji keturunan

Tahun 2020 dilakukan pembangunan plot uji keturunan di Petak 125D, RPH Pandantoyo, Perum Perhutani KPH Kediri dengan menggunakan 50 famili resisten dan 50 famili rentan

terhadap hama penggerek boktor dan penyakit karat puru guna memperoleh sumber benih yang dibentuk dari uji coba genetik untuk ketahanan terhadap hama dan penyakit. Penanaman bibit menggunakan jarak tanam  $3\text{ m} \times 2\text{ m}$  dengan *25 tree square plot*. Namun, pengamatan hanya dilakukan pada 9 individu pohon pada bagian tengah plot. Sifat pertumbuhan yang diukur adalah tinggi, diameter, serta skoring serangan hama dan penyakit.

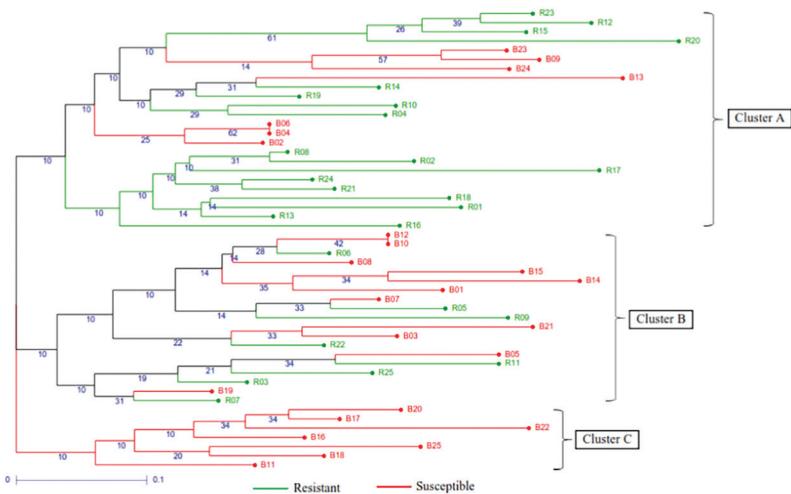
Hasil pengamatan di lapangan menunjukkan pertumbuhan sengon 0 Bulan Setelah Tanam (BST), 3 BST, dan 9 BST pada famili tanaman resisten dan rentan memiliki perbedaan yang signifikan. Pendugaan nilai heritabilitas dilakukan untuk mengetahui proporsi kontribusi faktor genetik yang diturunkan dari tanaman induk kepada keturunannya. Pendugaan nilai heritabilitas pada uji progeni tergolong dalam kategori sedang, masing-masing berkisar antara 0,107–0,133 dan 0,102–0,150 untuk variabel tinggi dan diameter. Sifat resistensi diturunkan dari pohon induk ke keturunannya, ditunjukkan dengan intensitas dan keparahan serangan karat puru pada famili resisten yang lebih rendah dibandingkan dengan famili rentan. Pola penurunan sifat resistensi maupun kerentanan kepada keturunan pohon sengon ini mengindikasikan adanya pengaruh genetik yang cukup besar dalam sifat resisten dan rentan. Informasi ini dapat digunakan untuk seleksi bertahap dengan mempertimbangkan intensitas yang sesuai (Nugroho *et al.* 2021; Siregar *et al.* 2020). Informasi ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi gen-gen yang bertanggung jawab terhadap karakter resisten dan rentan pada pohon sengon terhadap hama dan penyakit.

## **Aplikasi Teknik Molekuler pada Program Pemuliaan Pohon**

### **Aplikasi penanda molekuler bagi penetapan aksesi pohon**

Adanya perbedaan, baik aktivitas maupun kandungan metabolit sekunder yang terdapat pada aksesi-aksesi sengon yang resisten, baik terhadap hama boktor maupun karat tumor dibandingkan aksesi yang rentan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan latar belakang genetik dari aksesi-aksesi tersebut. Perbedaan tersebut sulit diverifikasi menggunakan karakter *fenotipe* karena pola penurunan resistensi yang tidak diketahui dengan pasti, yaitu berapa gen yang terlibat serta kemungkinan adanya pengaruh faktor lingkungan. Identifikasi dan karakterisasi aksesi atau *fingerprinting* sangat penting untuk memudahkan program pemuliaan pohon. Upaya pertama untuk membedakan profil atau latar belakang genetik dilakukan dengan menggunakan penanda DNA karena DNA merupakan bahan penyusun gen langsung. Penanda molekuler berupa RAPD pernah dipakai untuk membedakan aksesi-aksesi sengon yang tahan dan yang rentan terhadap hama boktor dan karat tumor. Hasil menunjukkan bahwa RAPD tidak dapat membedakan dua aksesi tersebut (Lelana *et al.* 2018; Dwiyanti *et al.* 2021). Penanda lain yang dikembangkan dalam upaya membedakan latar belakang genetik aksesi sengon adalah SCAR (*Sequence Characterized Amplified Region*) (Yuskianti dan Shiraishi 2010) namun kemampuan SCAR belum terbukti dapat membedakan aksesi sengon dengan perbedaan resistensi terhadap hama penyakit. Selain itu, penanda kloroplas psbA-trnH juga pernah diuji (Shabrina *et al.* 2020) dengan hasil sama, yaitu tidak dapat membedakan aksesi resisten dengan rentan. Penanda mikrosatelit yang dicobakan pada 50 sampel pohon

resisten dan rentan dari 3 *provenan*, yaitu Kediri, Sukabumi, dan Sumedang (Gambar 4) dapat memisahkan sebagian besar aksesi tersebut pada dendrogram yang dihasilkan (Siregar *et al.* 2019) namun beberapa aksesi masih bercampur. Hasil pengamatan dengan penanda mikrosatelit mengindikasikan bahwa pada aksesi yang terpisah antara resisten dan rentan terdapat perbedaan latar belakang genetiknya. Untuk itu, perlu diteliti lebih lanjut apakah perbedaan tersebut terkait dengan gen-gen penyandi resistensi tersebut. Penelitian seperti ini memerlukan identifikasi gen spesifik, dengan cara kloning fragmen tertentu guna diisolasi, kemudian identifikasi sekuen gen-gen penyandi tersebut.



Gambar 4. Dendrogram pengelompokkan 50 aksesi sengon resisten dan rentan penyakit karat tumor menggunakan penanda mikrosatelit (Siregar *et al.* 2019)

## **Isolasi dan identifikasi gen terlibat resistensi tanaman menggunakan teknik PCR**

Inisiasi kegiatan isolasi dan identifikasi gen pada sengon yang terkait dengan resistensi telah dilakukan Siregar dan Tampang (Tampang *et al.* 2011) dengan optimasi metode isolasi DNA sengon dan melakukan amplifikasi gen  $\alpha$ -amilase inhibitor. Keberhasilan dari metode isolasi DNA tanaman yang digunakan bergantung pada kandungan polisakarida, senyawa metabolit sekunder, fenol, dan senyawa organik lainnya pada tanaman yang digunakan. Pada penelitian tersebut, metode CTAB (*Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide*) dengan purifikasi menggunakan *binding column* menghasilkan DNA terbaik dengan kemurnian yang tinggi dengan nilai 1,6–1,9. Nilai kemurnian ini akan mempengaruhi keberhasilan amplifikasi yang dilakukan, di mana amplifikasi terbaik menggunakan primer spesifik  $\alpha$ -amilase inhibitor terjadi pada DNA dengan kemurnian terbaik.

Penelitian mengenai isolasi dan identifikasi gen-gen terkait resistensi sengon dengan metode kloning juga dilakukan (Siregar dan Yanti, *Unpublished data*). Penelitian tersebut mengembangkan metode kloning *shotgun* dengan vektor p-GEMT-Easy pada sel bakteri *E. coli* strain DH5 $\alpha$ . Penelitian tersebut telah berhasil menyisipkan DNA *insert* yang telah terkonfirmasi dari PCR *screening* yang dilakukan dengan primer SP6-F dan T7-R dalam plasmid bakteri. Isolasi plasmid dan sekuensing kemudian dilakukan dan dilanjutkan dengan uji homologi di mana berdasarkan analisis tersebut pustaka genom yang dihasilkan merupakan bagian dari genom *F. moluccana*. Optimasi kloning dan identifikasi gen penyandi trypsin inhibitor dan  $\alpha$ -amilase inhibitor kemudian dilanjutkan pada penelitian Siregar dan Dewantoro (*Unpublished data*). Trypsin inhibitor dan  $\alpha$ -amilase inhibitor merupakan senyawa yang

bersifat menghambat kinerja dari enzim trypsin dan  $\alpha$ -amilase yang ada pada pencernaan boktor dan umumnya dimiliki oleh pohon sengon yang resisten. Kegiatan kloning yang dilakukan dalam penelitian tersebut menghasilkan sekuens gen trypsin inhibitor dan sekuens gen  $\alpha$ -amilase inhibitor yang memiliki kesamaan dengan sekuens dari tanaman Fabaceae lainnya walaupun masih memiliki nilai E yang rendah.

Berdasarkan penelitian Siregar dan Tampang (Tampang *et al.* 2011) yang dilakukan sebelumnya telah berhasil ditemukan fragmen hasil PCR dengan menggunakan primer khusus untuk gen  $\alpha$ -amilase inhibitor dari sengon. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan optimasi metode deteksi dan analisis gen  $\alpha$ -amilase inhibitor pada sengon (Siregar dan Yahya, *Unpublished data*). Penelitian identifikasi gen-gen tersebut juga diperkuat dengan penelitian analisis ekspresi gen menggunakan *Real Time Polymerase Chain Reaction* (RT-PCR) yang diharapkan dapat membantu proses seleksi melalui karakterisasi molekuler secara kuantitatif. Lebih lanjut lagi, dilakukan sekuensing untuk validasi kesesuaian hasil isolasi gen dengan gen target yang diinginkan, yaitu gen  $\alpha$ -amilase-inhibitor (AAI) dan aktin untuk mengetahui *similarity* dari jenis dan gen yang digunakan. Dari penelitian tersebut, sekuen gen spesifik aktin berhasil diperoleh dari primer TAAct dan menunjukkan kesamaan dengan gen aktin *Sarocalamus faberi*. Sekuen gen spesifik  $\alpha$ -amilase inhibitor diperoleh dari primer GMAAI dan menunjukkan kesamaan dengan gen LTP *Rosa chinensis* yang mempunyai fungsi dan struktur domain mirip dengan  $\alpha$ -amilase inhibitor. Sementara itu, penelitian mengenai gen trypsin inhibitor telah berhasil mendapatkan beberapa marka molekuler bersama dengan gen aktin sebagai *housekeeping gene* (Siregar & Oktavia, *Unpublished data*). Primer AcTI, TaACT, dan AcACT yang telah dirancang diprediksi mampu mengamplifikasi daerah

penyandi gen trypsin-inhibitor (TI) dan aktin pada *template* DNA sengon berdasarkan tingkat kesamaan yang tinggi pada hasil penyejajarannya.

Meskipun metode sekuensing hasil PCR dan kloning berhasil mengidentifikasi gen-gen yang terkait resistensi terhadap hama boktor, namun hasilnya sangat terbatas pada satu-dua gen yang telah diketahui dan telah dirancang primernya. Oleh karena itu, diperlukan metode yang lebih maju dan mampu untuk mendapatkan sekaligus banyak gen yang terkait resistensi terhadap hama dan penyakit.

## Pendekatan *Genomics* dan *Transcriptomics* dalam Studi Resistensi Pohon

Penelitian-penelitian sebelumnya dengan pendekatan genetik berbasis PCR masih belum memberikan hasil yang memuaskan karena hanya dapat mengidentifikasi gen-gen tertentu sesuai dengan primer yang digunakan. Terobosan penelitian selanjutnya menggunakan teknologi terkini yaitu *Next-generation sequencing* (NGS) sangat diperlukan untuk memperoleh sekuens dari seluruh genom dan dengan demikian mudah untuk mencari gen-gen tertentu dalam genom tersebut. Penggunaan teknologi tersebut sukses memberikan informasi terkait ketahanan sengon terhadap penyakit karat tumor dan hama boktor. Perkembangan teknologi NGS sangat membantu untuk mendapatkan data sekuens dalam jumlah besar dengan waktu yang cepat dan biaya yang relatif lebih murah. Data sekuens tersebut dapat dimanfaatkan untuk menganalisis gen-gen yang berperan dalam resistensi suatu tanaman terhadap Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) maupun stres abiotik.

Aplikasi NGS yang dilakukan pertama kali yaitu analisis transkriptomik atau RNA dari pohon sengon yang terserang penyakit karat tumor dan hama boktor. Analisis transkriptom

mampu menunjukkan perbedaan gen yang terekspresi di waktu tertentu, pada organ tertentu, dan perlakuan tertentu. Hasil analisis transkriptomik menunjukkan bahwa resistensi sengon terhadap penyakit karat tumor dan hama boktor bersifat multigenik, dilihat dari banyaknya gen yang terekspresi secara berbeda pada individu resisten dan individu rentan penyakit karat tumor dan hama boktor, baik secara *up-regulated* maupun *down-regulated* (Shabrina *et al.* 2019, Siregar *et al.* 2021).

Analisis transkriptomik dilakukan pada kayu pohon yang terserang karat tumor dan sehat yang tumbuh secara berdekatan. Hasil analisis menunjukkan terdapat 5944 gen yang terekspresi secara *up-regulated* dan 8075 gen yang diekspresikan secara *down-regulated* (Siregar & Shabrina, *unpublished data*). Gen-gen yang teridentifikasi tersebut memiliki peran dalam merespons serangan penyakit. *Transcription factor CPC* memiliki peran dalam respons terhadap asam jasmonat dan asam salisilat yang merupakan senyawa respons terhadap serangan penyakit. Asam jasmonat berfungsi untuk menghambat proses mitosis sel sehingga jumlah sel baru yang terbentuk lebih sedikit dan lebih kecil. *Ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase 13* berperan dalam *signaling pathway* dari asam jasmonat. Gen *Leucine Rich Repeat* (LRR) berperan dalam resistensi tanaman terhadap serangan patogen. Selain itu, ditemukan juga beberapa *disease resistance protein* dan beberapa *Transcription Factor* (TF) seperti WRKY dan *Ethylene Responsive*. Gen-gen *Reactive Oxygen Species* (ROS) ditemukan ter-*upregulated* pada tanaman resisten karat tumor yang berfungsi dalam penurunan kemampuan dinding sel untuk meregang sehingga tetap tebal ketika terjadi serangan sehingga tanaman memiliki pertahanan fisik menghadapi patogen.

Tabel 2. Top-5 gen yang terekspresi (*upregulated* dan *downregulated*) sampel resisten vs terserang karat tumor

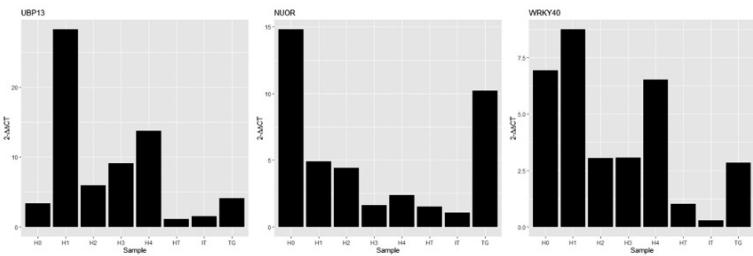
ID sekuen	logFC	FDR	Nama Gen
<i>Up-regulated</i>			
FalSK.97594.1.T.79583.c4.g2.i2	12.17	9.7E-28	<i>Transcription factor CPC</i>
FalSK.82701.1.T.79466.c1.g1.i4	10.96	7.7E-21	<i>Serine carboxypeptidase-like 18</i>
FalSK.95586.66090.T.88690.c1.g1.i3	10.40	2.8E-17	<i>Serine carboxypeptidase-like 18</i>
FalSK.95586.109491.T.81468.c3.g4.i2	10.10	1.9E-15	<i>Universal stress protein A-like protein</i>
FalSK.61811.0.T.83289.c6.g2.i1	10.07	2.6E-15	<i>Cytochrome P450 7A5</i>
<i>Down-regulated</i>			
FalSK.95586.47482.T.84387.c9.g3.i1	-16.27	2.6E-59	<i>Fasciclin-like arabinogalactan protein 12</i>
FalSK.95586.51624.T.88608.c2.g2.i11	-15.41	6.9E-53	<i>ATP synthase protein MI25</i>
FalSK.95586.43003.C22450	-14.55	2.1E-46	<i>Cytochrome c oxidase subunit 1 (Fragment)</i>
FalSK.95586.51538.T.89133.c2.g2.i2	-14.21	6.9E-44	<i>Cytochrome c oxidase subunit 1</i>
FalSK.95586.73299.C24188	-14.19	9.4E-44	<i>RNA-directed DNA polymerase homolog</i>

(Siregar & Shabrina, *unpublished data*)

Sementara itu, pada kayu sengon yang terserang hama boktor dan resisten hama boktor, analisis DEG menunjukkan terdapat 6859 gen yang diekspresikan secara *up-regulated* dan 3707 gen yang diekspresikan secara *down-regulated*. Hasil analisis DEG menunjukkan beberapa gen yang terindikasi terlibat dalam ketahanan sengon terhadap hama boktor antara lain *Putative lipid transfer protein DIR1*, *Glycine rich RNA binding protein*

*Glucan endo 1,3 beta glucosidase, Pathogenesis related protein PR.1, Myosin, Peptidyl prolyl cis trans isomerase, Co chaperone protein, Glutathione S. transferase T1, Zinc finger protein, Trypsin inhibitor, Aquaporin, Putative disease resistance protein, pEARLII1.like lipid transfer protein, Heat shock cognate 70 kDA protein, Trypsin inhibitor A, Chalcone synthase, Thaumatin.like protein, Kunitz.type trypsin inhibitor. like 2 protein, Leucine rich extensin.like protein* (Siregar & Larosa, *Unpublished data*).

Beberapa gen tersebut kemudian dianalisis menggunakan *Real-Time PCR* (RT-PCR) untuk melihat tingkat ekspresi gen tersebut pada individu sengon yang terserang hama boktor dan karat tumor ketika dibandingkan dengan individu yang resisten atau tidak terserang hama dan penyakit. Pada sengon yang terserang karat tumor, gen yang diuji yaitu *Ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase 13, NADH-ubiquinone oxidoreductase, WRKY transcription factor 40, dan ethylene-responsive transcription factor ERF71*. Sementara itu, pada sengon yang terserang karat tumor, gen yang dianalisis yaitu *Trypsin inhibitor, alpha-amylase inhibitor, Heat shock cognate 70 kDA (HSP 70), Aquaporine, dan Chalcone synthase*. Hasil analisis ekspresi gen menunjukkan bahwa gen-gen tersebut tidak secara linier terekspresi seiring dengan tingkat serangan hama dan penyakit. Hasil analisis RT-PCR tersebut semakin menguatkan bahwa resistensi tanaman sengon bersifat multigenik dengan pola ekspresi yang rumit. Hal tersebut menunjukkan bahwa diperlukan pendekatan lain yang lebih komprehensif (Siregar et al. *unpublished data*)

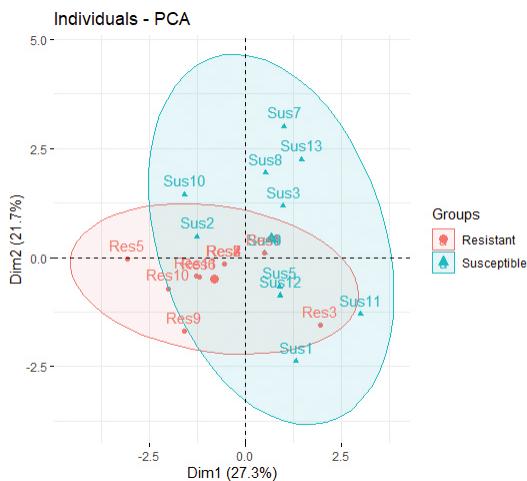


Gambar 5. Ekspresi gen UBP13, NUOR, dan WRKY pada sengon saat inokulasi, 1 minggu pasca inokulasi, hingga 4 minggu pasca inokulasi karat tumor (Shabrina *et al.*, *unpublished data*)

Hasil analisis transkriptomik tersebut dapat dimanfaatkan untuk menganalisis lebih lanjut terkait adanya *Single Nucleotide Polymorphisms* (SNPs) pada gen-gen yang terkait dengan sifat rentan maupun resisten. Penjajaran 8 *reads* pada sekuen referensi hasil transkriptomik mengidentifikasi perubahan basa nukleotida sebanyak 496.194 SNPs. Hasil identifikasi SNPs menemukan 119 SNPs yang kemungkinan berhubungan dengan 7 gen terkait resistensi terhadap hama dan penyakit. Sebelum dilakukan amplifikasi, SNP tersebut perlu diverifikasi dengan data genomik karena akan diujikan pada sampel dengan menggunakan DNA, bukan RNA sebagai *template*. Sementara itu, SNP yang terdapat pada transkriptom pasti lebih sedikit karena tidak terdapat intron. Oleh karena itu, dilakukan juga penyusunan *genom reference* dari sengon (Siregar & Anita, *unpublished data*).

Sebanyak 13 primer SNPs berhasil didesain dengan 10 primer yang teramplifikasi. Sepuluh primer SNPs yang telah terseleksi kemudian digunakan untuk *genotyping* menggunakan teknik *high resolution melting* (HRM). Analisis HRM berhasil mengkonfirmasi adanya asosiasi SNPs pada gen-gen terkait

resistensi, terlihat pada Gambar 6 bahwa primer yang diujikan pada 24 sampel uji dapat memisahkan sebagian besar *genotipe* resisten dan rentan. Beberapa individu resisten dan rentan yang masih menyatu dalam analisa ini mengindikasikan bahwa masih diperlukan penanda SNP yang lebih banyak untuk *genotyping* aksesi secara lebih baik. Secara umum, hasil nilai  $-\log_{10}$  dari *P-value* penanda yang dipakai menunjukkan bahwa penanda tersebut dapat digunakan untuk membantu mempercepat program pemuliaan pohon sengon unggul yang resisten terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor (Siregar & Nugroho, *unpublished data*).



Gambar 6. *Principal component analysis* 24 sampel sengon resisten dan rentan terhadap hama boktor dan penyakit karat tumor berdasarkan penanda SNP (Siregar & Nugroho, *unpublished data*)

# **Aplikasi Bioteknologi Kehutanan bagi Pemuliaan Pohon Sengon Tahan Hama dan Penyakit**

Hasil-hasil penelitian di atas tentunya dapat menjadi pondasi bagi pengembangan seleksi individu-individu unggul dengan *marker-assisted selection* (MAS), melalui identifikasi *Quantitative Trait Loci* (QTL) atau *Genome-Wide Association Study* (GWAS). QTL, meskipun superior, cukup sulit dilakukan pada tanaman kehutanan atau perenial karena diperlukan populasi hasil penyilangan terkendali, lamanya waktu tunggu keturunan yang dihasilkan jika dilakukan penyilangan, serta perlunya penyusunan “*saturated map*” dengan banyak penanda molekuler untuk menentukan penanda yang terpaut dengan gen penyandi karakter resistensi dan kerentanan terhadap hama dan penyakit. Jika penanda yang terpaut tersebut sudah diperoleh, maka penanda tersebut dapat digunakan untuk seleksi dini bibit yang diharapkan resisten. Oleh karena sulitnya mendapatkan QTL, hal yang paling mungkin untuk dilakukan menggunakan hasil dari penelitian-penelitian yang sudah dilaksanakan yaitu dengan studi asosiasi dan GWAS.

Salah satu marka yang dihasilkan dari penelitian selama ini yang dapat digunakan yaitu SNP. Marka SNP sendiri memiliki keunggulan yaitu jumlahnya yang sangat besar dan tersebar secara luas dan merata di seluruh genom, serta dapat mendeteksi lokus-lokus yang letaknya sangat berdekatan. SNP diharapkan lebih mudah berpaut (*linkage*) dan mendeteksi gen-gen yang kemungkinan menyandikan resistensi dan kerentanan terhadap hama dan penyakit. Akhirnya, penggunaan marka SNP memungkinkan kita untuk melakukan program seleksi atau pemuliaan dengan metoda *genome-wide selection*.

## **Penutup**

Semakin banyaknya hutan tanaman yang monokultur, ditambah dengan adanya perubahan iklim, maka hutan tanaman di kemudian hari akan semakin banyak menghadapi masalah hama dan penyakit yang semakin beragam, atau semakin parah dan meluas. Seringkali jika masalah hama dan penyakit pada satu jenis pohon tertentu tidak dapat dikendalikan dengan baik, para praktisi kehutanan menempuh jalan mengganti jenis tersebut dengan jenis pohon lain yang terkadang belum dikembangkan, misalnya upaya mengganti pertanaman sengon dengan jabon atau balsa. Saat ini terbukti bahwa tanaman yang baru dikembangkan tersebut, setelah ditanam dengan pola monokultur, pada akhirnya akan menghadapi masalah hama dan penyakit juga. Persoalan hama penyakit pada kehutanan sulit ditangani terutama karena areal pertanaman yang biasanya sangat luas, sehingga program pemuliaan pohon untuk resistensi terhadap hama penyakit merupakan salah satu pilihan yang paling aman dampaknya bagi lingkungan.

Kemajuan ilmu dan teknologi molekuler yang melahirkan bioteknologi dan terakhir teknologi sekuensing generasi lanjut ditambah dengan bioinformatika yang melahirkan pendekatan genomik dan transkriptomik telah merevolusi pengertian kita akan proses biologi dan genetik yang berlangsung pada tanaman jenis pohon tropis dan interaksinya dengan hama, penyakit serta adaptasinya pada lingkungan abiotik maupun biotik. Kemajuan ilmu dan teknologi tersebut juga telah menyumbangkan pendekatan baru pada program pemuliaan pohon tropis, sehingga memungkinkan untuk memperpendek proses yang harus dilakukan dengan keakuratan pendekatan yang lebih tinggi. Semoga metode dan hasil penelitian dan pemuliaan sengon yang saya sampaikan dalam orasi ini akan melahirkan klon sengon unggul yang resisten terhadap

hama boktor dan penyakit karat tumor, juga menjadi model bagi program pemuliaan jenis-jenis pohon tropis lain yang banyak ditanam pada hutan tanaman di Indonesia, seperti akasia, eukaliptus, jati, meranti, jabon, dan sebagainya. Selain itu, mekanisme interaksi antara pohon inang sengon dengan hama dan penyakit juga menjadi inspirasi dan model bagi pengembangan produk hasil hutan non kayu lain yang memerlukan proses interaksi serupa, yaitu antara ketahanan pohon inang dengan penyakit, misalnya gaharu.

## Daftar Pustaka

- [Badan Pusat Statistik] BPS. 2021. *Statistik Produksi Kehutanan 2021*. Jakarta (ID): Badan Pusat Statistik.
- Baskorowati L. 2020. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Genetika dan Pemuliaan Tanaman: *Teknologi Pemuliaan Sengon untuk Meningkatkan Ketahanan Penyakit Karat Tumor guna Mendorong Perkembangan Industri Perkayuan di Indonesia*. Bogor (ID): IPB Press 64pp.
- Basyuni M, Hamzah, Rahayu S, Siregar UJ. 2012. Pengaruh aktivitas antropogenik terhadap keragaman genetik *Rhizophora mucronata* Lamk. di hutan mangrove Secanggang, Sumatra Utara. *Foresta, Indonesian Journal of Forestry* 1(2):41–48.
- Budelman A. 2005. *Paraserianthes falcataria - Southeast Asia's Growth Champion*. Arkansas (UD): Winrock.
- Doungsa-ard C, McTaggart AR, Geering ADW, Dallsay TU, Ray J, Shivas RG. 2015. *Uromycladium falcatarium* sp. nov., the cause of gall rust on *Paraserianthes falcataria* in south-east Asia. *Australasian Plant Pathol* 44(1):25–30.

Dwiyanti FG, Siregar IZ, **Siregar UJ**. 2021. Phenotypic and genetic diversity evaluation of sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & JW Grimes) from Solomon provenance on progeny trial in Cirangsdad Experimental Forest, West Java. *J. Manajemen Hutan Tropika* 27(3):174–183.

Finkeldey R. 2005. *Pengantar Genetika Hutan Tropis (An Introduction to Tropical Forest Genetics)* terjemahan oleh E. Djamhuri, IZ Siregar, UJ Siregar dan AW. Kertadikara. Proyek AUNP, IPB-Universitas Gottingen. 244pp.

Haneda NF, Ichtisinii A, **Siregar UJ**, Istikorini Y, Lestari A. 2021. Chemical component of sengon tree digested *Xystrocera festiva* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> KOBI Congress, International and National Conferences (KOBININC 2020). *Advances in Biological Sciences Research* 14:292–295.

Haneda NF, Supriatna AH, Shabrina H, Istikorini Y, **Siregar UJ**, Wahyudi I. 2021. Chemical characteristics of *Falcataria moluccana* wood infested by Boktor stem borer (*Xystrocera festiva*). *Biodiversitas* 22:4203–4208.

Hardi TTW, Intari SE. 1990. *Pengendalian hama pada tegakan HTI*. In: Buharman, Purba K, Herdiana C (eds) Proceedings Diskusi Hutan Tanaman Industri, Jakarta 13–14 Maret 1990. Jakarta (ID): Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan p 177–186.

Hardi T. 1998. *Mengenal Lebih Dekat Hama Boktor, Xystrocera festiva*. Bogor (ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan hutan dan Konservasi Alam.

Heyne K. 1987. *Tumbuhan berguna Indonesia, Jilid II*, cetakan ke-1. Jakarta (ID): Badan Litbang Kehutanan, Departemen Kehutanan.

- Husaeni EA. 2000. *Diktat Hama Hutan di Indonesia*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Jiang B, Siregar UJ, Willeford KE, Luthe DS, Williams WP. 1995. Association of a 33-Kilodalton cysteine proteinase found in corn callus with the inhibition of fall armyworm larval growth. *Plant Physiology* 108: 1631–1640.
- Kasno, Husaeni EA. 1998. *An integrated control of sengon stem borer in Java*. Paper presented at the IUFRO S7.03.09 workshop on pest management in tropical forest plantations, Thailand: Chanthaburi 25–29 May 1990.
- [Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan] KLHK. 2019. Menyongsong kebangkitan industri perkayuan nasional untuk kesejahteraan masyarakat No SP.034/HUMAS/PP/HMS.3/01/2019. Tersedia pada: [http://ppid.menlhk.go.id/siaran\\_pers/browse1762](http://ppid.menlhk.go.id/siaran_pers/browse1762)
- [Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan] KLHK. 2021. Empat pesan Menteri LHK pada peringatan hari hutan internasional No SP.106/HUMAS/PP/HMS.3/3/2021 [Internet]. Tersedia pada: <http://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/5898/>
- Lamb C, Dixon RA. 1997 The oxidative burst in plant disease resistance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 48:251–275.
- Leksono B, Kurinobu S, Ide Y. 2011. *A Breeding Strategy for the Tropical Eucalyptus: Findings and Lessons Acquired from the Multi-generation Tree Breeding of Eucalyptus pellita in Indonesia*. Germany (DE): Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG.
- Lelana NE, Wiyono S, Guyanto, Siregar IZ. 2018. Genetic diversity of *Falcataria moluccana* and its relationship to the resistance of gall rust disease. *Biodiversitas* 19(1):12–17.

- Matsumoto K. 1994. Studies on the Ecological Characteristics and Methods of Control of Insect Pest of Trees in Reforested Areas in Indonesia. Final report to FORDA, Ministry of Forestry, Indonesia.
- Nair KSS, Sumardi. 2000. General scenario of pests and diseases in natural forests and plantations in Indonesia. In: Nair KSS (eds.) *Insect Pests and Diseases in Indonesian Forests, An Assessment of the Major Threats, Research Efforts and Literature*. Bogor (ID): CIFOR.
- Nair KSS. 2000. *Insect Pests and Diseases in Indonesia Forest*. Bogor (ID): CIFOR.
- Notoatmodjo SS. 1963. Cara-cara mencegah serangan massal dan boktor (*Xystrocera festiva* Pascoe) pada tegakan *Albizia falcataria*. Bogor (ID): Laporan LPH No 92.
- Nugroho A, Matra DD, Siregar IZ, Haneda NF, Istikorini Y, Rahmawati R, Amin Y, **Siregar UJ**. 2021. Early growth evaluation and estimation of heritability in a sengon (*Falcataria moluccana*) progeny testing at Kediri, East Java, Indonesia. *Biodiversitas* 22(5).
- Rahmawati D, Khumaida N, **Siregar UJ**. 2019. Morphological and phytochemical characterization of susceptible and resistant sengon (*Falcataria moluccana*) tree to gall rust disease. *Biodiversitas* 20(3):907–913.
- Ritonga FN, Dwiyanti FG, Kusmana C, **Siregar UJ**, Siregar IZ. 2018. Population genetics and ecology of Sumatran camphor (*Dryobalanops aromatica*) in natural and community-owned forest in Indonesia. *Biodiversitas* 19(6):2175–2182.
- Shabrina H, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2020. Konfirmasi jenis dan keragaman genetik sengon resisten dan rentan infeksi karat tumor menggunakan penanda DNA kloroplas. *JPHT* 17(2):117–130.

Shabrina H, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2019. The dataset of de novo transcriptome assembly of *Falcataria moluccana* cambium from gall-rust (*Uromycladium falcatarium*) infected and non-infected tree. *Data in brief* 26:104489.

**Siregar UJ**, Siregar IZ, Sagita H. 2003. Genetic variation of Sengon (*Paraserianthes falcataria*), an important tree species for agroforestry in West Java. In: Proceedings of National Workshop on Forest Rehabilitation through Agroforestry, Bogor (ID): January 13, 2003.

**Siregar UJ**, Rachmi A, Massijaya MY, Ishibashi N, Ando K. 2007. Economic analysis of sengon (*Paraserianthes falcataria*) community forest plantation, a fast growing species in East Java, Indonesia. *Forest Policy and Economics* 9:822–829.

**Siregar UJ**, Olivia RD. 2012. Keragaman genetik populasi sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) pada hutan rakyat di Jawa berdasarkan penanda RAPD. *J. Silvikultur Tropika* 3(2):130–136.

**Siregar UJ**, Diputra IMMM. 2013. Keragaman genetik *Pinus merkusii* Jungh, et de Vriese Strain Tapanuli berdasarkan penanda mikrosatelit. *Jurnal Silvikultur Tropika* 04(03):88–99.

**Siregar UJ**, Saimima PA. 2011. Studi alfa-amylase inhibitor pada pohon sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) provenan Kediri, Solomon, dan Subang. *Jurnal Silvikultur Tropika* 02(01):52–58.

**Siregar UJ**, Rahmawati D, Damayanti A. 2019. Fingerprinting sengon (*Falcataria moluccana*) accessions resistant to boktor pest and gall rust disease using microsatellite markers. *Biodiversitas* 20(9):2698–2706.

**Siregar UJ**, Situmorang IM, Pasaribu FA, Lestari A, Istikorini Y, Haneda NF. 2020. Trypsin inhibitor activities as defense mechanism of sengon (*Falcataria moluccana*) against pest attacks. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 935.

**Siregar UJ**, Nugroho A, Shabrina H, Istikorini Y, Rahmawati R, Amin Y, Haneda NF. 2021. Estimation of heritability in three months old sengon (*Falcataria moluccana*) seedlings at a progeny testing in Kediri, East Java, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 800, No. 1, p. 012043).

**Siregar UJ**, Nugroho A, Shabrina H, Indriani F, Damayanti A, Matra DD. 2021. De novo transcriptome assembly data for sengon (*Falcataria moluccana*) trees displaying resistance and susceptibility to boktor stem borers (*Xystrocera festiva* Pascoe). *BMC Res Not* 14:261.

**Siregar UJ**, Basyuni M, Sudarmonowati E, Iriantono D. 1998. Genetic diversity in a *Paraserianthes falcataria* provenance trial in Parung Panjang, Bogor, Indonesia. In: Proceedings of Third National Congress on Genetics, Malaysia: UKM, Bangi 18–19 November 1998.

**Siregar UJ**, Maulana MI, Suharsono UW. 2017. Development of protocols for genomic library construction of Agarwood (*Aquilaria malaccensis*). *Biodiversitas* 18(3):1150–1158.

**Siregar UJ**, Nugroho A, Shabrina H, Indriani F, Damayanti A, Matra DD. 2021. De novo transcriptome assembly data for sengon (*Falcataria moluccana*) trees displaying resistance and susceptibility to boktor stem borers (*Xystrocera festiva* Pascoe). *BMC Res Notes* 14(1):261. Doi: 10.1186/s13104-021-05675-9.

**Siregar UJ**, Prasetya A, Marta AK, Istikorini Y, Haneda NF. 2022. Contrasting activity of trypsin and  $\alpha$ -amylase enzymes in the midgut of stem borer, (*Xystrocera festiva*) larvae of Cerambycidae, during their growth. Abstrak paper dipresentasikan pada 14<sup>th</sup> IWORS, ITB, Bandung, Indonesia.

Suharti M, Asmaliyah, Sitepu IR. 1998. Pengendalian hama *Xystocera festiva* pada Tegakan *Paraserianthes falcataria* menggunakan cendawan *Beauveria bassiana*. *Buletin Penelitian Hutan* 613:29–44.

Suratmo FG. 1974. *Hama hutan di Indonesia*. Bogor (ID): Proyek Peningkatan Mutu Perguruan Tinggi, IPB.

Susetyo PD. 2021. *Seputar Hutan dan Kehutanan: Masalah dan Solusi*. Bogor (ID): IPB Press.

Tampang A, **Siregar UJ**, Wulandari AS. 2011. Isolasi DNA genomik sengon (*Paraserianthes falcataria*) dan amplifikasi gen alfa amilase inhibitor. *Becc* 13(1):18–22.

Tribus. 2014. Solomon cepat panen. *Majalah Tribus* 537 Agustus 2014/XLV. PT Tribus Swadaya ISSN 0128-0057. [www.tribus-online.co.id](http://www.tribus-online.co.id)

Winarni I, **Siregar UJ**, Komari. 2001. Analisis kandungan protein dan aktivitas inhibitor enzim tripsin pada daun dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen). *Duta Rimba*, November 2001, p 33–36.

Yuskianti V, Shiraishi S. 2017. Genetic diversity of sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby dan J.W.Grimes) revealed using single nucleotide polymorphism (SNP) markers. *Indonesian J Forestry Res* 4(2):85–94.

Zulfahmi, Mahfira UO, **Siregar UJ**, Siregar IZ, Yunanto T. 2015. Comparison of level of chloroplast DNA diversity of two *Shorea* species with contrasting geographical distribution. *AsPac. J. Mol. Biol. Biotechnol* 23(2):291–302.

## **Ucapan Terima Kasih**

*Alhamdulillahi robbil ‘alamin*, segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, barokah serta hidayah-Nya kepada saya, keluarga, dan kita semua sehingga saya dapat melaksanakan Orasi Ilmiah Guru Besar pada forum yang mulia ini di Institut Pertanian Bogor. Shalawat dan salam juga saya haturkan kepada Rasulullah Muhammad SAW sebagai suri teladan kita.

Pada kesempatan ini, pertama-tama saya menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya atas kepercayaan yang diberikan oleh Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan amanah jabatan kepada saya sebagai Guru Besar Tetap bidang Bioteknologi Hutan di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB terhitung sejak 1 April 2022. Penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Rektor dan Wakil Rektor IPB; Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat IPB; Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik IPB; serta Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar IPB.

Rasa syukur dan terima kasih juga saya haturkan kepada jajaran pimpinan Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB, yang meliputi Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat, para Guru Besar, kemudian Dekan dan Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Kerjasama, dan Pengembangan, kemudian kepada Ketua dan Sekretaris Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB, seluruh rekan sejawat dosen dan tenaga kependidikan di Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB, Tim Penilai Karya Ilmiah (TPKI) IPB, serta Direktur dan Staf di Direktorat Sumber Daya Manusia IPB. Saya sangat berhutang budi kepada

Prof. Dr. Dodi Nandika dan Prof. Dr. M. Syukur yang selalu memastikan bahwa proses usulan Guru Besar saya berjalan lancar, serta almarhum Prof. Dr. M. Yusram Massijaya yang selalu membantu dan memacu saya untuk menjadi Guru Besar.

Kepada Prof. Dr. Iskandar Z. Siregar dan Prof. Dr. Noor F. Haneda, saya ucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas berkenannya menelaah dan memberikan masukan yang sangat konstruktif untuk naskah orasi saya. Beliau berdua adalah atasan, yang juga merupakan rekan sejawat-seperjuangan yang selalu bekerja sama dalam penelitian-penelitian dan pengabdian saya.

Saya sangat berhutang budi kepada Prof. Dr. Ir. Sri Setyati Harjadi, MSc., yang telah memberikan banyak bimbingan dan teladan dalam mengembangkan wawasan keilmuan S-1. Penghargaan setinggi-tingginya juga saya sampaikan pada Prof. Dr. Koichiro Tsunewaki (RIP) yang memberikan kesempatan seluas-luasnya untuk belajar ilmu genetika dan pemuliaan tanaman tingkat lanjut serta membimbing dengan penuh perhatian dan karismatik, penuh pengertian dan toleransi akan kekurangan anak didiknya selama menyelesaikan program S-2 dan S-3 di Laboratory of Genetics, Department of Agricultural Biology, Faculty of Agriculture, Kyoto University, Japan. Terimakasih juga saya sampaikan kepada teman-teman satu lab di Jepang, terutama kepada Assistant Professor Dr. Naohiko Miyashita yang telah mengenalkan saya dengan ilmu-ilmu baru, seperti pengolahan data sekuensing NGS dan menjalin kerja sama penelitian, bahkan sesudah saya lulus S-3. Terimakasih yang sebesar-besarnya juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Dawn S. Luthe yang telah menerima saya sebagai *postdoc* pada Department of Biochemistry and Molecular Biology, Faculty of Agriculture, Mississippi State University, USA dan memperkenalkan topik tentang resistensi tanaman terhadap hama kepada saya. Selanjutnya, saya

sangat berterimakasih kepada Direktur SEAMEO-BIOTROP sebelumnya, yaitu Prof. Dr. drh. Bambang Purwantara M.Sc. dan Dr. Ir. Irdika Mansur M.Sc., yang telah mengundang saya sebagai salah satu peneliti di BIOTROP, beserta staf bagian Bioteknologi Lab, yaitu Dewi Rahmawati S.Si, M.Si., serta Anidah S.Si, M.Si., yang selalu membantu pelaksanaan penelitian saya. Tak lupa, terima kasih juga saya ucapkan kepada seluruh mahasiswa bimbingan S-1, S-2, dan S-3, baik yang sudah lulus maupun sedang berjuang untuk lulus atas kerja samanya dalam penelitian dan penulisan selama ini, kalian adalah ujung tombak dari penelitian-penelitian saya selama ini. Saya juga sangat berterimakasih kepada Dr. Deden D. Matra yang sangat berjasa dalam mengajarkan bioinformatika dan pengolahan data sekueens bagi para mahasiswa bimbingan saya.

Kepada guru-guru saya mulai saat saya belajar di SDN Diponegoro I Madiun, SMPN VI Malang, dan SMAN III Malang, saya memberikan penghargaan dan terima kasih setinggi-tingginya atas kebesaran hati Bapak-Bapak dan Ibu-Ibu yang dengan penuh welas asih mendidik saya. Para Bapak dan Ibu Guru ini telah mengantar saya ke pendidikan yang lebih tinggi sampai saya mencapai Guru Besar.

Pencapaian gelar akademik tertinggi ini saya persembahkan kepada kedua orang tua saya Alm. Bapak Drs. Moch. Sudja'I MA dan Ibu Siti Faticah yang telah membesarkan, membimbing, dan mendidik saya dengan penuh perhatian dan kasih sayang yang tulus dan doa ikhlas sepanjang hidupnya, kiranya tidak cukup kata-kata untuk melukiskan rasa terima kasih dan hormat yang mendalam dalam hati saya. Kepada adik-adik saya, Machmud Yunus, Ak., MBA., BKP., Dr. Ir. Umi Zakiyah M.Si., Asminah Rachmi, SE., MBA., DBA., Ir. Ahmad Nurdin Aulia DEA., dan Muhammad Iqbal, STP beserta seluruh keluarganya, saya ucapkan terima kasih atas

kebersamaan selama ini. Terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya saya ucapkan kepada Suami saya, Prof. Riset. Dr. Ir. Chairil Anwar Siregar, M.Sc, atas perhatian, cinta, dan kasih sayang, serta diskusi selama ini. Kepada anak-anak saya Muhammad Asad Siregar, S.Sos., M.Si dan Ibrahim Chalid Siregar SE., MM beserta menantu-menantu saya, Irma Yuniar SE dan drg. Rubby Ekatri Agustina, cucu-cucu saya Alesha A. Siregar, Rafaeyza A. Siregar, Zunaisha A. Siregar, dan Ismail Rasyid A. Siregar, saya bersyukur atas dukungan, penghiburan, dan penambah semangat selama ini.

Kepada tim yang membantu persiapan orasi saya, Dr. Hasyyati Shabrina S.Hut., Dr. Fitri Indriani S.Hut., Aditya Nugroho, S.Hut, M.Si., Anida Lestari, S.Hut., Vilda Puji Dini Anita, S.Hut., Esti Nurianti, S.Hut., dan Lia Jamilah Syukrimiyati, A.Md saya ucapkan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan dalam persiapan orasi.

Terima kasih kepada panitia penyelenggara Orasi Ilmiah Guru Besar IPB yang diketuai oleh Direktur Administrasi Pendidikan dan Penerimaan Mahasiswa Baru Ibu Dr. Ir. Nurhayati, M.Sc., juga kepada Direktur Umum Sarana dan Prasarana IPB, Bapak Bambang Kuntadi, S.P., M.M., sekretariat DGB, tim IPB Press, dan seluruh staf atas fasilitas dan bantuan yang diberikan dalam penyelenggaraan orasi ilmiah ini.

Akhirnya, sebagai penutup saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada hadirin yang berbahagia baik yang hadir secara langsung maupun secara *online* yang telah dengan penuh kesabaran mengikuti Orasi Ilmiah ini. Semoga Allah SWT membalas amal kebaikan Bapak/Ibu sekalian dengan pahala yang berlipat ganda. Saya mohon maaf yang sebesar-besarnya jika dalam penyampaian Orasi Ilmiah ini ada hal yang kurang berkenan. *Billahittaufiq wal hidayah.*

*Wassalamu 'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh*

## Foto Keluarga



Keterangan Foto (dari kiri ke kanan)

Belakang:

Ibrahim Chalid Siregar SE., MM (anak) | drg. Rubby Ekatri Agustina (menantu) | Ismail Rasyid A. Siregar (cucu) | Prof. Dr. Ir. Ulfah Juniarti Siregar, M.Agr. (Orator) | Prof. Riset. Dr. Ir. Chairil Anwar Siregar, M.Sc. (suami) | Muhammad Asad Siregar S.Sos., M.Si (anak) | Irma Yuniar SE (menantu)

Depan:

Alesha A. Siregar (cucu) | Rafaeyza A. Siregar (cucu)

# Riwayat Hidup

## Identitas Diri

Nama : Prof. Dr. Ir. Ulfah Juniarti Siregar,  
M.Agr.

Jenis Kelamin : Perempuan

Tempat/Tanggal lahir: Madiun, 06 Juni 1958

Agama : Islam

Jabatan Fungsional : Guru Besar di Fakultas Kehutanan  
dan Lingkungan IPB sejak 1 April 2022

Pangkat/Golongan : Pembina/IVb

NIP/NIDN : 19580606 198303 2001/0006065813

Alamat Kantor : Kampus IPB Darmaga, Jl. Ulin PO  
Box 168, Bogor 16001, Indonesia

Telp. : +62-251-7553167

Fax. : +62-251-8626886

Email : [ulfahjs@apps.ipb.ac.id](mailto:ulfahjs@apps.ipb.ac.id)

Alamat Rumah : Jl Puspa N/8, Budi Agung, Sukadamai,  
Bogor

*Mobile phone* : +62121114451

## Riwayat Pendidikan

Jenjang Pendidikan	Penyelenggara dan Negara	Bidang Keahlian	Tahun Lulus
Sarjana (S-1)	IPB, Indonesia	Agronomi	1981
Magister (S-2)	Kyoto University, Jepang	Plant Genetics	1989
Doktor (S-3)	Kyoto University, Jepang	Plant Genetics	1992

## Judul Skripsi/Tesis/Disertasi

<b>Judul Skripsi</b>	Kultur embrio kelapa kopyor <i>in vitro</i>
<b>Judul Tesis</b>	Genetic mechanism of haploid induction in wheat strain Salmon
<b>Judul Disertasi</b>	Genetical study on Sv type cytoplasms of genus Triticum and Aegilops

## Penghargaan yang diterima

No	Waktu	Bentuk Penghargaan	Pemberi Penghargaan
1	2006	Satyalencana Karya Satya 20 Tahun	Presiden RI
2	2015	Satyalencana Karya Satya 30 Tahun	Presiden RI

## Pelatihan

No	Kegiatan	Tempat	Penyelenggara
1	Biosecurity Reliability Program Virtual Workshop for Life Sciences Professionals in Indonesia	Bogor online, 2021	CRDF Global, Oak Ridge National Laboratory, and the US Department of State Office of Cooperative Threat Reduction.
2	Pelatihan Reviewer Penelitian Perguruan Tinggi	Bogor, 2020	LPPM-IPB
3	Sosialisasi dan Workshop SINTA ( <i>Science and Technology Index</i> )	Bogor, 2017	Bidang Riset dan Inovasi IIPB

## Pelatihan (lanjutan)

No	Kegiatan	Tempat	Penyelenggara
4	Workshop dan Klinik Penyusunan <i>Output</i> Penelitian untuk Peningkatan Kualifikasi Dosen	Depok, 2017	Lembaga Penelitian Universitas Gunadarma
5	CLIL ( <i>Content and Language Integrated Learning</i> )	Bogor, 2016	Satu Visi Edukasi
6	Worskhop Konsorsium Sustainabilitas Sawit “Menentukan Kriteria dan Indikator Sustainabilitas Sawit di Indonesia”	Bogor, 2016	Bidang Riset dan Kerjasama IPB,

## Riwayat Pekerjaan

No	Tahun	Institusi/Lembaga	Jabatan	Jangka Waktu
1	1981–sekarang	Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB	Dosen, Guru Besar	41 tahun
2	1981–1985 dan 2009–2021	SEAMEO-BIOTROP ( <i>Center for Tropical Biology of South-East-Asian Ministry of Education Organization</i> )	Senior Affiliate Scientist	17 tahun
3	2017–sekarang	PT Korintiga Hutani	Tim Ahli/ Konsultan	5 tahun
4	1995–1999	CIFOR	Scientist	4 tahun
5	1992–1995	Department of Biochemistry and Molecular Biology, Mississippi State University, USA	Post-doc	3 tahun

## **Keikutsertaan dalam Organisasi Keilmuan atau Profesi**

No	Tahun	Jenis/Nama Organisasi	Jabatan/Jenjang Keanggotaan
1	2012–sekarang	Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI)	Anggota
2	2017–sekarang	Masyarakat Silvikultur Indonesia	Anggota
3	2019–sekarang	Persatuan Insinyur Indonesia (PII)	Anggota
4	2010–sekarang	<i>International Union of Forest Research Organization (IUFRO)</i>	Anggota

## **Kegiatan Pendidikan dan Pengajaran**

No	Mata Kuliah	Strata/Jenjang
1	Silvikultur (SVK1225 )	S-1
2	Silviika (SVK 1224)	S-1
3	Genetika Hutan dan Pemuliaan Pohon (SVK1327)	S-1
4	Sains Data Ekosistem Hutan (SVK132B)	S-1
3	Pemanfaatan Sumberdaya Genetika Tanaman Hutan (SVK1511)	S-2
4	Pemuliaan Pohon dan Bioteknologi Kehutanan (SVK1626)	S-2
5	Pendekatan Molekuler dalam Silvikultur (SVK1725)	S-3
6	Fitoremediasi (SVK1723)	S-3
7	Topik Khusus (SVK1700)	S-3

## **Pengalaman Membimbing Mahasiswa**

No	Strata	Jumlah (orang)
1	Sarjana	50
2	Magister	18
3	Doktor	8

## Kegiatan Penelitian

No	Tahun	Judul	Sumber Dana
1	2020–2022	Seleksi Galur Sengon Unggul ( <i>Paraserianthes falcataria</i> (L.) Nielsen) Tahan Hama Penggerek Batang Boktor ( <i>Xystrocera festiva</i> ) dan Penyakit Karat Puru	Kemenristek-Dikti
2	2021–2022	Assembling Chloroplast Genome Sequences of Petai, Jengkol, Sungkai and Leprosula using Both Short-read and Long-read Sequencing	ABS Fund-CRC990-Efforts
3	2021	Studi tentang Ketahanan Sengon ( <i>Falcatoria moluccana</i> ) terhadap Hama Boktor ( <i>Xystrocera festiva</i> ) dan Penyakit Karat Puru ( <i>Uromycladium tepperianum</i> )	SEAMEO-BIOTROP
4	2020	<i>Genotyping</i> Sengon ( <i>Falcatoria moluccana</i> ) Resisten Hama Boktor ( <i>Xystrocera festiva</i> ) dan Penyakit Karat Puru ( <i>Uromycladium falcatarum</i> ) Menggunakan Data Genomic	SEAMEO-BIOTROP
5	2019–2021	Keragaman Potensi dan Genetik Mikroalga sebagai Sumber Biofuel	Strategis Nasional - Riset Kolaborasi Indonesia – WCU
6	2010–2019	Studi tentang Ketahanan Sengon ( <i>Falcatoria moluccana</i> ) terhadap Hama Boktor ( <i>Xystrocera festiva</i> ) dan Penyakit Karat Puru ( <i>Uromycladium tepperianum</i> ) Part IV: Analisa Genomik dan Studi Ekspresi	SEAMEO-BIOTROP
7	2017–2019	Development of Biomass Energy	USAID-SHERA-CDSR Project
8	2015–2018	Evaluation on Plantation of Fast Growing Tree Species as Sustainable Biomass Resource for Renewable Energy	Kemenristek-DIKTI - AIC

## Kegiatan Penelitian (lanjutan)

No	Tahun	Judul	Sumber Dana
9	2012	Identification of Agarwood Inducing Gene(S): Utilization of Microsatellite Marker in the Induction and Isolation Process of Specific Transcript	BIOTROP
10	2011	Genetic Mechanism of Agarwood Formation in Genus Aquilaria	BIOTROP
11	2010	Genetic Diversity of Invasive Species, <i>Asystasia Sp.</i>	BIOTROP
12	2010	Microsatellite Marker for Sengon Tree Resistance to Phytophagous Insect	BIOTROP

## Editor/Reviewer Jurnal

No	Cakupan	Jurnal	Tahun
1	Reviewer	Jurnal Silvikultur Tropika	2020–sekarang
2	Reviewer	Biotropia	2019–sekarang
3	Reviewer	Biodiversitas	2019
4	Reviewer	<i>Journal of Tropical Forest Science</i>	2019
5	Reviewer	Jurnal Manajemen Hutan Tropika	2018

## HaKI

No	Tahun	Judul	Nomor
1	2016	Metode untuk mengidentifikasi tanaman rotan menggunakan DNA Barcoding	P00201607651

## Kerjasama Internasional

No	Judul Kegiatan/Kerja sama	Tahun	Negara	Posisi dalam Kegiatan
1	RACE for 2030 ( <i>Reliable Affordable Clean Energy</i> ) CRC ( <i>Cooperative Research Centre</i> )	2020–sekarang	Australia	Tim Ahli/ Konsultan

## Kerjasama Internasional (lanjutan)

No	Judul Kegiatan/ Kerja sama	Tahun	Negara	Posisi dalam Kegiatan
2	Partnership Australia – Indonesia Research (PAIR) Program-AIC	2019–sekarang	Australia	Senior Fellow
3	USAID-SHERA funded CDSR Programme of 8 Universities (UCB, UGM, UI, IPB, ITB, UBB, UNG, UMG)	2017–2019	Amerika Serikat	Partner/IPB Program Manager
4	AIC-DIKTI funded Project on Energy Cluster of 11 institutions (Monash, ANU, UniMelb, CSIRO, IPB, ITB, UI, UGM, Unair, ITS, UNHAS)	2014–2017	Australia	Co-Leader of Energy Cluster
5	CRC990-Efforts of University of Goettingen, Germany and IPB	2013–sekarang	Jerman	Partner Members

## Publikasi di Jurnal Ilmiah

1. Putri RDE, Pradana YS, Koerniawan MD, Suwanti LT, **Siregar UJ**, Budiman A, Suryono. 2022. Effect of distinct nitrate concentrations on pigment content of mixed culture of *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella* sp. *Asia Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology* 30(2):15–23.
2. Istikorini Y, Fakih A, Haneda NF, **Siregar UJ**, Andrianto D. 2022. Effect of endophytic fungi on the growth of sengon (*Falcataria moluccana*). *Jurnal Sylva Lestari* 10(2):321–332.

3. Riastiwi, Witjaksono, Ratnadewi YMD, **Siregar UJ**. 2022. Genetic diversity of rosewood (*Dalbergia latifolia*) in Yogyakarta, Indonesia for plus trees selection. *Biodiversitas* 23(5):2630–2639.
4. Lukman, Dinarti D, **Siregar UJ**, Turjaman M, Sudarsono. 2022. Characterization and identification of agarwood-producing plants (*Aquilaria* spp.) from North Aceh, Indonesia, based on morphological and molecular markers. *Biodiversitas* 23(9):4861–4871.
5. **Siregar UJ**, Nugroho A, Shabrina H, Indriani F, Damayanti A, Matra DD. 2021. De novo transcriptome assembly data for sengon (*Falcataria moluccana*) trees displaying resistance and susceptibility to *boktor* stem borers (*Xystrocera festiva* Pascoe). *BMC Res Notes* 14(261).
6. Matra DD, Siregar IZ, Haneda NF, Istikorini Y, Rahmawati R, Amin Y, **Siregar UJ**. 2021. Early growth evaluation and estimation of heritability in a sengon (*Falcataria moluccana*) progeny testing at Kediri, East Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22(5).
7. Dwiyanti FG, Siregar IZ, **Siregar UJ**. 2021. Phenotypic and genetic diversity evaluation of sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & JW Grimes) from solomon provenance on progeny trial in cirangsad experimental forest, West Java. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 27(3):174–174.
8. Nurrochmat DR, **Siregar UJ**. 2021. Life cycle assessment of wood pellet product at Korintiga Hutani company, Central Kalimantan, Indonesia. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 27(3):200–200.

9. Haneda NF, Supriatna AH, Shabrina H, Istikorini Y, **Siregar UJ**, Wahyudi I. 2021. Chemical characteristics of *Falcataria moluccana* wood infested by Boktor stem borer (*Xystrocera festiva*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 22(10).
10. Kusuma YS, Dwiyanti FG, Matra DD, **Siregar UJ**, Siregar IZ. 2021. Differentially Expressed Genes (DEG) pada *Dryobalanops aromatic* yang ditumbuhkan pada media gambut dan tanah mineral. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan* 15(2):115–128.
11. Zakiyah U, Suwanti LT, Koerniawan MD, Suyono EA, Budiman A, **Siregar UJ**. 2020. Diversity and distribution of microalgae in coastal areas of East Java, Indonesia. *Biodiversitas* 21(3):1149–1159.
12. Siregar IZ, Dwiyanti FG, **Siregar UJ**, Matra DD. 2020. De novo assembly of transcriptome dataset from leaves of *Dryobalanops aromatic* (Syn. *Dryobalanops sumatrensis*) seedlings grown in two contrasting potting media. *BMC Research Notes* 13(1):1–4.
13. Afililla Z, Suwanti LT, Puspitasari H, Suyono EA, Budiman A, Koerniawan MD, **Siregar UJ**. 2020. Inability of polysaccharides of *Spirulina platensis* to protect hepatocyte cells line on *Toxoplasma gondii* infection in vitro. *Journal of Global Pharma Technology* 12(1):654–659.
14. Irzaman I, Cahyani ID, Aminullah A, Maddu A, Yuliarto B, **Siregar UJ**. 2020. Biosilica properties from rice husk using various HCl concentrations and frequency sources. *Egyptian Journal of Chemistry* 63(2):363–371.

15. Iskandar J, Jenie RP, **Siregar UJ**, Yuliarto B, Irzaman. 2020. Application of thin film Barium Strontium Titanate (BST) in a microcontroller based tool to measure oxygen saturation in blood. *Ferroelectrics* 554(1):134–143.
16. Indriani F, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2020. De novo transcriptome datasets of *Shorea balangeran* leaves and basal stem in waterlogged and dry soil. *Data in Brief* 28.
17. Shabrina H, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2020. Konfirmasi jenis dan keragaman genetik sengon resisten dan rentan infeksi karat tumor menggunakan penanda DNA kloroplas (*species confirmation and genetic diversity of gall-rust resistant and susceptible sengon using chloroplast DNA marker*). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 17(2):117–130.
18. Rosdayanti H, **Siregar UJ**, Siregar IZ. 2019. Karakter penciri morfologi daun meranti (*Shorea* Spp.) pada area budidaya ex-situ KHDTK Haurbentes. *Media Konservasi* 24(2):207–215.
19. Shabrina H, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2019. The dataset of de novo transcriptome assembly of *Falcataria moluccana* cambium from gall-rust (*Uromycladium falcatarium*) infected and non-infected tree. *Data in Brief* 26:104489.
20. Matra DD, Ritonga AW, Natawijaya A, Poerwanto R, **Siregar UJ**, Widodo WD, Inoue E. 2019. Datasets for genome assembly of six underutilized Indonesian fruits. *Data in brief* 22:960–963.

21. **Siregar UJ**, Rahmawati D, Damayanti A. 2019. Fingerprinting sengon (*Falcatria moluccana*) accessions resistant to boktor pest and gall rust disease using microsatellite markers. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(9).
22. Hartoyo APP, Prasetyo LB, Sirega IZ, Theilade I, **Siregar UJ**. 2019. Carbon stock assessment using forest canopy density mapper in agroforestry land in Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(9).
23. Chaerani N, Sudrajat DJ, Siregar IZ, **Siregar UJ**. 2019. Growth performance and wood quality of white jabon (*Neolamarckia cadamba*) progeny testing at Parung Panjang, Bogor, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(8).
24. Shabrina H, **Siregar UJ**, Matra DD, Kamiya K, Siregar IZ. 2019. DNA extraction from stored wood of *Falcatoria moluccana* suitable for barcoding analysis. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(6).
25. Irzaman, Prawira DS, Irmansyah, Yuliarto B, **Siregar UJ**. 2019. Characterization of lithium tantalate ( $\text{LiTaO}_3$ ) film on the concentration variations of ruthenium oxide ( $\text{RuO}_2$ ) Dope. *Integrated Ferroelectrics* 201(1):32–42.
26. Indriani F, **Siregar UJ**, Matra DD, Siregar IZ. 2019. Ecological aspects and genetic diversity of *Shorea balangeran* in two forest types of Muara Kendawangan nature reserve, West Kalimantan, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(2):482–488.

27. Rahmawati D, Khumaida N, **Siregar UJ**. 2019. Morphological and phytochemical characterization of susceptible and resistant sengon (*Falcataria moluccana*) tree to gall rust disease. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 20(3):907–913.
28. Ritonga FN, Dwiyanti FG, Kusmana C, **Siregar UJ**, Siregar IZ. 2018. Population genetics and ecology of Sumatran camphor (*Dryobalanops aromatica*) in natural and community-owned forests in Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 19(6):2175–2182.
29. Aqmarina NA, **Siregar UJ**, Turjaman M. 2020. Identification of chemical compounds in agarwood-producing species *Aquilaria malaccensis* and *Gyrinops versteegii*. *Journal of Forestry Research* 31(4):1371–1380.
30. Sudrajat DJ, Suwandhi I, Siregar IZ, **Siregar UJ**. 2018. Variation in seed morpho-physiological and biochemical traits of java olive populations originated from Java, Bali, Lombok, and Timor Islands, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 19(3):1004–1012.
31. Susanti I, Suharsono UW, **Siregar UJ**, Tjahjoleksono A. 2017. Optimization of somatic embryogenesis induction of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Annales Bogorienses* 21(2):45.
32. Breidenbach N, Rahayu S, Siregar IZ, **Siregar UJ**, Hamzah, Finkeldey R. 2018. Genetic diversity of dominant plant species in tropical land-use systems in Sumatra, Indonesia. *Tropical Conservation Science* 11:1940082918813908.

33. Ito N, Iwanaga H, Charles S, Diway B, Sabang J, Chong L, Nanami S, Kamiya K, Lum S, **Siregar UJ**, Harada K. 2017. Geographical variation in soil bacterial community structure in tropical forests in Southeast Asia and temperate forests in Japan based on pyrosequencing analysis of 16S rRNA. *Genes & genetic systems* 92(1):1–20.
34. **Siregar UJ**, Maulana MI, Suharsono UW. 2017. Development of protocols for genomic library construction of Agarwood (*Aquilaria malaccensis*). *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 18(3):1150–1158.
35. **Siregar UJ**, Zakiyah R. 2016. Growth of four tree species on media containing gold mine tailing of PT Antam UBPE Pongkor. *Jurnal Silvikultur Tropika (Supp)* 7(3):72–76.
36. **Siregar UJ**, Wirrahma. 2016. Growth of four fast growing tree species on tailings media from gold mining company PT Antam UBPE Pongkor. *Jurnal Silvikultur Tropika (Supp)* 7(3):76–80
37. Siburian, RHS, **Siregar UJ**, Siregar IZ, Santoso E, Wahyudi I. 2013. Identification of anatomical characteristics of *Aquilaria microcarpa* in its interaction with *Fusarium solani*. *BIOTROPIA* 20(2):104–111.
38. **Siregar UJ**, Sidabutar. 2013. Changes on soil chemical characteristics of the reclamation ex-mining land as a model at The PT. Antam UBPE Pongkor. *Jurnal Silvikultur Tropika* 4(3): 141–149
39. Rachmatsyah, O, **Siregar UJ**, Haneda NF, Nandika D, Hidayat P. 2012. Distribution of pine wooly adegids infestation on *Pinus merkusii* plantation in Java. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 18(3):191–197.

40. Iwanaga H, Teshima KM, Khatab IA, Inomata N, Finkeldey R, Siregar IZ, **Siregar, UJ**, Szmidt A. 2012. Population structure and demographic history of a tropical lowland rainforest tree species *Shorea parfivolia* (Dipterocarpaceae) from Southeastern Asia. *Ecology and Evolution* 2(1):1663–1675.
41. Budi SW, Siregar IZ, **Siregar UJ**, Sukendro A, Pamoengkas P, Yunanto T. 2012. Rarity status and habitat of *Shorea laevis* and *Shorea leprosula* in Muara Teweh, Central Kalimantan. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 18(2):86–93.
42. **Siregar UJ**, Saimima PA. 2011. Study on alpha-amylase inhibitor in sengon (*Paraserianthes falcataria* (L) Nielsen) Trees of Kediri, Solomon, and Subang provenances. *Jurnal Silvikultur Tropika* 02(1):52–58.
43. **Siregar UJ**, Haneda NF, Flowrensia L. 2011. Hubungan antara trypsin inhibitor dan alfa-amylase inhibitor pohon sengon terhadap perkembangan larva boktor dalam *artificial diet*. *Jurnal Silvikultur Tropika* 3(1):101–108.
44. Zulfahmi, Siregar IZ, **Siregar UJ**. 2010. Chloroplast DNA variation of *Shorea acuminata* Dyer in Sumatra assessed by microsatellite markers. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 11:107–111.
45. Cao C, Gailing O, Siregar IZ, **Siregar UJ**, Finkeldey R. 2009. Genetic variation in nine Shorea species (Dipterocarpaceae) in Indonesia revealed by AFLPs. *Tree Genetics and Genomes* 5(3):407–420.
46. Kholik A, Djiono, Siregar IZ, Siregar UJ, Karlinasari L, Yunanto T. 2009. Aplikasi isotop C<sub>13</sub> dan O<sub>18</sub> untuk lacak balak kayu jati (*Tectona grandis* Linn.f.) di Jawa. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 7(1):1–10.

47. Hamzah, **Siregar UJ**, Siregar CA. 2009. Sistem perkawinan bakau bandul (*Rhizophora mucronata Lamk.*) berdasarkan analisa isozym. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* 6(2):115–123.
48. **Siregar UJ**, Rachmi A, Massijaya MY, Ishibashi N, Ando K. 2007. Economic analysis of sengon (*Paraserianthes falcataria*) community forest plantation, a fast growing species in East Java, Indonesia. *Forest Policy and Economics* 9:822–829.
49. Cao CP, Finkeldey R, Siregar IZ, **Siregar UJ**, Gailing O. 2006. Genetic diversity within and among populations of *Shorea leprosula* Miq. and *Shorea parvifolia* Dyer (Dipterocarpaceae) in Indonesia detected by AFLPs. *Tree Genetics and Genomes* 2(4): 225–239. DOI 10.1007/s11295-006-0046-0.
50. Jiang B, **Siregar UJ**, Willeford KE, Luthe DS, Williams WP. 1995. Association of a 33-Kilodalton cysteine proteinase found in corn callus with the inhibition of fall armyworm larval growth. *Plant Physiology* 108:1631–1640.
51. Ihara M, Gadrinab LU, **Siregar UJ**, Iyama S. 1986. Genetic control of alcohol dehydrogenase and estimation of some population parameters in *Hopea odorata* Roxb. (Dipterocarpaceae). *Japanese Journal of Genetics* 61:127–136.

## Publikasi di Prosiding

1. Istikorini Y, Kusuma DA, Haneda NF, **Siregar UJ**. (2022, August). Pathogenicity test of sengon (*Falcataria moluccana*) seed-borne endophytic fungus. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 959(1):012024. IOP Publishing.

2. Haneda NF, Ichtisinii A, **Siregar UJ**, Istikorini Y, Lestari A. (2021, June). Chemical component of sengon tree digested *Xystrocera festiva* (Coleoptera: Cerambycidae) larvae. In *3<sup>rd</sup> KOBI Congress, International and National Conferences (KOBICINC 2020)* pp. 292–295. Atlantis Press.
3. Istikorini Y, Haneda NF, **Siregar UJ**, Kusuma DA. (2021, June). Isolation of seed-borne fungal endophytes on sengon (*Falcataria moluccana*). In *3<sup>rd</sup> KOBI Congress, International and National Conferences (KOBICINC 2020)* pp. 558–562. Atlantis Press.
4. **Siregar UJ**, Nugroho A, Shabrina H, Istikorini Y, Rahmawati R, Amin Y, Haneda NF. (2021, July). Estimation of heritability in three months old sengon (*Falcataria moluccana*) seedlings at progeny testing in Kediri, East Java, Indonesia. In *IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science* 800:012043. IOP Publishing.
5. **Siregar UJ**, Damayanti A, Dwiyanti FG. (2020, Januari). Potency estimation of forest stands biomass in Gunung Walat Educational Forest, Sukabumi, West java as fuel for electricity generation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 528:012062. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/528/1/012062
6. **Siregar UJ**, Lestari A, Rusniarsyah, Siregar CA. (2020, September). Fuel substitution by wood gasification for diesel electricity generator. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 935:012048. IOP Publishing.

7. **Siregar UJ**, Situmorang IM, Pasaribu FA, Lestari A, Istikorini Y, Haneda NF. (2020, September). Trypsin inhibitor activities as defense mechanism of sengon (*Falcataria moluccana*) against pest attacks. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 935:012034. IOP Publishing.
8. **Siregar UJ**, Wirrahma. (2019, Desember). Heavy metal absorption of four fast growing tree species on media containing tailing from Pongkor gold mining in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 394:012070. IOP Publishing.
9. Siregar IZ, Kustiyarini NF, Wati R, Rachmat HH, **Siregar UJ**, Dwiyanti FG. (2019, November). Vegetative propagation of *Dryobalanops sumatrensis* and *Dryobalanops oblongifolia* subsp. *oblongifolia* by shoot cuttings. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 394(1):012029. IOP Publishing.
10. **Siregar UJ**, Arif MF, Suryana J, Indartono YS. (2018, November). Potential of biomass as source for electricity at Pulau Panggang Village, North Kepulauan Seribu Subdistrict. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 196(1):012027. IOP Publishing.
11. **Siregar UJ**, Narendra BH, Suryana J, Siregar CA, Weston C. (2017, May). Evaluation on community tree plantations as sustainable source for rural bioenergy in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 65(1):012019. IOP Publishing.
12. **Siregar UJ**, Akbar H, Narendra BH, Dewi GR, Indartono YS. (2016, Juli). Potensi biomassa dari hutan rakyat sebagai sumber bahan bakar energi pembangkit listrik di Desa Sinarlaut, Cianjur. In: *Prosiding Kongres Teknologi Nasional* pp.121–130. BPPT.

13. **Siregar UJ**, Imran MF, Hamzah, Siregar IZ, Finkeldey R. (2016, November). Distribution and local adaptation of two indigenous Jelutung trees (*Dyera costulata* and *D. lowii*) in Jambi, Indonesia: Implication for allopatric speciation. In *Procedia Environmental Sciences* 33:393–403. The 2<sup>nd</sup> Internasional Symposium on LAPAN-IPB Satellite (LISAT) for Food Security and Environmental Monitoring, IICC Bogor.
14. Nurrochmat DR, Jaya INS, Massijaya MY, Darusman D, **Siregar UJ**, Puspaningsih N, Abdulah L, Siregar CA, Lee KT, Han KJ. (2010, November). Identify causes of deforestation and forest degradation in Lombok Island, Indonesia. In *Proceedings of 2<sup>nd</sup> International Symposium of Indonesian Wood Research Society: Developing Wood Science and technology to support the implementation of climate change program.*

## Publikasi Buku Teks

1. **Siregar UJ**, Siregar CA. 2010. *Fitoremediasi: prinsip dan prakteknya dalam restorasi lahan paska tambang di Indonesia*. Bogor (ID): SEAMEO BIOTROP, Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology.
2. **Siregar UJ**, Siregar IZ, Budi SW, Hero Y, Suharjito D, Hardjanto. 2012. Chapter 3: Incorporating Social and Natural Science in the Restoration of Indonesian Conservation Forest: Case study in Jambi. pp. 41–61. In: J Stanturf (Ed.) *A Goal-Oriented Approach to Forest Landscape Restoration*. Springer-Verlag.474p.

## Kegiatan Pengabdian pada Masyarakat

No	Tahun	Kegiatan	Penyelenggara
1	2022	Dosen Pulang Kampung 2022	LPPM IPB
2	2021	Bimbingan Teknis Biologi Molekuler untuk Guru SMA/SMK/Sederajat di Seluruh Indonesia	SEAMEO-BIOTROP-IPB
3	2021	Regional Technical Guidance on Application of Next Generation Sequencing (NGS) Data and Artificial Intelligence (AI) in Agriculture	SEAMEO-BIOTROP-IPB
4	2018	Training Course on Bioenergy, Biorefinery, and Energy Efficiency	IPB - CDSR (USAID-SHERA fund)
5	2010	Development of Learning and Teaching Materials on the Impact of Climate Change for SEA Schools, Collaboration with SEAMEO Centers (BIOTROP, RECSAM, SEAMOLEC SPAFA, SEARCA, TROPMED, INOTECH)	RECSAM
6	2007	Study on Pine Resistance to Wooly Aphid	State Forest Enterprise

## Partisipasi dalam Lokakarya, *Workshop*, Seminar, Konferensi

No	Tahun	Judul/Tema
1	2022	14 <sup>th</sup> International Symposium of Indonesian Wood Research Society (IWoRS)
2	2022	UN4DRR International e-Symposium on Disaster Risk Reduction, Mitigation and Environmental Services
3	2022	3 <sup>rd</sup> International Conference on Environment and Forest Conservation - ICEFC 2022
3	2020	International Conference on Sustainable Utilization of Natural Resources
4	2020	International Conference on Forest Products (ICFP) 2020: 12 <sup>th</sup> International Symposium of IWORS
5	2020	The 2 <sup>nd</sup> International Conference on Tropical Silviculture: Forest Research and Innovation for Sustainable Development

## **Partisipasi dalam Lokakarya, *Workshop*, Seminar, Konferensi (lanjutan)**

No	Tahun	Judul/Tema
6	2019	XXV IUFRO World Congress, Curitiba, Brazil
7	2019	Symposium on New Lineages of Life (NeLLi), San Fransisco, USA
8	2019	Joint Genome Institute (JGI) 14 <sup>th</sup> Annual Meeting, San Farnsico, USA
9	2019	International Conference of Tropical Silviculture (ICTS)
10	2019	XVII Plant and Animal Genome Conference, San Diego, USA
11	2019	International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development, Bogor
12	2018	Strategi Pemanfaatan EBT untuk Penyediaan Tenaga Listrik, ITB, Bandung



**PT Penerbit IPB Press**

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251-8355 158 E-mail: [ipbpress@apps.ipb.ac.id](mailto:ipbpress@apps.ipb.ac.id)

    Penerbit IPB Press  [ipbpress.official](https://www.instagram.com/ipbpress.official)  [ipbpress.com](http://ipbpress.com)