



IPB University
— Bogor Indonesia —



SAWIT-KEBUN SAWIT

Tinjauan Hidrologi Hutan- Daerah Aliran Sungai

Prof. Dr. Ir. Hendrayanto, M.Agr.Sc.

Guru Besar Tetap Fakultas Kehutanan dan Lingkungan
IPB University

ORASI ILMIAH GURU BESAR IPB UNIVERSITY

Auditorium Andi Hakim Nasution
IPB University
25 April 2026

ORASI ILMIAH GURU BESAR IPB

**SAWIT-KEBUN SAWIT
Tinjauan Hidrologi Hutan-Daerah Aliran Sungai**

ORASI ILMIAH

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

Prof. Dr. Ir. Hendrayanto, M.Agr.Sc.

**Auditorium Andi Hakim Nasution
IPB University
25 April 2026**

Ringkasan

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia berkembang sangat pesat dan memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan, baik dalam penyerapan tenaga kerja maupun sebagai sumber devisa negara. Namun demikian, perluasan kebun tersebut juga memicu berbagai perubahan ekologis yang kompleks, termasuk perubahan dalam siklus hidrologi. Kondisi ini sering kali melahirkan persepsi bahwa kelapa sawit merupakan tanaman “boros air” dan berkontribusi terhadap peningkatan risiko banjir. Tulisan ini bertujuan untuk menguji persepsi tersebut berdasarkan bukti ilmiah, khususnya dari hasil penelitian yang menggunakan pendekatan pengukuran transpirasi dan evapotranspirasi.

Hasil kajian menunjukkan bahwa pada tingkat individu, laju transpirasi tanaman kelapa sawit berada pada kisaran moderat, yaitu sekitar 0,4–2,5 mm/hari. Nilai ini sebanding, bahkan dalam banyak kasus lebih rendah, dibandingkan dengan tanaman lain seperti karet, kakao, maupun beberapa jenis pohon berkayu. Dengan demikian, pada skala individu, kelapa sawit tidak dapat dikategorikan sebagai tanaman dengan konsumsi air yang berlebihan sebagaimana sering diasumsikan.

Pada skala kebun, kehilangan air tidak hanya terjadi melalui transpirasi tanaman, tetapi juga melalui evaporasi dari permukaan tanah, vegetasi basah, serta badan air. Total kehilangan air tersebut direpresentasikan sebagai evapotranspirasi, yaitu gabungan antara proses transpirasi dan evaporasi. Laju evapotranspirasi kebun kelapa sawit umumnya berkisar antara 3,0–4,5 mm/hari, dengan kontribusi transpirasi sebesar 50–70%, sementara sisanya berasal dari evaporasi. Besarnya proporsi evaporasi ini berkaitan dengan karakteristik struktural kebun sawit, seperti adanya ruang terbuka antarlahur tanaman, blok kebun, dan area penyiangan yang meningkatkan paparan permukaan tanah.

Secara keseluruhan, laju transpirasi dan evapotranspirasi kebun sawit relatif sebanding dengan tanaman dan sistem perkebunan lainnya. Demikian pula, respons hidrologi Daerah Tangkapan Air yang didominasi oleh kelapa sawit tidak menunjukkan kondisi yang lebih buruk dibandingkan dengan Daerah Tangkapan Air yang didominasi oleh karet. Hal ini mengindikasikan bahwa kelapa sawit bukanlah penyebab utama pemborosan air, baik pada skala individu maupun skala kebun dan lanskap Daerah Tangkapan Air.

Permasalahan yang lebih mendasar terletak pada degradasi dan konversi hutan hujan tropis menjadi penggunaan lahan non-hutan hujan tropis, termasuk berbagai jenis perkebunan, hutan tanaman, maupun permukiman. Meskipun ekspansi kebun sawit dalam beberapa dekade terakhir tergolong paling luas, tidak seluruhnya berasal dari konversi hutan primer. Hutan hujan tropis sebagai ekosistem klimaks memiliki fungsi ekohidrologis yang optimal di wilayah tropis basah, sekaligus menyimpan potensi sosial-ekonomi yang tinggi. Eksploitasi yang tidak terkendali, disertai perubahan tata guna lahan dan meningkatnya anomali iklim, berkontribusi terhadap meningkatnya frekuensi bencana hidrometeorologis seperti banjir, banjir bandang, longsor, dan kekeringan.

Oleh karena itu, menyederhanakan persoalan dengan menyalahkan kelapa sawit sebagai penyebab utama degradasi lingkungan tidaklah tepat. Pendekatan yang lebih relevan adalah melalui pengelolaan lanskap, pengaturan pola ruang Daerah Aliran Sungai secara terpadu, yang mendukung fungsi hidrologis DAS disertai penerapan praktik pengelolaan terbaik dalam pemanfaatan sumber daya alam, alih-alih membatasi atau melarang komoditas tertentu.

Ucapan Selamat Datang

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, Dekan, Wakil Dekan, Direktur, Kepala Pusat, Ketua Departemen dan Pejabat Struktural lainnya di IPB;
- Para dosen, tenaga kependidikan, teman-teman sejawat, mahasiswa dan alumni;
- Keluarga tercinta, dan segenap undangan yang saya muliakan;

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Selamat pagi dan salam sejahtera untuk kita semua,

Alhamdulillah robbil'alamiin, puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya. Pada hari ini, kita dapat mengikuti acara Orasi Ilmiah Guru Besar IPB dalam keadaan sehat walafiat.

Hadirin yang berbahagia,

Pada kesempatan ini, dengan memohon ridha Allah SWT, perkenankan saya sebagai Guru Besar Tetap pada Fakultas Kehutanan dan Lingkungan IPB University menyampaikan Orasi Ilmiah dengan judul:

**SAWIT-KEBUN SAWIT
Tinjauan Hidrologi Hutan-Daerah Aliran Sungai**

Materi utama orasi ini merupakan hasil penelitian kelompok A02: *Tree and palm water use characteristics in rainforest transformation systems*, proyek *Ecological and Socioeconomic Functions of Tropical Lowland Rainforest Transformation Systems* (EFForTS) yang dilakukan sejak tahun 2012. Tema orasi ini disampaikan sebagai bentuk pemikiran dalam bidang ilmu hidrologi hutan dan Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai upaya berbagi informasi terkait isu sawit dan upaya perbaikan pengelolaan lahan, khususnya kebun sawit di Indonesia.

Foto Orator



Prof. Dr. Ir. Hendrayanto, M.Agr.Sc.

Daftar Isi

| | |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| Ringkasan..... | iii |
| Ucapan Selamat Datang..... | v |
| Foto Orator..... | vii |
| Daftar Isi | ix |
| Daftar Tabel..... | xi |
| Daftar Gambar | xiii |
| I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Perkembangan Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia..... | 1 |
| 1.2 Kontroversi Perluasan Kebun Sawit dan Isu Konsumsi Air | 2 |
| II. METODE PENELITIAN | 3 |
| 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian | 3 |
| 2.2 Pengukuran Laju Transpirasi | 6 |
| 2.3 Pendugaan Laju Evapotranspirasi..... | 7 |
| III. TRANSPIRASI | 7 |
| 3.1 Transpirasi Tumbuhan Kelapa Sawit..... | 7 |
| 3.2 Transpirasi Tumbuhan Berkayu..... | 10 |
| IV. EVAPOTRANSPIRASI | 19 |
| V. RESPONS HIDROLOGI DAS | 23 |
| PENUTUP..... | 27 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 29 |
| UCAPAN TERIMA KASIH | 37 |
| Foto Keluarga..... | 45 |
| Riwayat Hidup | 46 |

Daftar Tabel

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1. Karakteristik lokasi plot ukur, umur tegakan sawit di setiap plot, dan waktu pengukuran fluks getah.... | 5 |
| Tabel 2. Laju transpirasi berbagai umur tumbuhan sawit..... | 8 |
| Tabel 3. Laju transpirasi tumbuhan karet monokultur dan dicampur tumbuhan asli | 10 |
| Tabel 4. Laju tumbuhan karet di daerah tergenang dan tidak tergenang | 11 |
| Tabel 5. Laju transpirasi tumbuhan kakao dan gamal | 13 |
| Tabel 6. Laju transpirasi maksimum (T_{max}), rata-rata (T_{mean}) (mm/hari), dan simpangan baku (SD) 15 jenis tumbuhan di Filipina dan Panama | 17 |
| Tabel 7. Perbandingan evapotranspirasi berbagai penggunaan lahan | 20 |

Daftar Gambar

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1. Lokasi penelitian (digambar ulang dari data Röll <i>et al.</i> 2015) | 4 |
| Gambar 2. Laju transpirasi tumbuhan sawit berumur 2–25 tahun (Röll <i>et al.</i> 2015; Niu <i>et al.</i> 2015 dimodifikasi) | 8 |
| Gambar 3. Laju transpirasi tumbuhan karet dan sawit berumur 2–25 tahun (Ayuthaya <i>et al.</i> 2010; Kobayashi <i>et al.</i> 2014; Röll <i>et al.</i> 2015; Niu <i>et al.</i> 2015; Hardanto <i>et al.</i> 2017a; Pradiko <i>et al.</i> 2022; Bayona-Rodríguez dan Romero 2016) | 12 |
| Gambar 4. Laju transpirasi tumbuhan karet di India (Sumber: Rao <i>et al.</i> 1990) | 12 |
| Gambar 5. Laju transpirasi tumbuhan sawit dan tumbuhan berkayu..... | 18 |
| Gambar 6. Hidrograf di DTA_sawit dan DTA_karet (Sumber: Merten <i>et al.</i> 2016)..... | 24 |

I. PENDAHULUAN

1.1 Perkembangan Perkebunan Kelapa Sawit di Indonesia

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) saat ini menjadi salah satu komoditas penting dalam sistem pangan global, khususnya sebagai sumber utama minyak nabati. Kontribusinya sangat besar, yaitu sekitar $\pm 40\%$ dari total permintaan minyak nabati dunia (Meijaard *et al.* 2020), dengan produksi global yang mencapai ± 77 juta metrik ton pada periode 2023–2024 (USDA 2025). Dibandingkan dengan tanaman penghasil minyak lainnya, kelapa sawit memiliki produktivitas yang jauh lebih tinggi per satuan luas (Murphy 2025), sehingga menjadi pilihan yang efisien untuk berbagai kebutuhan, mulai dari industri pangan, oleokimia, hingga biofuel. Di sisi lain, sektor ini juga berperan dalam mendukung perekonomian masyarakat melalui penyerapan tenaga kerja di berbagai tahapan, dari budidaya hingga pengolahan (Basiron 2007).

Di Indonesia, perkembangan perkebunan kelapa sawit berlangsung sangat cepat, terutama sejak awal tahun 2000-an. Luas perkebunan meningkat hampir tiga kali lipat, dari sekitar $\pm 5,28$ juta hektar pada tahun 2003 menjadi $\pm 16,01$ juta hektar pada tahun 2024 (BPS 2025a). Pertumbuhan ini tidak hanya mencerminkan tingginya permintaan global, tetapi juga menunjukkan posisi penting sektor sawit dalam perekonomian nasional. Dalam sepuluh tahun terakhir, industri ini telah menyerap sekitar $\pm 16,5$ juta tenaga kerja, baik secara langsung maupun tidak langsung, serta memberikan kontribusi ekspor yang signifikan, yaitu mencapai US\$ 22,9 miliar pada tahun 2024 (BPS 2025b).

Namun, perkembangan tersebut juga membawa konsekuensi yang tidak sederhana. Perluasan perkebunan kelapa sawit, khususnya yang melibatkan konversi hutan alam, sering

dikaitkan dengan berbagai dampak ekologis, seperti penurunan keanekaragaman hayati, fragmentasi habitat, peningkatan emisi gas rumah kaca, serta perubahan dalam siklus hidrologi (Fitzherbert *et al.* 2008; Koh dan Wilcove 2008; Merten *et al.* 2016; Manoli *et al.* 2018). Hal ini menunjukkan bahwa sistem perkebunan sawit berada dalam posisi yang kompleks—di satu sisi memberikan manfaat ekonomi yang besar, namun di sisi lain menghadirkan tantangan bagi keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang lebih menyeluruh dan berbasis ilmiah untuk melihat isu ini secara lebih utuh dan proporsional.

1.2 Kontroversi Perluasan Kebun Sawit dan Isu Konsumsi Air

Perluasan perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah memunculkan berbagai pandangan yang tidak selalu sejalan, khususnya terkait dampaknya terhadap lingkungan dan sumber daya air. Di tingkat masyarakat, terutama di wilayah yang mengalami ekspansi perkebunan, berkembang persepsi bahwa kelapa sawit merupakan tanaman yang “boros air” dan menjadi penyebab utama berkurangnya ketersediaan air.

Beberapa studi sosial-ekologi, seperti yang dilakukan di Provinsi Jambi, menunjukkan bahwa masyarakat merasakan adanya kelangkaan air secara periodik yang berdampak langsung terhadap mata pencaharian dan kehidupan sehari-hari. Penurunan tinggi muka air sumur pada musim kemarau serta meningkatnya fluktuasi aliran sungai antara musim hujan dan kemarau sering kali dikaitkan dengan keberadaan perkebunan kelapa sawit. Persepsi ini kemudian membentuk narasi yang cukup kuat di tingkat lokal.

Namun demikian, persepsi tersebut tidak selalu mencerminkan proses ekohidrologi yang sebenarnya terjadi di lapangan (Merten *et al.* 2016). Dalam konteks ilmiah, penting untuk membedakan antara penggunaan air pada tingkat individu tumbuhan dengan penggunaan air pada skala kebun maupun lanskap, seperti Daerah Aliran Sungai (DAS). Selain itu, perbandingan dengan jenis vegetasi lain juga diperlukan untuk memahami apakah karakteristik penggunaan air pada kelapa sawit berbeda atau justru berada dalam kisaran yang serupa.

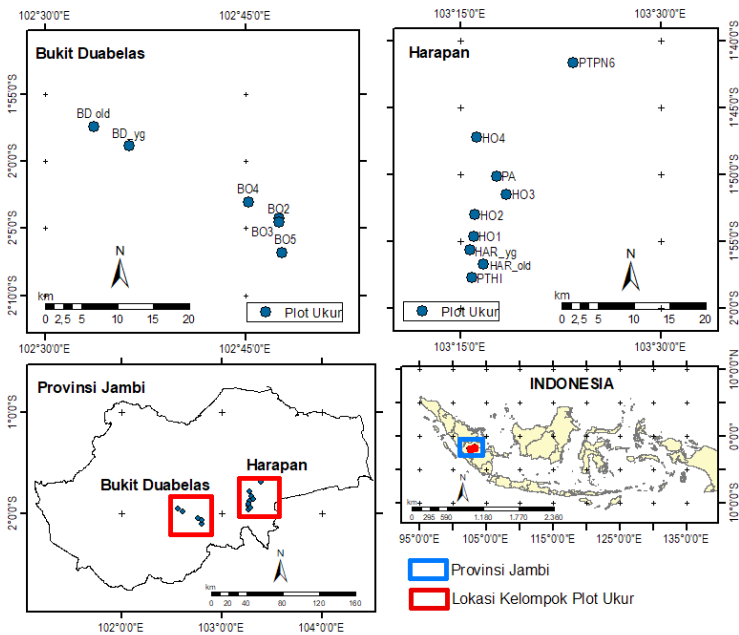
Berangkat dari hal tersebut, kajian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan air pada kelapa sawit melalui pendekatan pengukuran laju transpirasi dan evapotranspirasi, serta membandingkannya dengan vegetasi lain pada kondisi lingkungan yang berbeda. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih objektif dan berbasis data, sehingga isu “sawit boros air” dapat dilihat secara lebih proporsional dalam konteks sistem hidrologi yang lebih luas.

II. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian dalam kajian ini menggabungkan pengukuran lapangan, analisis mikrometeorologi, serta pemodelan berbasis proses untuk memahami dinamika penggunaan air pada kelapa sawit secara komprehensif.

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di dua wilayah utama di Provinsi Jambi, yaitu Bukit Duabelas dan Harapan (Gambar 1). Kedua lokasi tersebut mencakup beberapa desa dan area perkebunan, antara lain Desa Bungku, Pematang Kabau, Lubuk Kepayang, Pompa Air, dan Dusun Baru, serta wilayah operasional PTPN VI dan PT Humusindo.



Gambar 1. Lokasi penelitian (digambar ulang dari data Röll *et al.* 2015)

Karakteristik lokasi plot pengukuran, termasuk umur tegakan sawit, kondisi lingkungan, serta periode pengukuran fluks getah (*sap flux*), disajikan pada Tabel 1. Pengukuran dilakukan dalam rentang waktu tahun 2013–2014.

Tabel 1. Karakteristik lokasi plot ukur, umur tegakan sawit di setiap plot, dan waktu pengukuran fluks getah

| Kode Lokasi | Desa | Umur (tahun) | Altitude (m) | Stand Types | Study Period | Average radiation/ VPD of three selected days (MJM ⁻² day ⁻² kPa ⁻¹) | Average radiation/ VPD of the full measurement period (MJM ⁻² day ⁻¹ kPa ⁻¹) |
|-------------|-----------------------------|--------------|--------------|-------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| PA | Pompa Air | 2 | 75 | S | 15/2013 – 14/1 2014 | 21,6/1,4 | 16,6/1,1 |
| HAR_yg | Bungku | 3 | 63 | S | 28/9 2013 – 24/10 2013 | 21,8/1,6 | 17,6/1,2 |
| BD_yg | Pematang Kabau | 5 | 55 | S | 9/7 2013 – 3/8 2013 | 17,4/1,5 | 12,6/1,2 |
| BO5 | Lubuk Kepayang | 9 | 65 | S | 1 – 22/9 2013 | 20,4/1,6 | 15,4/1,1 |
| HO4 | Pompa Air | 10 | 48 | S | 18/7 2013 5/8 2013 | 19,9/1,4 | 16,0/1,0 |
| BO4 | Dusun Baru | 11 | 34 | S | 6 – 26 Aug 2013 | 22,9/1,8 | 17,6/1,4 |
| BO3 | Lubuk Kepayang | 12 | 71 | S | 3 Jul 2013 – 30 Sep 2013 | 21,8/1,8 | 16,1/1,2 |
| PTPN6 | PT Perkebunan Nusanantara 6 | 12 | 70 | C | 19 Jul 2014 – 20 Dec 2014 | 19,7/1,4 | 16,7/1,1 |
| BO2 | Lubuk Kepayang | 13 | 84 | S | 10 Jun 2013 – 4 Jul 2013 | 24,9/2,1 | 20,5/1,7 |
| HO2 | Bungku | 14 | 55 | S | 25 Sep 2013 – 19 Nov 2013 | 21,3/1,5 | 17,0/1,2 |
| HO1 | Bungku | 16 | 81 | S | 9 – 30 Aug 2013 | 22,3/1,9 | 18,5/1,5 |
| HO3 | Pompa Air | 17 | 64 | S | 7 Dec 2013 – 19 Jan 2014 | 16,7/1,0 | 13,0/0,8 |
| PTHI | PT Humusindo | 18 | 59 | C | 15 Nov 2013 – 4 Dec 2013 | 17,5/1,1 | 17,4/1,1 |
| BD old | Pematang Kabau | 22 | 73 | S | 14 – 30 Jul 2013 | 15,1/1,4 | 11,8/1,2 |
| HAR_old | Bungku | 25 | 43 | S | 30 Sep 2013 – 1 Nov 2013 | 21,1/1,6 | 17,1/1,2 |

2.2 Pengukuran Laju Transpirasi

Transpirasi merupakan proses pelepasan uap air dari jaringan tumbuhan ke atmosfer melalui stomata, sebagai bagian dari sistem kontinu tanah–tumbuhan–atmosfer (*soil–plant–atmosphere continuum*). Air yang ditranspirasikan diserap oleh akar, diangkut melalui xilem, dan dilepaskan melalui stomata, yang dikendalikan oleh interaksi antara kebutuhan fisiologis dan kondisi lingkungan.

Laju transpirasi diduga berdasarkan pengukuran fluks getah (*sap flux*), yang memiliki hubungan erat dengan aliran air dalam tumbuhan (Niu *et al.* 2015; Röhl *et al.* 2015). Pada tumbuhan kelapa sawit, metode ini memerlukan modifikasi karena struktur vaskularnya berbeda dengan tumbuhan dikotil. Oleh karena itu, panjang probe sensor *Thermal Dissipation Probe* (TDP) disesuaikan agar tetap berada dalam jaringan aktif yang representatif. Sensor dipasang pada bagian bawah (*underside*) petiole daun dewasa, yang memiliki distribusi bundel vaskular yang lebih homogen.

Selain itu, parameter dalam persamaan Granier (1985) dikalibrasi ulang untuk mengurangi bias pada tumbuhan monokotil. Kalibrasi dilakukan secara eksperimental di laboratorium menggunakan segmen petiole dengan pengaturan tekanan hidrolis yang terkontrol (Niu *et al.* 2015).

Penggunaan air oleh daun dihitung berdasarkan hubungan antara kerapatan fluks getah (J_s) dan luas area konduktif air (A_c), sedangkan laju transpirasi ditentukan dengan mempertimbangkan jumlah daun, jumlah individu per satuan luas, serta luas area lahan. Pendekatan ini memungkinkan estimasi transpirasi dalam satuan mm/hari pada skala tegakan

2.3 Pendugaan Laju Evapotranspirasi

Laju evapotranspirasi (*ET*) menggambarkan total kehilangan air dari sistem, yang mencakup transpirasi tumbuhan dan evaporasi dari permukaan tanah maupun vegetasi basah. Dalam penelitian ini, *ET* diduga menggunakan beberapa pendekatan untuk meningkatkan akurasi dan validasi hasil.

Pendekatan utama meliputi metode Penman–Monteith dan teknik Eddy Covariance, yang didukung oleh data mikrometeorologi lapangan (Balocchi 2003; Röhl *et al.* 2015).

III. TRANSPIRASI

3.1 Transpirasi Tumbuhan Kelapa Sawit

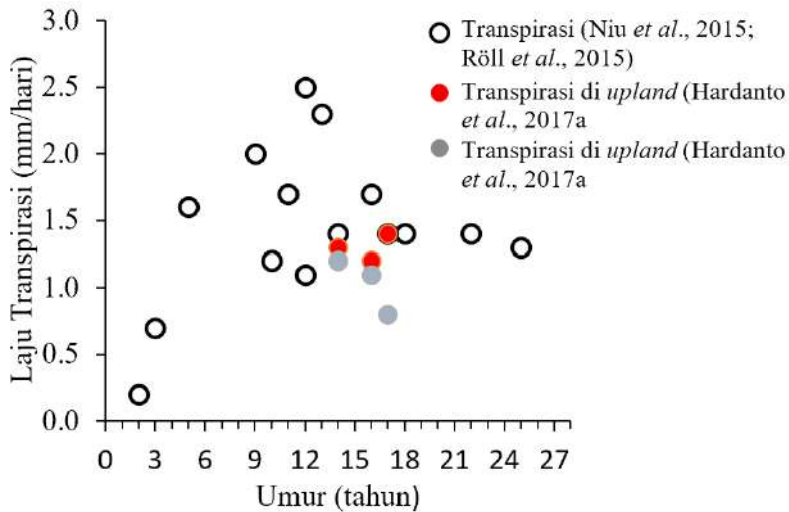
Dalam memahami isu penggunaan air pada kelapa sawit, penting untuk terlebih dahulu melihat karakteristik transpirasi pada tingkat individu tumbuhan.

Laju transpirasi tumbuhan sawit di Jambi menunjukkan variasi yang cukup luas, baik antarumur maupun antarlokasi. Pada kisaran umur 2–25 tahun, laju transpirasi berkisar antara 0,2 hingga 2,5 mm/hari (Tabel 2 dan Gambar 2). Variasi ini tidak hanya dipengaruhi oleh umur tanaman, tetapi juga oleh kondisi lingkungan dan intensitas pengelolaan.

Perbedaan lokasi tumbuh menunjukkan pengaruh yang cukup jelas. Tumbuhan sawit yang berada di daerah lembah tergenang cenderung memiliki laju transpirasi yang lebih rendah dibandingkan dengan yang berada di daerah *upland* atau lembah tidak tergenang. Hal ini mengindikasikan sensitivitas sawit terhadap kondisi anaerobik di zona perakaran. Selain itu, kebun dengan pengelolaan yang lebih intensif, seperti di BO5 dan PTPN 6, menunjukkan laju transpirasi yang lebih tinggi, yang kemungkinan terkait dengan kondisi nutrisi dan produktivitas tanaman.

Tabel 2. Laju transpirasi berbagai umur tumbuhan sawit

| Lokasi Plot | Umur (tahun) | Transpirasi (mm/hari) | Sumber |
|------------------------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------------|
| BO3 | 12 | 1,1 ± 0,2 | Niu <i>et al.</i> (2015) |
| PA (Pompa Air) | 2 | 0,2 | Röll <i>et al.</i> (2015) |
| BD_yg | 5 | 1,3 | Röll <i>et al.</i> (2015) |
| BO5; PTPN 6 | 12 | 1,5–2,5 | Röll <i>et al.</i> (2015) |
| HAR_old | 25 | 1,3 | Röll <i>et al.</i> (2015) |
| H02-Upland | 16 ± 1:5 | 1,3 | Hardanto <i>et al.</i> (2017a) |
| H02-Lembah tidak tergenang | | 1,2 | |
| H03-Upland | | 1,4 | |
| H03-Lembah tergenang lama | | 0,8 | |
| HO1-upland | | 1,2 | |
| HO1-Lembah tergenang/ tidak tergenang | | 1,1 1,1 | |



Gambar 2. Laju transpirasi tumbuhan sawit berumur 2–25 tahun (Röll *et al.* 2015; Niu *et al.* 2015 dimodifikasi)

Secara umum, hasil penelitian ini konsisten dengan temuan di lokasi lain, yang menunjukkan bahwa laju transpirasi sawit berada dalam kisaran sekitar 0,4–2,5 mm/hari. Hal ini menunjukkan bahwa secara fisiologis, penggunaan air oleh sawit berada dalam kisaran yang moderat.

Salah satu karakter penting dari tumbuhan sawit adalah sifatnya yang isohidrik, yaitu kemampuan untuk menjaga kestabilan status air dalam jaringan meskipun terjadi perubahan kondisi atmosfer. Dalam kondisi radiasi dan defisit tekanan uap (*vapor pressure deficit*, VPD) yang meningkat, laju transpirasi sawit tidak mengalami peningkatan yang drastis. Bahkan, peningkatan VPD hingga dua kali lipat umumnya hanya diikuti oleh peningkatan laju transpirasi yang relatif kecil.

Karakter ini menunjukkan adanya mekanisme regulasi yang efektif, termasuk pengendalian stomata dan pemanfaatan cadangan air dalam batang (*stem capacitance*), yang membantu tanaman menghindari stres hidrolik. Dengan demikian, sawit tidak menunjukkan respons konsumsi air yang berlebihan terhadap fluktuasi lingkungan harian.

Namun demikian, kondisi ketersediaan air tanah tetap menjadi faktor pembatas utama. Pada periode kekeringan, penurunan kelembapan tanah akan menurunkan laju transpirasi, biasanya dengan jeda waktu sekitar 1–2 hari. Sebaliknya, pada kondisi ketersediaan air yang tinggi, laju transpirasi dapat mencapai nilai maksimum.

Secara keseluruhan, laju transpirasi sawit dipengaruhi oleh faktor fisiologis seperti umur dan luas daun, serta interaksi antara faktor lingkungan (radiasi, VPD, kelembapan tanah), dan kondisi tapak (topografi dan drainase).

3.2 Transpirasi Tumbuhan Berkayu

Untuk menempatkan karakteristik penggunaan air oleh kelapa sawit dalam konteks yang lebih tepat, diperlukan perbandingan dengan jenis tumbuhan lain yang umum ditemukan dalam sistem penggunaan lahan tropis.

Karet (*Hevea brasiliensis*)

Tumbuhan karet merupakan salah satu komoditas utama di Indonesia yang banyak dikembangkan, baik dalam sistem monokultur maupun dalam bentuk agroforestri (*jungle rubber*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju transpirasi karet bervariasi tergantung pada sistem penanaman dan kondisi lingkungan.

Pada sistem monokultur, laju transpirasi karet cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sistem campuran (Tabel 3), yang dipengaruhi oleh kerapatan tanaman, *Leaf Area Index* (LAI), serta kondisi iklim mikro. Selain itu, seperti halnya sawit, karet juga menunjukkan sensitivitas terhadap kondisi genangan, di mana laju transpirasi menurun pada kondisi anaerob (Tabel 4).

Tabel 3. Laju transpirasi tumbuhan karet monokultur dan dicampur tumbuhan asli

| Kondisi Tumbuhan Karet | Transpirasi (mm/hari) | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------|
| | Tumbuhan Karet | Tumbuhan Asli |
| Karet monokultur | 1,1 ± 0,2 | - |
| Karet di hutan- <i>jungle rubber</i> | 0,4 ± 0,1 | 1,0 ± 0,2 |

Sumber: Hardanto *et al.* (2017b)

Tabel 4. Laju tumbuhan karet di daerah tergenang dan tidak tergenang

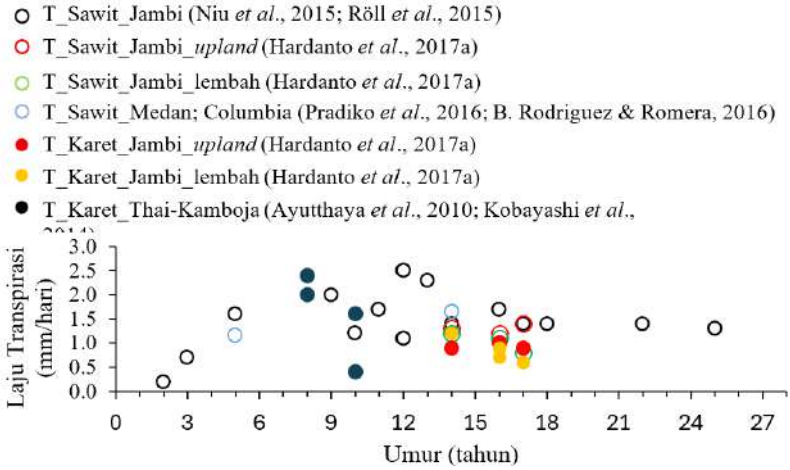
| Lokasi Plot | Transpirasi (mm/hari) |
|----------------------------|-----------------------|
| HR2- <i>Upland</i> | 0,9 |
| HR2-Lembah tergenang | 1,2 |
| HR1- <i>Upland</i> | 0,9 |
| HR1-Lembah tergenang lama | 0,6 |
| HR3- <i>Upland</i> | 0,9 |
| HR3-Lembah tidak tergenang | 0,7 |

Sumber: Hardanto *et al.* (2017a)

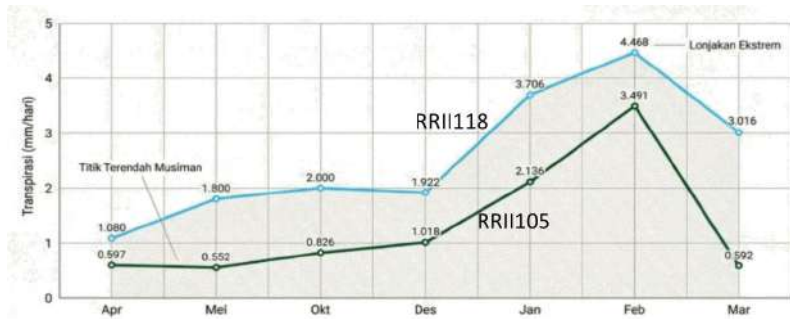
Laju transpirasi tumbuhan karet tergenang lama hanya 0,6 mm/hari, tapi kalau tergenang sesaat dapat mencapai 2 kali lipatnya, yaitu 1,2 mm/hari. Apabila tidak tergenang, laju transpirasi tumbuhan karet berkisar antara 0,7–0,9 mm/hari

Laju transpirasi tumbuhan karet tersebut hampir sama dengan laju transpirasi tumbuhan karet di Buriram, Thailand Timur Laut sebesar 0,4–1,6 mm/hari (Ayutthaya *et al.* 2010), namun lebih rendah dari laju transpirasi tumbuhan karet di Provinsi Kampong Cham, Kamboja yang mencapai 2,0–2,4 mm/hari (Kobayashi *et al.* 2014). Laju transpirasi karet cenderung lebih kecil dari laju transpirasi sawit, namun dalam rentang yang hampir sama, yaitu di 0,2–2,5 mm/hari (sawit) dan 0,4–0,24 mm/hari (karet) (Gambar 3), kecuali laju transpirasi karet di India, rentang variasinya sangat lebar, yaitu 0,6–4,5 mm/hari dan berbeda antara clone RII108 dengan RII105 (Gambar 4, Rao *et al.* 1990).

Secara umum, laju transpirasi karet hasil penelitian di Jambi berada dalam kisaran yang tidak jauh berbeda dengan sawit, yaitu sekitar 0,4–2,0 mm/hari pada berbagai kondisi. Hal ini menunjukkan bahwa dalam konteks penggunaan air, karet dan sawit memiliki karakteristik yang relatif sebanding.



Gambar 3. Laju transpirasi tumbuhan karet dan sawit berumur 2–25 tahun (Ayutthaya *et al.* 2010; Kobayashi *et al.* 2014; Röll *et al.* 2015; Niu *et al.* 2015; Hardanto *et al.* 2017a; Pradiko *et al.* 2022; Bayona-Rodríguez dan Romero 2016)



Gambar 4. Laju transpirasi tumbuhan karet di India (Sumber: Rao *et al.* 1990)

Kakao (*Theobroma cacao* L.)

Variasi laju transpirasi tumbuhan kakao juga dipengaruhi oleh sistem budidaya, monokultur atau agroforestri (AF). Agroforestri kakao dengan tumbuhan gamal (*Gliricidia sepium*) selain menciptakan adanya naungan tumbuhan gamal bagi kakao, juga memiliki perbedaan kedalaman perakaran antara perakaran kakao dan perakaran gamal. Agroforestri kakao tidak hanya dengan gamal, namun juga dengan banyak jenis tumbuhan lain, yaitu jenis-jenis dadap (*Erythrina* sp.), durian (*Durio zibethinus*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*), kemiri (*Aleurites moluccana*), sirsak (*Annona muricata*), dan beberapa gamal (*Gliricidia sepium*), serta pisang (*Musa* sp.).

Laju transpirasi tumbuhan kakao, gamal monokultur dan agroforestri disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Laju transpirasi tumbuhan kakao dan gamal

| Tumbuhan | Sistem Budidaya | Σ Pohon | Transpirasi Rata-rata (mm/hari) |
|--------------|-----------------------|----------------|---------------------------------|
| Kakao | Monokultur | 6 | 1,2 |
| Kakao | AF-Kakao-Gamal | 6 | 2,2 |
| Kakao | AF-Kakao-Banyak Jenis | 5 | 1,1 |
| Gamal | AF-Kakao-Gamal | 6 | 0,5 |
| Banyak-jenis | AF-Kakao-Banyak Jenis | 6 | 1,0 |

Sumber: Köhler *et al.* (2014)

Umur kakao dan gamal pada saat penelitian adalah 21 tahun.

Dari data laju transpirasi di Tabel 5, laju transpirasi tumbuhan kakao berbeda di setiap sistem penanaman, bervariasi antara 1,1–2,2 mm/hari dan lebih tinggi dibandingkan dengan laju transpirasi gamal yang hanya 0,5 mm/hari, dan campuran banyak jenis, yaitu 1,0 mm/hari.

Laju transpirasi kakao di AF kakao-gamal lebih tinggi, hampir 2 kali lipat dari laju transpirasi kakao yang ditanam secara monokultur. Secara teoretis, penanaman tumbuhan peneduh digunakan untuk melindungi kakao dari kekeringan dan meningkatkan ketahanan kakao (Binternagel *et al.* 2010). Suhu udara dan tanah yang lebih rendah, serta tingkat kelembapan udara yang lebih tinggi di bawah naungan dapat mengurangi tekanan air pada pohon yang dinaungi. Pohon naungan mengurangi penguapan dan stres kekeringan tanaman yang dinaungi (Lin *et al.* 2008). Adanya naungan di AF-kakao-gamal meningkatkan intersepsi curah hujan dan dengan demikian mengurangi input air ke tanah (Dietz *et al.* 2006). Pohon penaung berperan menurunkan kebutuhan evaporatif, sehingga dapat mengurangi stres kekeringan pada tanaman kakao. Pada sistem agroforestri kakao-gamal di Sulawesi, peningkatanutupan tajuk dari pohon penaung terbukti mampu meningkatkan penyerapan air, serta mendorong pertambahan diameter batang dan luas daun kakao (Köhler *et al.* 2009). Peningkatan pertumbuhan vegetatif di bawah naungan juga dilaporkan pada pertanaman kakao di Ghana (Isaac *et al.* 2007). Kondisi tumbuh yang lebih baik serta berkurangnya stres kekeringan akibat naungan ini juga ditemukan pada tanaman kopi (Perfecto *et al.* 2007). Namun, dalam kasus AF-kakao-gamal, penyebab laju transpirasi kakao di AF kakao-gamal lebih tinggi dibandingkan dengan laju transpirasi kakao monokultur maupun AF-banyak jenis diduga disebabkan adanya perbedaan dalam hal sistem perakaran. Pada kakao monokultur, perakarannya seragam berada pada level kedalaman yang sama, sehingga terjadi persaingan antar individu tumbuhan kakao dalam mendapatkan air, demikian juga di AF-kakao-berbagai jenis, sedangkan dalam AF-kakao-gamal, kedalaman perakaran kakao dan gamal

berbeda. Perakaran gamal lebih dalam dibandingkan dengan kakao, sehingga tidak terjadi persaingan dalam mendapatkan air. Dampak lebih lanjutnya, ketersediaan air di kedalaman perakaran kakao lebih optimal bagi pemenuhan kebutuhan airnya. Pada penelitian sebelumnya, yaitu saat kakao dan gamal masih berumur muda (7 tahun), laju transpirasi kakao dan gamal tidak jauh berbeda. Laju transpirasi rata-rata 9 tumbuhan kakao berkisar 0,46–0,57 mm/hari dan gamal berkisar 0,41–0,53 mm/hari (Köhler *et al.* 2009).

Meskipun terdapat variasi antar sistem, laju transpirasi kakao umumnya berada dalam kisaran yang sebanding dengan tanaman lain. Hal ini menunjukkan bahwa variasi penggunaan air lebih dipengaruhi oleh sistem pengelolaan dan struktur vegetasi dibandingkan oleh jenis tanaman semata.

Jati (*Tectona grandis*)

Tumbuhan jati (*Tectona grandis*) tersebar luas di Indonesia, baik di wilayah beriklim basah maupun yang beriklim kering. Penelitian tentang penggunaan air atau laju transpirasi tumbuhan jati belum banyak dilakukan di Indonesia.

Berdasarkan hasil penelitian di China, tepatnya di Kebun Raya Monsoon Tropis Xishuangbanna di selatan Provinsi Yunnan, China Barat Daya, laju transpirasi tahunan jati bervariasi dari 1.325 mm pada tahun 2012 (3,31 mm/hari) sampai 660 mm pada tahun 2014 (1,65 mm/hari). Variasi tersebut dipengaruhi oleh variasi hujan. Curah hujan tahun 2012 dan 2014 masing-masing 1.541 dan 1.143 mm. Jati menggunakan air 30–40% lebih sedikit selama musim kemarau dibandingkan dengan musim hujan (Siddiq *et al.* 2019). Hal tersebut diduga akibat tumbuhan jati menggugurkan daun selama musim kemarau. Tumbuhan jati dapat beradaptasi terhadap ketersediaan air dalam tanah.

Akasia (*Acacia mangium*)

Akasia (*Acacia mangium*) merupakan tumbuhan berkayu. Tumbuhan akasia banyak tumbuh di wilayah Papua Nugini, Papua Barat dan Maluku. Tumbuhan ini pada mulanya dikembangkan eksitu di Malaysia Barat dan selanjutnya di Sabah dan Sarawak, kemudian di Filipina.

Akasia termasuk tanaman cepat tumbuh, sehingga laju transpirasinya termasuk tinggi. Penelitian di kaki bukit Gunung Lumaku, Pegunungan Crocker, 35 km ke pedalaman dari Sipitang, pantai barat Sabah, Malaysia, menunjukkan laju transpirasi tumbuhan *Acacia mangium* dapat mencapai 4,6 mm/hari. Laju transpirasi tersebut sangat dipengaruhi oleh basal area. Rata-rata laju transpirasi tumbuhan akasia di dalam tegakan dengan basal area 18,6 m²/ha sebesar 2,3 mm/hari dengan laju transpirasi maksimum 2,7 mm/hari, sedangkan laju transpirasi akasia di dalam tegakan dengan basal area 40,4 m²/ha, sebesar 3,9 mm/hari dengan laju transpirasi maksimum 4,6 mm/hari (Cienciala *et al.* 2000).

Penelitian di Heshan *Experimental Station, Chinese Academy of Sciences*, Guangdong, China, menunjukkan laju transpirasi akasia di dalam tegakan dengan basal area 26,6 m²/ha sebesar 1,64 mm/hari (maksimum) (Ma *et al.* 2008). Laju transpirasi ini jauh lebih rendah dibandingkan dengan laju transpirasi akasia di Sabah.

Tumbuhan Berkayu Lainnya

Laju transpirasi dari beberapa jenis tumbuhan di Filipina dan yang umum ada di Indonesia disajikan dalam Tabel 6 (Dierick *et al.* 2009 dan 2010).

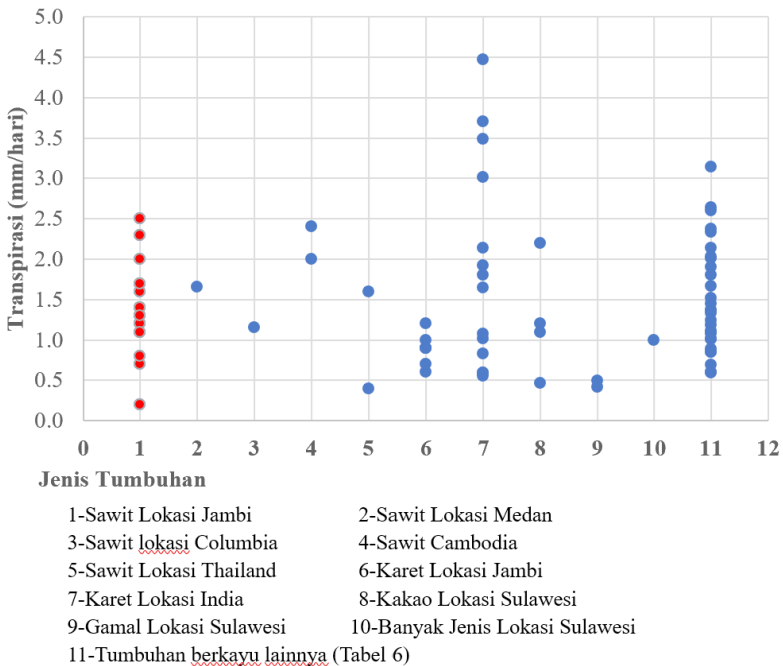
Tabel 6. Laju transpirasi maksimum (T_{max}), rata-rata (T_{mean}) (mm/hari), dan simpangan baku (SD) 15 jenis tumbuhan di Filipina dan Panama

| No | Spesies | Famili | Nama Daerah | T_{max} | | T_{mean} | | Lokasi |
|----|------------------------------|------------------|-------------------------------------------|-----------|------|------------|------|----------|
| | | | | (mm/hari) | | (mm/hari) | | |
| | | | | Mean | SD | Mean | SD | |
| 1 | <i>Swietenia macrophylla</i> | Meliaceae | Mahoni daun lebar | 3,14 | 2,46 | 2,38 | 1,9 | Filipina |
| 2 | <i>Anacardium excelsum</i> | Anacardiaceae | Jambu mete hutan | 2,64 | 1,58 | 1,37 | 0,79 | Panama |
| 3 | <i>Myrica javanica</i> | Myriaceae | Kemiri | 2,6 | 0,6 | 1,8 | 0,38 | Filipina |
| 4 | <i>Cedrela odorata</i> | Meliaceae | Suren (cedrela) | 2,34 | 0,74 | 1,09 | 0,29 | Panama |
| 5 | <i>Luehea seemanii</i> | Tiliaceae | luehea / guácimo | 2,14 | 0,26 | 1,11 | 0,22 | Panama |
| 6 | <i>Shorea contorta</i> | Dipterocarpaceae | Meranti (meranti putih) | 2,03 | 0,93 | 1,45 | 0,7 | Filipina |
| 7 | <i>Hura crepitans</i> | Euphorbiaceae | karet beracun | 2,01 | 0,38 | 1,01 | 0,23 | Panama |
| 8 | <i>Sandoricum koetjape</i> | Meliaceae | Kecapi / Sentul | 1,9 | 0,98 | 1,36 | 0,77 | Filipina |
| 9 | <i>Gmelina arborea</i> | Verbenaceae | Jati putih | 1,67 | 0,46 | 1,18 | 0,32 | Filipina |
| 10 | <i>Durio zibethinus</i> | Bombacaceae | Durian | 1,52 | 0,81 | 1,11 | 0,62 | Filipina |
| 11 | <i>Hope malibato</i> | Dipterocarpaceae | Merawan | 1,33 | 0,43 | 0,89 | 0,29 | Filipina |
| 12 | <i>Parashorea malaanonan</i> | Dipterocarpaceae | Meranti (meranti besar/ meranti putih) | 1,24 | 0,28 | 0,85 | 0,17 | Filipina |
| 13 | <i>Tabebuia rosea</i> | Bignoniaceae | Tabebuia / Terompet pink | 1,09 | 0,27 | 0,6 | 0,11 | Panama |
| 14 | <i>Vitex parviflora</i> | Verbenaceae | Laban | 1,02 | 0,32 | 0,69 | 0,2 | Filipina |
| 15 | <i>Hope plagata</i> | Dipterocarpaceae | Merawan | 0,85 | 0,18 | 0,59 | 0,12 | Filipina |

(Sumber: Dierick *et al.* 2009; 2010)

Berdasarkan data hasil penelitian tersebut (Tabel 6), laju transpirasi mahoni (*Swietenia macrophylla*) merupakan laju transpirasi tertinggi, mencapai rata-rata 3,14 mm/hari dengan simpangan baku (SD) 2,46 mm/hari, diikuti oleh jambu mete hutan (*Anacardium excelsum*, 2,64 mm/hari), kemiri hutan (*Myrica javanica*, 2,60 mm/hari), dan suren (*Cedrela odorata*, 2,34 mm/hari). Laju transpirasi yang relatif tinggi mengindikasikan kapasitas konduktansi stomata dan sistem perakaran yang memungkinkan pengambilan air dalam jumlah besar, terutama pada kondisi atmosfer yang mendukung (radiasi tinggi dan defisit tekanan uap, VPD besar). Namun demikian, besarnya simpangan baku pada beberapa spesies, seperti mahoni (SD = 2,46), menunjukkan adanya variabilitas respons yang cukup lebar terhadap kondisi lingkungan mikro maupun faktor internal tanaman.

Apabila laju transpirasi tumbuhan sawit dibandingkan dengan laju transpirasi tumbuhan berkayu (karet, kako, jati, akasia, tumbuhan berkayu lainnya) sebagaimana disajikan dalam Gambar 5, nampak bahwa pada tingkat individu tumbuhan, laju transpirasi sawit (0,4–2,5 mm/hari) berada dalam kisaran yang sebanding dengan atau lebih rendah dari banyak tanaman berkayu untuk perkebunan dan hutan tanaman lainnya.



Gambar 5. Laju transpirasi tumbuhan sawit dan tumbuhan berkayu

Beberapa jenis tumbuhan berkayu lainnya, seperti jati (*Tectona grandis*) dan akasia (*Acacia mangium*), bahkan menunjukkan laju transpirasi yang dapat lebih tinggi dibandingkan dengan sawit, terutama pada kondisi lingkungan tertentu. Variasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor seperti curah hujan, luas tajuk,

serta karakter fisiologis tanaman. Pada beberapa spesies, laju transpirasi dapat mencapai lebih dari 3–4 mm/hari, yang menunjukkan bahwa penggunaan air yang tinggi bukanlah karakteristik yang unik pada kelapa sawit.

IV. EVAPOTRANSPIRASI

Untuk memahami penggunaan air pada skala yang lebih luas, analisis tidak dapat berhenti pada tingkat individu tumbuhan, tetapi perlu dilihat pada tingkat sistem, yaitu melalui evapotranspirasi (*ET*).

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari dua proses utama, yaitu transpirasi oleh tanaman dan evaporasi dari permukaan tanah serta permukaan vegetasi yang basah. Oleh karena itu, *ET* mencerminkan total kehilangan air dari suatu sistem lahan, dan menjadi indikator penting dalam memahami dinamika hidrologi pada skala kebun maupun lanskap.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju evapotranspirasi kebun sawit berkisar antara 3,0–4,5 mm/hari. Dari total tersebut, sekitar 50–70% berasal dari transpirasi tanaman, sedangkan sisanya berasal dari evaporasi (Tabel 7). Variasi tersebut tergantung pada umur tanaman, kondisi iklim, dan ketersediaan air (Meijide *et al.* 2017). Laju *ET* di kebun sawit muda (3–8 tahun) sebesar 3,0–3,5 mm/hari, sedangkan di kebun sawit dewasa (12–20 tahun) laju *ET* lebih besar, yaitu 3,8–4,5 mm/hari.

Tabel 7. Perbandingan evapotranspirasi berbagai penggunaan lahan

| Penggunaan Lahan | ET Harian (mm/hari) | ET Tahunan (mm/tahun) | Proporsi Transpirasi (%) | Ref ^(*) |
|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------|
| Hutan Hujan Tropis | 3,5–4,0 | 1.300–1.500 | 70–80 | [1], [2] |
| Perkebunan Sawit (muda, 3–8 th) | 3,0–3,5 | 1.100–1.300 | 50–60 | [3] |
| Perkebunan Sawit (dewasa, 12–20 th) | 3,8–4,5 | 1.400–1.600 | 50–70 | [3] |
| Perkebunan Karet | 3,5–5,0 | 1.300–1.800 | 60–75 | [2], [4] |
| Hutan Eucalyptus | 4,0–6,0 | 1.500–2.200 | 65–80 | [1] |
| Hutan Pinus | 3,0–4,5 | 1.100–1.600 | 60–75 | [1] |
| Hutan Jati | 2,5–4,0 | 900–1.500 | 60–70 | [1] |

Keterangan: *) [1] Röll *et al.* (2019); [2] Manoli *et al.* (2018); [3] Mejjide *et al.* (2017); [4] Niu *et al.* (2017)

Hasil penelitian Röll *et al.* (2015) juga menunjukkan laju *ET* kebun sawit dewasa yang serupa, yaitu 3,5–4,0 mm/hari atau setara dengan 1.100 hingga 1.600 mm/tahun. Studi ini juga menunjukkan bahwa laju *ET* meningkat dengan bertambahnya umur sawit hingga mencapai puncak pada umur sekitar 12–15 tahun, kemudian relatif stabil.

Transpirasi tumbuhan sawit yang diukur menggunakan pendekatan *sap flux* menyumbang 50–70% dari *ET* total yang diukur dengan *eddy covariance*. Ini berarti bahwa 30–50% dari *ET* total berasal dari evaporasi tanah, epifit, dan intersepsi kanopi (Mejjide *et al.* 2017). Proporsi evaporasi yang relatif tinggi ini adalah karakteristik penting dari perkebunan sawit yang membedakannya dari hutan hujan tropis.

Perkebunan sawit memiliki sumber evaporasi tambahan yang substansial, seperti tanah yang terbuka di antara barisan tanaman dan epifit yang tumbuh di batang kelapa sawit. Epifit, terutama pakis dan lumut, dapat menahan air hujan dan kemudian menguapkannya, yang berkontribusi terhadap *ET* total (Röll *et al.* 2019). Fenomena ini tidak terjadi di hutan

hujan tropis. Tajuk yang lebat dan berlapis berperan besar dalam melakukan intersepsi, namun juga mengurangi laju evaporasi tanah.

Penelitian Asyura *et al.* (2023) menggunakan pendekatan Bowen Ratio, menunjukkan bahwa laju *ET* dipengaruhi oleh musim. Selama periode 2014–2015, terdapat 7 bulan yang memiliki curah hujan lebih besar dari *ET* (periode basah) dan 5 bulan curah hujan lebih rendah dari *ET* (periode kering). Selama periode basah (Desember, Januari, Februari), laju *ET* rata-rata sebesar 5,08 mm/hari, sedangkan selama periode kering (juni-Agustus) sebesar 4,84 mm/hari. Selama masa transisi I (basah ke kering), rata-rata laju *ET* sebesar 6,55 mm/hari, sedangkan transisi II (kering-basah) sebesar 3,0 mm/hari.

Evapotranspirasi kebun sawit menunjukkan variasi musiman yang nyata, terutama sebagai respons terhadap radiasi matahari, curah hujan, dan ketersediaan air tanah. Radiasi netto merupakan *driver* utama *ET* harian dan musiman. Selama musim hujan, ketika radiasi tinggi dan ketersediaan air tidak terbatas, *ET* dapat mencapai laju maksimum 5,0–5,5 mm/hari, sedangkan selama musim kering, *ET* menurun hingga 2,5–3,0 mm/hari akibat keterbatasan ketersediaan air dalam tanah (*soil moisture*) dan penutupan stomata (Meijide *et al.* 2017; Rinandyta dan June 2025).

Konversi hutan menjadi perkebunan sawit mengubah iklim mikro secara drastis, yaitu suhu udara meningkat dan kelembapan relatif menurun, sehingga ketika terjadi peristiwa El Niño 2015, perkebunan sawit mengalami stres air yang lebih besar dibandingkan dengan hutan, yang tercermin dalam penurunan *ET* (Meijide *et al.* 2018).

Perkebunan sawit memiliki kapasitas intersepsi yang lebih rendah dibandingkan dengan hutan hujan tropis, yang memengaruhi transformasi hujan menjadi *ET*, infiltrasi, dan aliran permukaan (Fan *et al.* 2019).

Berdasarkan hasil simulasi model dan data lapangan, konversi hutan tropis menjadi perkebunan sawit di Asia Tenggara menunjukkan bahwa pada saat sawit masih muda, suhu permukaan dan risiko banjir tinggi, namun konsumsi air tumbuhan sawit masih rendah, sementara pada saat sawit sudah dewasa, suhu permukaan dan risiko banjir menurun, namun konsumsi air tumbuhan sawit lebih besar (Manoli *et al.* 2018).

Tumbuhan sawit memiliki efisiensi penggunaan air yang tinggi untuk produksi pangan, namun produktivitas tersebut dibayar dengan evapotranspirasi yang melampaui kemampuan hutan alam, sehingga berpotensi menguras sumber daya air lokal (Manoli *et al.* 2018).

Temuan ini menunjukkan bahwa pada skala kebun, penggunaan air tidak hanya ditentukan oleh karakter fisiologis tanaman, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh struktur dan pengelolaan sistem lahan. Dengan kata lain, besarnya evapotranspirasi tidak semata-mata mencerminkan “konsumsi air oleh sawit”, melainkan merupakan hasil interaksi antara vegetasi, tanah, dan praktik pengelolaan.

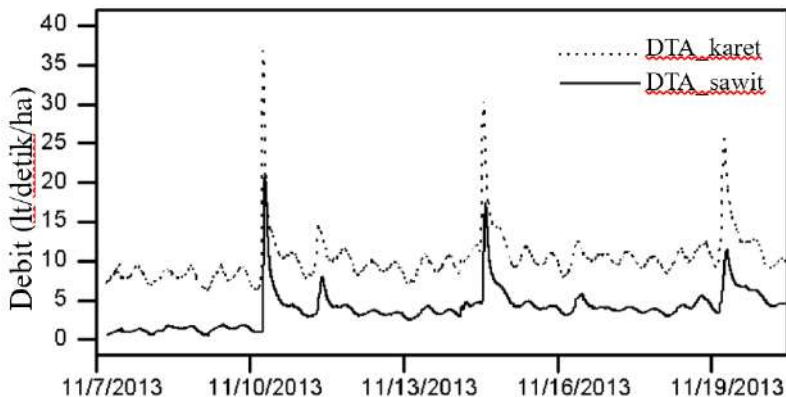
Dengan demikian, pemahaman mengenai penggunaan air pada kebun sawit perlu ditempatkan dalam konteks sistem yang lebih luas, yang selanjutnya berkaitan erat dengan respons hidrologi pada tingkat Daerah Aliran Sungai (DAS).

V. RESPONS HIDROLOGI DAS

Pada skala DAS atau Daerah Tangkapan Air (DTA), dampak penggunaan lahan terhadap respons hidrologi DAS digambarkan oleh perilaku aliran (debit) sungai atau hasil air (*water yield*). Perilaku debit sungai atau hasil air umum digambarkan oleh hidrograf yang menggambarkan hubungan debit dengan waktu (grafik perilaku debit sungai dalam periode waktu tertentu).

Hidrograf dua DTA yang didominasi oleh kebun sawit (DTA-sawit) dan kebun karet (DTA-karet) hasil pengukuran pada 7–20 Nov 2013 disajikan dalam Gambar 6 (Merten *et al.* 2016).

Hidrograf menunjukkan pola respons hujan-debit yang serupa di dua DTA, yaitu perubahan debit sungai di kedua DTA tersebut terjadi pada waktu yang sama, sebagai respons terhadap hujan yang terjadi. Namun, berbeda dalam hal debit puncak (Q_p) dan selisih Q_p dengan debit awal (Q_o). Secara umum, debit sungai DTA-sawit (l/detik/ha) lebih rendah dibandingkan dengan debit sungai DTA-karet. Demikian juga Q_p Sungai DTA-sawit lebih rendah dibandingkan dengan Q_p Sungai DTA-sawit, yaitu ketika hujan > 60 mm, Q_p Sungai DTA-karet mencapai 36,9 liter/detik/ha, sedangkan Q_p -sawit hanya 21,2 l/detik/ha. Peningkatan debit dari Q_o menjadi Q_p di DTA-karet $\pm 30,9-6$, sedangkan di DTA-sawit $\pm 20,2$ l/detik/ha. Selisih Q_p-Q_o menunjukkan jumlah hujan yang menjadi aliran langsung (DRO) di sungai. Jumlah DRO DTA-karet selalu lebih besar daripada DRO DTA-sawit. Fenomena tersebut dari segi kerentanan terhadap bahaya banjir menunjukkan bahwa DTA-karet lebih rentan dibandingkan dengan DTA-sawit.



Gambar 6. Hidrograf di DTA_sawit dan DTA_karet
(Sumber: Merten *et al.* 2016)

Perbedaan kedua hidrograf tersebut disebabkan oleh intersepsi (I_c) kebun sawit lebih tinggi (28% hujan) dibandingkan dengan I_c kebun karet (17% hujan) (Merten *et al.* 2016), sehingga curah hujan yang sampai di tanah mineral di DTA-karet lebih banyak dibandingkan dengan DTA-sawit, dan laju infiltrasi (I) tanah di DTA-sawit dan DTA-karet masing-masing 7 cm/jam dan 3 cm/jam.

Respons hidrologi DTA yang didominasi oleh hutan hujan tropis berbeda sangat nyata apabila dibandingkan dengan DTA yang didominasi oleh perkebunan atau penggunaan lahan lain (bukan hutan hujan tropis). Dengan input curah hujan yang sama, Q_p dan selisih $Q_p - Q_o$ di DTA hutan hujan tropis lebih kecil dibandingkan dengan DTA bukan hutan hujan tropis, sedangkan Q_o DTA hutan hujan tropis lebih tinggi.

Hutan hujan tropis memiliki struktur tajuk yang kompleks dan berlapis, serta tanah yang kaya akan bahan organik, sehingga memiliki kapasitas infiltrasi yang tinggi. Struktur tajuk yang kompleks menyebabkan intersepsi yang tinggi. Intersepsi tajuk hutan hujan tropis dapat mencapai 52,8% dari curah

hujan (Dietz *et al.* 2006). Penelitian lain di tempat yang sama (Taman Nasional Lore Lindu) menunjukkan hasil yang sama, yaitu intersepsi tajuk hutan mencapai 44,2% dari curah hujan (Rauf *et al.* 2008). Variasi nilai intersepsi disebabkan oleh adanya variasi dalam hal sifat hujan dan kerapatan tajuknya. Setiap pengurangan tajuk pohon akibat penebangan pohon (*logging*) menurunkan kapasitas intersepsi menjadi 19–28,6% dari curah hujan (Dietz *et al.* 2006).

Tingginya intersepsi hutan hujan tropis menyebabkan hujan lebih banyak hilang sebagai *ET*, daripada yang sampai di permukaan tanah mineral, dan hujan yang sampai di tanah mineral lebih banyak meresap ke dalam tanah daripada yang mengalir sebagai limpasan permukaan (*SRO*) (Fan *et al.* 2019). Sehingga fluktuasi debit di musim hujan dan musim kering relatif kecil. Sedangkan dengan berkurangnya kapasitas intersepsi tajuk, seperti intersepsi di kebun atau hutan monokultur, hujan yang hilang sebagai *ET* lebih sedikit, dan hujan yang sampai di tanah mineral lebih banyak menjadi *SRO* daripada yang masuk ke dalam tanah, sehingga fluktuasi debit di musim hujan dan musim kering relatif besar dibandingkan dengan hutan hujan tropis. Peningkatan *SRO* dapat mencapai 21% dan diikuti oleh peningkatan hasil sedimen sebesar 16,9% (Asmara dan Randhir 2024).

Sifat tanah, sistem perakaran, dan serasah di hutan hujan tropis menciptakan kapasitas infiltrasi tinggi yang dapat mencapai 43 cm/jam, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas infiltrasi tanah di kebun sawit dan karet yang hanya 3–7 cm/jam (Merten *et al.* 2016). Pandangan umum mengenai peran hidrologi hutan, yaitu bahwa kompleks tanah hutan, sistem perakaran, dan serasah berfungsi layaknya “spons” yang menyerap air saat musim hujan dan melepaskannya secara bertahap selama musim kemarau. Ketika hutan dibuka, “efek spons” ini hilang akibat percepatan oksidasi

bahan organik tanah, pemadatan oleh alat berat atau aktivitas penggembalaan, dan faktor lainnya (Lal 1987), yang pada akhirnya menyebabkan penurunan hasil air.

Pandangan umum tersebut tidak selalu benar, terutama dalam hal air yang masuk ke dalam tanah akan dilepaskan perlahan pada saat kemarau sebagai aliran dasar sungai. Pelepasan air tanah ke dalam sistem sungai tidak hanya dipengaruhi oleh jenis penggunaan lahannya, tetapi juga oleh sifat geohidrologi di DAS atau DTA (Bruijnzeel 2004).

Berdasarkan sifat hidrologi hutan hujan tropis dan bukan hutan hujan tropis (kebun sawit, karet, hutan tanaman, permukiman, dan lainnya), implikasi dari perubahan hutan hujan tropis alami akibat pemanenan kayu atau konversi menjadi bukan hutan hujan tropis (*forest degradation, deforestation*) ini adalah meningkatnya potensi kejadian banjir dan kekeringan ekstrem. Namun demikian, penting untuk dicatat bahwa dampak perubahan tersebut tidak semata-mata ditentukan oleh jenis tanaman, melainkan oleh perubahan sistem penggunaan lahan secara keseluruhan, khususnya konversi dari hutan hujan tropis menjadi berbagai bentuk penggunaan lahan lainnya.

Dalam beberapa kasus, respons hidrologi kebun sawit menunjukkan karakter yang tidak selalu lebih ekstrem dibandingkan dengan kebun komoditas lain, seperti karet. Kebun sawit dapat memiliki debit puncak yang relatif lebih rendah dan aliran langsung yang lebih kecil dibandingkan dengan kebun karet, meskipun hal ini sangat bergantung pada kondisi lokasi dan sebaran ruang dalam skala lanskap DAS.

Dengan demikian, perubahan respons hidrologi DAS perlu dipahami sebagai hasil dari interaksi antara struktur vegetasi, kondisi tanah, dan praktik pengelolaan lahan, bukan semata-mata sebagai akibat dari keberadaan satu jenis tanaman tertentu.

PENUTUP

Berdasarkan hasil kajian yang telah disampaikan, dapat dilihat bahwa pemahaman mengenai penggunaan air pada kelapa sawit tidak dapat disederhanakan hanya pada satu aspek atau satu skala pengamatan.

Pada tingkat individu tumbuhan, laju transpirasi kelapa sawit berada dalam kisaran yang relatif moderat dan sebanding dengan berbagai jenis tanaman lainnya. Dengan demikian, anggapan bahwa kelapa sawit merupakan tanaman yang secara inheren “boros air” tidak sepenuhnya didukung oleh bukti fisiologis.

Namun, ketika analisis diperluas ke tingkat kebun dan lanskap, khususnya dalam konteks DAS, perubahan dalam keseimbangan hidrologi memang dapat terjadi. Perubahan tersebut terutama berkaitan dengan konversi hutan hujan tropis menjadi sistem penggunaan lahan lain, yang mengubah struktur vegetasi, sifat tanah, serta dinamika aliran air.

Dalam konteks ini, penting untuk menempatkan isu kelapa sawit dalam kerangka yang lebih luas, yaitu sebagai bagian dari sistem lanskap yang kompleks. Penggunaan air tidak hanya ditentukan oleh jenis tanaman, tetapi juga oleh interaksi antara vegetasi, tanah, iklim, dan praktik pengelolaan.

Oleh karena itu, pendekatan yang lebih komprehensif dan berbasis sistem menjadi kunci dalam memahami dan mengelola dinamika hidrologi pada lanskap tropis. Upaya pengelolaan yang mempertimbangkan fungsi hidrologis, konservasi tanah dan air, serta struktur vegetasi yang lebih beragam dapat menjadi langkah penting dalam menjaga keseimbangan sistem tersebut.

Pada akhirnya, isu mengenai kelapa sawit dan sumber daya air tidak seharusnya dilihat secara hitam putih, melainkan sebagai bagian dari dinamika sistem ekologis yang saling terhubung. Pemahaman yang lebih utuh dan berbasis ilmiah diharapkan dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan yang lebih bijaksana dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmara B, Randhir TO. 2024. Modeling the impacts of oil palm plantations on water quantity and quality in the Kais River Watershed of Indonesia. *The Science of the Total Environment* 928: 172456. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172456>
- Asyura MF, June T, Salmayenti R. 2023. Bowen ratio and evapotranspiration dynamics of oil palm. *International Journal of Tropical Drylands* 7(1). doi: <https://doi.org/10.13057/tropdrylands/t070105>
- Ayutthaya SIN, Do F, Pannengpetch K, Junjittakarn J, Maeght J, Rocheteau A, Cochard H. 2010. Transient thermal dissipation method of xylem sap flow measurement: Multi-species calibration and field evaluation. *Tree Physiology*, 30(1):139–148. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpp092>
- Baldocchi DD. 2003. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: Past, present, and future. *Global Change Biology* 9(4):479–492. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00629.x>
- Basiron Y. 2007. Palm oil production through sustainable plantations. *European Journal of Lipid Science and Technology* 109(4):289–295. doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.200600223>
- Bayona-Rodríguez CJ, Romero HM. 2016. Estimation of transpiration in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) with the heat ratio method. *Agronomía Colombiana* 34 (2):172–178. doi: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n2.55649>

- Binternagel NB, Juhbandt J, Koch S, Purnomo M, Schwarze S, Barkmann J, Faust H. 2010. Adaptation to climate change in Indonesia - livelihood strategies of rural households in the face of ENSO related droughts. In *Environmental Science and engineering* (pp. 351–375). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-00493-3_16
- [BPS 2025a] Badan Pusat Statistik. 2025. Ekspor Minyak Kelapa Sawit Menurut Negara Tujuan Utama, 2012–2024 - Tabel Statistik - Badan Pusat Statistik Indonesia (diunduh Januari 2026).
- [BPS 2025b] Badan Pusat Statistik. 2025. Statistik Tanaman Perkebunan Tahunan Indonesia 2024 (Kelapa Sawit, Kopi, Kakao, Karet, Teh, dan Komoditas Perkebunan Unggulan).
- Cienciala E, Kučera J, Malmer A. 2000. Tree sap flow and stand transpiration of two *Acacia mangium* plantations in Sabah, Borneo. *Journal of Hydrology* 236(1–2):109–120. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-1694\(00\)00291-2](https://doi.org/10.1016/s0022-1694(00)00291-2)
- Bruijnzeel L. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture Ecosystems & Environment* 104(1):185–228. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- Dierick D, Kunert N, Köhler M, Schwendenmann L, Hölscher D. 2010. Comparison of tree water use characteristics in reforestation and agroforestry stands across the tropics. In *Environmental Science and Engineering* (pp. 293–308). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-00493-3_13
- Dierick D, Hölscher D. 2009. Species-specific tree water use characteristics in reforestation stands in the Philippines. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(8):1317–1326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.03.003>

- Dietz J, Hölscher D, Leuschner C, **Hendrayanto**. 2006. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 237(1–3), 170–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.044>
- Fan Y, Meijide A, Lawrence DM, Roupsard O, Carlson KM, Chen HY, Röhl A, Niu F, Knohl A. 2019. Reconciling canopy interception parameterization and rainfall forcing frequency in the community land model for simulating evapotranspiration of rainforests and oil palm plantations in Indonesia. *J. Adv. Model. Earth Syst.* 11:732–751. doi: <https://doi.org/10.1029/2018MS001490>
- Fitzherbert E, Struebig M, Morel A, Danielsen F, Bruhl C, Donald P, Phalan B. 2008. How will oil palm expansion affect biodiversity? *Trends in Ecology & Evolution* 23(10):538–545. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.06.012>
- Granier A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Ann For Sci* 42:193–200.
- Hardanto A, Röhl A, Niu F, Meijide A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017a. Oil Palm and rubber tree water use patterns: Effects of topography and flooding. *Front. Plant Sci.* 8. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00452>
- Hardanto A, Röhl A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017b. Tree soil water uptake and transpiration in mono-cultural and jungle rubber stands of Sumatra. *For. Ecol. Manage.* 397: 67–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.032>

- Isaac ME, Ulzen-Appiah F, Timmer VR, Quashie-Sam SJ. 2007. Early growth and nutritional response to resource competition in cocoa-shade intercropped systems. *Plant and Soil* 298(1–2):243–254. doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-007-9362-x>
- June T, Meliala MAS, Prasetyo TB. 2023. Bowen ratio and evapotranspiration dynamics of oil palm. *Int. J. Trop. Drylands* 7:28–37. doi: <https://doi.org/10.13057/tropdrylands/t070105>
- Kobayashi N, Kumagai T, Miyazawa Y, Matsumoto K, Tateishi M, Lim TK, Mudd RG, Ziegler AD, Giambelluca TW, Yin S. 2014. Transpiration characteristics of a rubber plantation in central Cambodia. *Tree physiology* 34(3): 285–301. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu009>
- Koh LP, Wilcove DS. 2008. Is oil palm agriculture really destroying tropical biodiversity? *Conservation Letters* 1(2):60–64. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1755-263x.2008.00011.x>
- Köhler M, Hanf A, Barus, **Hendrayanto**, Holscher D. 2014. Cacao trees under different shade tree shelter: Effects on water use. *Agroforest Syst.*, 88:63–73. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9656-3>
- Köhler M, Dierick D, Schwendenmann L, Holscher D. 2009. Water use characteristics of cacao and *Gliricidia* trees in an agroforest in Central Sulawesi, Indonesia. *Ecohydrology* 2(4):520–529. doi: <https://doi.org/10.1002/eco.67>
- Kristanto A, Tarigan SD, Wahjunie ED, Murtillaksono K. 2021. Evaluation of different runoff curve number (CN) approaches on water regulation services assessment in intermittent micro catchment dominated by oil palm plantation. *J. Agromet Indones.* 35:73–88. doi: <https://doi.org/10.29244/J.AGROMET.35.2.73-88>

- Kumala TB, June T, Stiegler C, Khol A. 2019. Application of the Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) for spatial analysis of evapotranspiration in a commercial oil palm plantation in Jambi Province, Indonesia”, Proc. SPIE 11372, 6th International Symposium on LAPAN-IPB Satellite, 1137212 (24 December 2019); doi: <https://doi.org/10.1117/12.2540161>
- Lal R. 1987. *Tropical Ecology and Physical Edaphology*. New York (US): Wiley. p. 732.
- Ma L, Lu P, Zhao P, Rao X, Cai X, Zeng X. 2008. Diurnal, daily, seasonal and annual patterns of sap-flux-scaled transpiration from an *Acacia mangium* plantation in South China. *Annals of Forest Science* 65(4):402. doi: <https://doi.org/10.1051/forest:2008013>
- Lin BB, Perfecto I, Vandermeer J. 2008. Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *BioScience* 58(9):847–854. doi: <https://doi.org/10.1641/b580911>
- Majid MR, Jamaludin S, Wan Yusof K. 2013. Hydrological impact of large scale conversion of rubber to oil palm plantation.
- Manoli G, Mejjide A, Huth N, Knohl A, Kosugi Y, Burlando P, Ghazoul J, Fatichi S. 2018. Ecohydrological changes after tropical forest conversion to oil palm. *Environmental Research Letters* 13(6):064035. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac54e>
- Meijaard E, Virah-Sawmy M, Newing H, Ingram V, Holle M, Pasmans T, Omar S, Van Den Hombergh H, Unus N, Fosch A, De Arruda HF, Allen J, Tsagarakis K, Ogwu M, Diaz-Ismael A, Hance J, Moreno Y, O’Keeffe S, Slavin J, . . . Sheil D. 2024. *Exploring the future of vegetable oils: oil crop implications: fats, forests, forecasts, and futures*. <https://doi.org/10.2305/kfja1910>

- Meijide A, Badu CS, Moyano F, Tiralla N, Gunawan D, Knohl A. 2018. Impact of forest conversion to oil palm and rubber plantations on microclimate and the role of the 2015 ENSO event. *Agricultural and Forest Meteorology* 252:208–219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.013>
- Meijide A, Röhl A, Fan Y, Herbst M, Niu F, Tiedemann F, June T, Rauf A, Hölscher D, Knohl A. 2017. Controls of water and energy fluxes in oil palm plantations: Environmental variables and oil palm age. *Agric. For. Meteorol.* 239:71–85. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.034>
- Merten J, Röhl A, Guillaume T, Meijide A, Tarigan S, Agusta H, Dislich C, Dittrich C, Faust H, Gunawan D, Hein J, **Hendrayanto**, Knohl A, Kuzyakov Y, Wiegand K, Hölscher D. 2016. Water scarcity and oil palm expansion: Social views and environmental processes. *Ecology and Society*, 21(2). doi: <https://doi.org/10.5751/es-08214-210205>
- Murphy DJ. 2025. Agronomy and environmental sustainability of the four major global vegetable oil crops: Oil palm, soybean, rapeseed, and sunflower. *Agronomy* 15(6):1465. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy15061465>
- Niu F, Röhl A, Hardanto A, Meijide A, Köhler M, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2015. Oil palm water use: Calibration of a sap flux method and a field measurement scheme. *Tree Physiol.* 35(5):563–573. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv013>
- Niu F, Röhl A, Meijide A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017. Rubber tree transpiration in the lowlands of Sumatra. *Ecohydrology* 10(7). doi: <https://doi.org/10.1002/eco.1882>

- Perfecto I, Armbrecht I, Philpott SM, Soto-Pinto L, Dietsch TV. 2007. Shaded coffee and the stability of rainforest margins in northern Latin America. In *Environmental science and engineering* (pp. 225–261). doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-30290-2_12
- Pradiko I, Rahutomo S, Farrasati R, Ginting EN, Hidayat F, Syarovy M. 2022. Transpiration of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) based on sap flow measurement: The relation to soil and climate variables. *J. Oil Palm Res.* 34:445–456. doi: <https://doi.org/10.21894/jopr.2022.0035>
- Rao GG, Rao PS, Rajagopal R, Devakumar AS, Vijayakumar KR, Sethuraj MR. 1990. Influence of soil, plant, and meteorological factors on water relations and yield in *Hevea brasiliensis*. *International Journal of Biometeorology* 34(3):175–180. doi: <https://doi.org/10.1007/bf01048717>
- Rauf A, Pawitan H, June T, Kusmana C. 2008. Intersepsi curah hujan di hutan hujan tropis: Studi kasus di Taman Nasional Lore Lindu, Sulawesi Tengah. *J. Ilmu. Pert. Indonesia* 13(1):21–31. ISSN 0853-4217.
- Rinandyta K, June T. 2025. Water use efficiency and adaptive responses of oil palm under el niño-induced drought and haze. *Agromet* 39(2):86–94. DOI: <https://doi.org/10.29244/j.agromet.39.2.86-94>
- Röll A, Niu F, Meijide A, Ahongshangbam J, Ehbrecht M, Guillaume T, Gunawan D, Hardanto A, **Hendrayanto**, Hertel D, Kotowska MM, Kreft H, Kuzyakov Y, Leuschner C, Nomura M, Polle A, Rembold K, Sahner J, Seidel D, Zemp DC, Knohl A, Hölscher D. 2019. Transpiration on the rebound in lowland Sumatra. *Agric. For. Meteorol.* 274:160–171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.04.017>

- Röll A, Niu F, Meijide A, Hardanto A, **Hendrayanto**, Knohl A, Hölscher D. 2015. Transpiration in an oil palm landscape: Effects of palm age. *Biogeosciences* 12(19):5619–5633. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-12-5619-2015>
- Siddiq Z, Tomlinson KW, Zhu S, Cao K. 2019. Does fluctuation of meteorological conditions across years influence stand transpiration of *Tectona grandis* plantation? *Ecohydrology* 12(6). doi: <https://doi.org/10.1002/eco.2116>
- [USDA 2025]. United States Department of Agriculture. 2025. Oilseeds: World Markets and Trade. oilseeds.pdf

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan yang berbahagia ini saya memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah *Subhanahu wata'ala* yang telah memberikan taufik, karunia dan hidayah-Nya kepada saya sehingga saya dapat mencapai tahapan ini yaitu menjadi salah satu Guru Besar di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan (FAHUTAN) Institut Pertanian Bogor (IPB). Saya menyadari bahwa jabatan ini tidak dapat saya capai tanpa doa dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dari lubuk hati yang paling dalam, perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi bantuan, dukungan dan doa kepada saya selama ini.

Saya menyampaikan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah menetapkan saya sebagai Guru Besar Tetap di Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (FAHUTAN IPB) dalam Bidang Hidrologi Hutan dan Daerah Aliran Sungai mulai tanggal 1 Juni 2025. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Rektor, para Wakil Rektor, Sekretaris Institut IPB beserta jajarannya; Pimpinan Majelis Wali Amanat; Pimpinan Dewan Guru Besar; Pimpinan Senat Akademik IPB; Pimpinan Senat FAHUTAN IPB; Lembaga Manajemen Informasi dan Transformasi Digital (LMITD); Dekan dan Wakil Dekan FAHUTAN IPB beserta jajarannya; Direktur Sumberdaya Manusia; Ketua dan Sekretaris Departemen Manajemen Hutan FAHUTAN IPB beserta jajarannya, serta Pejabat Struktural lainnya di IPB yang telah memberikan kesempatan, motivasi, dan persetujuan dalam pengajuan kenaikan jabatan saya ke Guru Besar.

Saya sampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada dosen, Ketua Tata Usaha dan tenaga kependidikan di Departemen Manajemen Hutan FAHUTAN IPB yang telah banyak memberikan motivasi, kesempatan dan bantuan kepada saya untuk berkarya yang mendukung pencapaian saya saat ini. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan Bapak dan Ibu.

Pencapaian yang saya raih saat ini juga tidak terlepas dari peran guru-guru saya. Untuk itu saya menyampaikan terima kasih dan rasa hormat kepada Bapak dan Ibu guru di SDN 2 Ciamis, SMPN 1 Ciamis, dan SMAN 1 Ciamis. Terima kasih dan rasa hormat saya haturkan kepada pembimbing skripsi saya di Jurusan Manajemen Hutan, Fahutan IPB, Ir. Syafii Manan, M.Sc. (alm); Ir. Endang Ahmad Husaeni (alm.); dan Dr. Ngaloken Ginting (alm); pembimbing Program Post Graduate di ITC-Enschede, The Netherlands, Dr. Komarsa Gandasmita, M.Sc. (alm), pembimbing tesis Program Master dan Disertasi Program Doktoral di Laboratorium *Erosion Control Engineering*, Divisi Penelitian Pertanian, Kehutanan dan Biomaterial Sciences, Sekolah Pascasarjana, Universitas Kyoto, Jepang, Prof. Dr. Sumiji KOBASHI; Prof. Dr. Takahisa MIZUYAMA, Prof. Dr. Ken'ichiro KOSUGI, dan juga kolega di Laboratorium *Erosion Control Engineering*, dan Laboratorium *Forest Hydrology*, Prof. Makoto TANI, Prof. Dr. Ohte NOBUHITO, Dr. Yoshiko KOSUGI, Mr. Uchida, Mr. Tanaka, Mr. Nishida, Mr. Masanori KATSUYAMA, Ms. Asano, Ms. Masuda, dan Ms. Fukuda.

Terima kasih saya sampaikan kepada Dr. Yahya Fakuara (alm) yang telah mendorong, memberi kesempatan kepada saya untuk menjadi dosen di Jurusan Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan IPB, juga terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Endang Suhendang (alm) yang selalu membantu dalam banyak hal semenjak menjadi dosen muda,

dan selalu mendorong saya untuk melanjutkan sekolah, mencapai Guru Besar, demikian juga kepada Ir. Suwarno Sutaraharja (alm), Ir. A Hadjib (alm), Ir. Chamim Mashar, MM (alm), Ir. Cecep Ukman (alm), dan Prof. Dr. Dodi Nandika yang telah banyak memberikan bantuan, pelajaran kepada saya sebagai dosen muda. Juga terima kasih kepada Dr. Omo Rusdiana, Dr. Nana A. Jaya (alm), Dr. Teddy Rusolono, Dr. Budi Kuncahyo rekan-rekan seperjuangan sebagai dosen muda dalam menginisiasi penelitian, kerja sama penelitian, pengabdian masyarakat, Prof. Dr. I Nengah Surati Jaya teman seperjuangan mendapatkan beasiswa studi lanjut di ITC-Enschede, Dr. Fanani-UGM (alm) yang telah merekomendasikan studi lanjut di Jepang, Dr. Upik Rosalina yang telah memberi kesempatan untuk terlibat dalam proyek deforestasi menggunakan SPOT, mendorong melanjutkan studi Post Doctoral di Kyoto University.

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Prof. Dr. Rubini Atmawijaya (alm), Prof. Dr. Gunarwan Suratmo (alm), Prof. Dr. Zahrial Cotto, Prof. Dr. Dudung Darusman, Prof. Dr. Yusuf Sudohadi, Prof. Dr. Cecep Kusmana, Prof. Dr. Aman Wirakartakusuma, Prof. Dr. A. Anshori Mattjik, Prof. Herry Suhardiyanto, Prof. Arif Satria, Prof. Dr. A. Chozin, Prof. Dr. Hermanto Siregar, Prof. Dr. Asep Saefudin, Prof. Dr. Drajat Martianto, Prof. Dr. Tridoyo Kusumastanto, Prof. Dr. Fauzi Febrianto (alm), Prof. Dr. Yusram Massijaya (alm), dan Prof. Dr. Evy Damayanthi yang telah memberikan pelajaran kepemimpinan kepada saya.

Saya sampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. M. Buce Saleh (alm), Prof. Dr. Hariadi Katodihardjo (alm), Prof. Dr. Bramasto Nugroho, Prof. Dr. Sudarsono Soedomo, Prof. Dr. Endriatmo Sutarto, Dr. Suryo Adiwibowo, Ir. Haryanto R Putro, MS, Prof. Dr. Naresworo Nugroho, Dr. Rina Mardiana, Dr. Nandi Koesmaryandi yang telah memperkaya khasanah keilmuan

sosial ekonomi, kebijakan-kelembagaan, keagrariaan, ekologi politik. Juga kepada Ir. Budi Prihatno, MS (alm), Ir. Agus B Wibowo, Ir. Yusup Napili, Syamsul, S.Hut, Kasuma Wijaya, S.Hut, Aswita L, S.Hut., MS, Siti Hadidijah, S.KPM, M.Si., Etrin H.S., S.Hut., MS, M. Irsyad K.S., S.Hut, Elfara D.S, S.Hut., G. Ari M, PhD, Adi D.B., S.Hut., MS, Ginastri P., S.Hut, Hana N.T., S.Hut., Khalifatu A.R., S.Hut., Mahresta, S.Hut., Yaumi Y, S.Hut. saya ucapkan terima kasih atas kerja sama yang telah dilaksanakan dalam membuka ruang diskusi kelembagaan kehutanan dan membangun jejaring kerja.

Saya sampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Hidayat Pawitan yang telah mengajari saya dalam membangun kerja sama penelitian dengan UNESCO dan universitas di Jepang melalui JSPS-DGHE *Joint Research Project*, dan terima kasih kepada Prof. Dr. Tadashi TANAKA, Dr. Akihiko KONDO, Dr. Tsutomu YAMANAKA (Tsukuba University), Prof. Dr. Ken'ichirou KOSUGI dan Ohte NOBUHITO (Kyoto University) yang telah bekerja sama dengan baik dalam membangun kerja sama penelitian lintas universitas.

Terima kasih saya sampaikan juga kepada Prof. Damayanti Buchori yang telah memperkenalkan saya pada proyek Kerja Sama Penelitian dengan Göttingen University melalui Proyek Stability of Rainforest Margins in Indonesia (STORMA) dan berlanjut ke Proyek CRC990: EFForTS [*Collaborative Research Centre 990: Ecological and Socioeconomic Functions of Tropical Lowland Rainforest Transformation Systems (Sumatra)*] yang juga melibatkan Univ. Tadulako, Univ. Jambi, dan LIPI. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Dr. Aiyen Tjoa (Univ. Tadulako) yang selalu membantu kelancaran kerja sama dalam Proyek STORMA dan CRC990:EFForTS, Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng, sebagai *Scientific Affair*, Prof. Dr. Christoph Kleinn sebagai Dekan Fakultas Ilmu Kehutanan dan Ekologi Hutan (2009–2011), Prof.

Christoph Leuschner, Prof. Dirk Hölscher, yang telah bekerja sama selama 20 tahun sebagai *Principal Investigator* dalam kerangka Penelitian STORMA dan EFForTS. Terima kasih juga saya sampaikan kepada Dr. Johannes Dietz, Dr. Luitgard Schwendenmann (Peneliti STORMA), Dr. Alexander Röhl, Dr. Afik Hardanto Medha Bulusu, Pallavi, Thorge Wintz, Dr. Joyson Ahongshangbam, Dr. Florian Ellsäßer, Dr. Niu Furong dan Tongming Kang (Peneliti EFForTS), dan Dr. Ting Ting Mei.

Terima kasih saya sampaikan juga kepada Prof. Ho Sang Kang, Prof. LEE Don Koo, M.S Kaban, Prof. Hadi Pasaribu, Dr. Boen Purnama yang telah membantu saya dalam membangun kerja sama pendidikan, penelitian dengan Seoul National University melalui KOICA (*Korea International Cooperation Agency*), AFoCO (*Asian Forest Cooperation Organization*), dan Kementerian Kehutanan RI.

Terima kasih dan penghargaan saya haturkan kepada Prof. Dr. Ir. Sudarsono Soedomo, M.S, MPPA, Departemen Manajemen Hutan FAHUTAN IPB dan Prof. Dr. Ir. Tania June, M.Sc. Departemen Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, IPB yang telah berkenan menelaah, mengoreksi dan memberikan masukan yang sangat bermanfaat bagi perbaikan naskah orasi ini.

Saya juga menyampaikan terima kasih kepada teman-teman alumni SDN 2 Ciamis tahun 1973 (Maman, Iman, Ikit, Isye dan lainnya), SMPN 1 Ciamis tahun 1976 (Teddy, Idin, Endang S, Ani M, Lely N, Mirawati, Asen, Tedi, Darman, Ikit, Yeti M, Eti R, N. Suhaedah, Teti M, Devi, Luti, Anang dan lainnya), SMAN 1 Ciamis tahun 1980 (Darman, Undang, Teddy SP, Teddy Endut, Hari Prim, Heri Panjul, Soleh, Memen, Nandang, Nana, Dedi, Yari, Devy, Indarini, Lia, Lia Imran, Yuyu, Henny, Ucu, Melly, Yeni, Iyos, Dace, Irwan, Tantan, Asen, Mira, Rosidin, dan lainnya), K-ONE TPB IPB 1980

(Donny, Beni, Nenep, Budiono (alm), Asep (alm), Kiki, Julio, Dones, Djohni, Titin, Elvi, Arin, Nunny, Nuniek, Amalia, Ida, Galuh, Mala, Ketty, Zulhaida, Ratih, Ai, Popo, Soso, Budi Prati, Dita, Dwi Hesti, Heni, Icha, Nurianty, Suratun, Endang S, Betty, Elya, Anita, Tyas (almh), Budi S, BuKun, Bejo, Budi K (alm), Nengah, Fuad, Nadjib (alm), Tito (alm), Nadjik (alm), Herudojo, Totok S, T. Suprayitno, Ujang S., Daeng Lukman, Adi, E Aruman, Eddy B, Syahroni, Firman, dan lainnya), E17++ (Elan, Doddy, Asen, Rafles, Herman, Yedi, Yudi, Chandra, Broto, Dadang Emprit, Agus Ril, A Darmono, A Priambudi, Heru, Sueb, Kobul, Cipta, Atang, Andri, Halen, Herudoyo, Deswan, Johni, Adnan, Abidin, Djati, Bejo, Dicky, Azis, Dones, Bramasto, Nengah, BuKun, Nyoto, Narmodo, Joko P, Joko S, Judianto, Mulyadi, Prabianto, Rufii, Suwarno, Sambusir, Pahlevi, Ullly, Didit, Sri H, Yanuar, Y Rio, Zuwendra, Bustami, Bustomi, Jaja, Mirza, Zulfikar, Yuri, Ais, Ucy, Dini, Nani, Retno, Nilda, Ida, Zulhaida, Yeni, Tine, Arti, Irma, Kesi, Festri, Eka, Erna, Mira, Reni, Sona, B Prati, dan lainnya), ITC-Enshede 1990 (Mas Satrio-Joy, Kang Yendi, Kang Dedi, Kang Dayat, Kang Delinom, Bu Sarwo Asih, Bu Rini, Bitu, Yola, dan rekan penghuni DISH Hotel 1989–1990 lainnya), KyoDai 1993 (Ernan, Sugeng, Bambang, Wahyu (alm), Ridwan, Indra, Maisyaf, Fajri, Bagus Endar, Pak Salip, Pak Untung, Bu Sudiyani, Dani, Nelson, A Gafur, Punggungono, I Lubis, Iwan, Pak Dimyati, Huda, Sarwadi, Seca, Pak Hafnan, Mas Aki (alm), Harsiwi, Sayuri, Eliani, D Iswantini, Elly, Leni, Bu Shita, Sogar, Pak Sani, Pak Thomas, Tri Asmira, Bu Ratih Dimyati, Bu Neni, dan kawan-kawan PPI Kansai 1993–2000 lainnya), rekan-rekan di FKP DAS Cisadane (Bu Chisteen, Bu Luluk S, Pak Danisworo, Pak Doddy, Uda Djonly, Pak Eman, Uni Nilda, Bu Rara, Yuwida, Bu Yuni, Ani dan lainnya), dan rekan-rekan The5-BTC (Prof. Deded, Prof. Nyoman, Dr. Muhdin, Mas Pryanto, Mas Luthfi, dan Kang Dodi, Pak Basuki).

Dengan kerendahan hati, saya menghaturkan terima kasih dari lubuk hati yang paling dalam kepada yang tercinta, Ibunda Kustilah dan Ayahanda, Bapak Sukarno, BA (almarhum) yang telah berjuang membesarkan, mengasuh, mendidik, dengan kasih sayang, memberikan motivasi dan mendoakan saya sehingga saya dapat meraih pencapaian ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada adik-adik saya, Ine Anggraeni, Ike Yuniawati, dan Dudi Susanto.

Ucapan terima kasih dari lubuk hati yang paling dalam saya haturkan kepada istri, Ir. Noviatrini (almarhumah), Azizah, S.Hut., M.P., yang telah dengan sabar memberikan motivasi, bantuan dan doa dalam perjalanan karier saya. Terima kasih disampaikan juga kepada anak kami, Oki Novendra, atas doa dan dukungannya. Pencapaian ini saya persembahkan untuk ibunda, ayahanda, dan adik-adik, istri dan anakku.

Saya sampaikan terima kasih kepada keluarga besar mertua Ibu Yuliana (Almarhumah) dan Bapak Karamah (Almarhum), kakak-kakak ipar (Almarhumah, Almarhum), keponakan Rita, Ridha, Rima, Ridho, beserta keluarga masing-masing, keluarga besar mertua, Ibu Anis Afifah, Bapak Ahmad Thonthowi Jauhari, kakak-adik ipar Teh Pipit-Kak Ridho Maki, Teh Rosidah-Muh Hanif, Nafisah-Kamal atas doa dan dukungannya.

Terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada seluruh panitia orasi ilmiah Guru Besar ini dan seluruh staf atas fasilitas dan bantuan yang diberikan dalam penyelenggaraan orasi ilmiah ini. Selanjutnya, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah berjasa dalam perjalanan hidup saya sampai menjadi Guru Besar yang belum saya sebutkan satu per satu.

Kepada Bapak, Ibu, dan hadirin sekalian, saya menghaturkan terima kasih atas berkenannya untuk menghadiri acara orasi ilmiah ini. Semoga Allah SWT membalas amal kebaikan Bapak/Ibu sekalian dengan pahala yang berlipat ganda. Mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada hal-hal yang tidak berkenan. Semoga orasi ilmiah ini bermanfaat bagi kita semua, khususnya dalam upaya pengelolaan DAS yang bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan. *Aamiin ya Robbal 'alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Foto Keluarga



Depan: Ibunda (Kustilah)

Di Belakang berdiri dari kiri ke kanan:
Hendrayanto, Oki Novendra (anak), Azizah (istri)

Riwayat Hidup

Identitas Diri

Nama Lengkap : Hendrayanto
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat/Tgl.Lahir : Ciamis, 26 November 1961
Agama : Islam
Jabatan Fungsional : Guru Besar, terhitung sejak 1 Juni 2025
Pangkat/Golongan : Pembina Tingkat I/ IV/b
NIP/ NIDN : 196111261986011001/0026116107
Nama orang tua : Ayah: Sukarno bin Sumadiwirjo
Ibu : Kustilah binti Djajawisastra
Nama Istri : Azizah, S.Hut., MP
Ir. Noviatrri (almarhumah)
Nama Anak : Oki Novendra
Alamat Kantor : Departemen Manajemen Hutan,
Fakultas Kehutanan dan Lingkungan
Jalan Huni 16680 Kota Bogor Jawa Barat, Kampus IPB Darmaga Bogor
Telp./Fax : +62 251 8621244
E-mail : hendrayanto@apps.ipb.ac.id
Alamat Rumah : Pakuan Regency, Cluster Linggabuana
C6 No.1 RT/RW 02/07 Margajaya,
Bogor Barat, Kota Bogor 16116
Telp. : -
Mobile phone : 08128084552

Riwayat Pendidikan

| Jenjang Pendidikan | Penyelenggara dan Negara | Bidang Keahlian | Tahun Lulus |
|----------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Sarjana (S-1) | Fahutan IPB, Bogor Indonesia | Kehutanan | 1985 |
| Diploma Pascasarjana | ITC-Ensched The Netherlands | <i>Watershed Management</i> | 1990 |
| Magister (S-2) | Sekolah Pascasarjana Pertanian, Universitas Kyoto, Jepang | Hidrologi Hutan | 1996 |
| Doktor (S-3) | Sekolah Pascasarjana Pertanian, Universitas Kyoto, Jepang | Hidrologi Hutan | 1999 |

Judul Skripsi/Tesis/Disertasi

| | |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Judul Skripsi | Erosi dan Aliran Permukaan Agroforestri di Sub-DAS Citanduy Hulu |
| Judul Tesis | <i>Field Measurement of Hydraulic Properties</i> |
| Judul Disertasi | <i>Analyses on Spatial Variability In Hydraulic Properties of Forest Soil</i> |

Penghargaan yang Diterima

| No. | Tahun | Jenis Penghargaan | Pemberi Penghargaan |
|-----|-------|------------------------------------------|---------------------|
| 1. | 2006 | Satyalencana Karya Satya Dua Puluh Tahun | Pemerintah RI |
| 2. | 2018 | Satyalencana Karya Tiga Puluh Tahun | Pemerintah RI |

Pelatihan

| No. | Tahun | Pelatihan | Penyelenggara |
|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1. | 2025 | Bimbingan Teknis Pembuatan Embung di Areal PS HKM Tambak Ukir-Situbondo | BPLDH-FAHUTAN IPB |
| 2. | 2025 | Bimbingan Teknis Monitoring SPAS/ Monitoring Tata Air | Direktorat Perencanaan dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai |

Riwayat Pekerjaan

| No. | Instansi/Lembaga | Masa Kerja | | Jabatan/Posisi |
|-----|----------------------------------------------------------------|------------|---------------|----------------|
| | | Mulai | Sampai dengan | |
| 1. | Fak. Kehutanan IPB | 1986 | sekarang | Dosen |
| 2. | Program Studi Pascasarjana (<i>Master-Doctoral</i>) IPK | 2001 | 2002 | Sekretaris PS |
| 3. | Biro Administrasi Perencanaan dan Sistem Informasi-IPB | 2002 | 2003 | Kepala Biro |
| 4. | Kantor Perencanaan dan Evaluasi IPB | 2003 | 2007 | Kepala Kantor |
| 5. | Senat Akademik IPB | 2003 | 2008 | Anggota Komisi |
| 6. | Fak. Kehutanan IPB | 2007 | 2011 | Dekan |
| 7. | Forum Pimpinan Perguruan Tinggi Kehutanan Indonesia (FoReTika) | 2009 | 2011 | Ketua |
| 8. | Senat Fahutan IPB | 2014 | 2019 | Anggota |
| 9. | Forci-Dev, Fak. Kehutanan IPB | 2012 | sekarang | Wakil Direktur |

Riwayat Pekerjaan (lanjutan)

| No. | Instansi/Lembaga | Masa Kerja | | Jabatan/Posisi |
|-----|-------------------------------------------------------|------------|---------------|--------------------|
| | | Mulai | Sampai dengan | |
| 10. | Pusat Informasi Kehutanan-Fak. Kehutanan IPB | 2014 | 2020 | Direktur Eksekutif |
| 11. | FKP DAS Cisadane | 2022 | sekarang | Ketua |
| 12. | Program Studi Pascasarjana (<i>Master-Doctoral</i>) | 2023 | sekarang | Ketua |

Keikutsertaan dalam Organisasi Keilmuan atau Profesi

| No. | Tahun | Jenis>Nama Organisasi | Jabatan/Jenjang Keanggotaan |
|-----|---------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1. | 2019-sekarang | KOMHINDO | Anggota |
| 2. | 1995–2015 | PERSAKI | Anggota |

Kegiatan Pendidikan dan Pengajaran

| No. | Mata Kuliah | Jenjang |
|-----|--------------------------------------------|---------|
| 1. | Hidrologi Hutan | S-1 |
| 2. | Pengelolaan DAS Terpadu | S-1 |
| 3. | Jasa Hutan dalam Pengaturan Sumberdaya Air | S-1 |
| 4. | Dinamika Iklim Hutan | S-1 |
| 5. | Ekohidrologi | S-2 |
| 6. | Bio-Klimatologi | S-2 |

Pengalaman Membimbing Mahasiswa

| No. | Strata | Jumlah (orang) |
|-----|----------------|--------------------------------------|
| 1. | Sarjana (S-1) | > 75 (Lulus > 70, Sedang berjalan 5) |
| 2. | Magister (S-2) | 17 (Lulus 14, Sedang berjalan 3) |
| 3. | Doktor (S-3) | 5 (Lulus 5, Sedang berjalan 0) |

Kegiatan Penelitian

| No. | Tahun | Judul Penelitian | Sumber |
|-----|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. | 2012–2024 | Karakteristik Penggunaan Air oleh Sawit dalam Sistem Transformasi Hutan Hujan Dataran Rendah Tropis | Pemerintah Jerman-Indonesia untuk Proyek EFFoRT |
| 2. | 2018–2023 | Peran Vegetasi dalam Pengendalian Longsor | PMDSU-Indonesia |

Editor/Reviewer Jurnal

| No. | Cakupan | Jurnal | Tahun |
|-----|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| 1. | <i>Associate Editor</i> | Jurnal Manajemen Hutan Tropika | 2020-sekarang |
| 2. | <i>Reviewer</i> | Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (<i>Journal of Natural Resources and Environmental Management</i>) | 2020-sekarang |

Karya telah Memperoleh/Sedang Memproses Perlindungan Hak atas Kekayaan Intelektual (HaKI)/Patent

| No. | Tahun | Karya | Nomor SK | Pemberi Sertifikat/ Surat Keputusan |
|-----|-------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. | 2024 | Metode Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Model Hidro-Mekanik Vegetasi | No. Permohonan: S00202414186 | - |

Publikasi di Jurnal Ilmiah

- Ahongshangbam J, Hölscher D, **Hendrayanto**, Röhl A. 2025. Multi-Level temporal variation of SAP flux densities in oil palm. *Forests* 16(2):229. doi: <https://doi.org/10.3390/f16020229>
- Bulusu M, Ellsäßer F, Stiegler C, Ahongshangbam J, Marques I, **Hendrayanto**, Röhl A, Hölscher D. 2023. UAV-based thermography reveals spatial and temporal variability of evapotranspiration from a tropical rainforest. *Frontiers in Forests and Global Change* 6. doi: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1232410>
- Cortés-Molino A, Valdés-Uribe A, Ellsäßer F, Bulusu M, Ahongshangbam J, **Hendrayanto**, Hölscher D, Röhl A. 2023. Combining UAV thermography, point cloud analysis and machine learning for assessing small-scale evapotranspiration patterns in a tropical rainforest. *Ecohydrology* 17(1). doi: <https://doi.org/10.1002/eco.2604>
- Dietz J, Hölscher D, Leuschner C, **Hendrayanto**. 2006. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. *Forest Ecology and Management* 237(1–3):170–178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.044>
- Ellsäßer F, Stiegler C, Röhl A, June T, **Hendrayanto**, Knohl A, Hölscher D. 2021. Predicting evapotranspiration from drone-based thermography—a method comparison in a tropical oil palm plantation. *Biogeosciences* 18(3):861–872. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-18-861-2021>

- Fata YA, **Hendrayanto**, Erizal, Tarigan SD. 2025. Modeling of hydrological and mechanical effect of vegetation on landslide. *International Journal of Conservation Science* 16(2):1013–1034. doi: <https://doi.org/10.36868/ijcs.2025.02.17>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Febrianti N. 2022. Landslide frequency and its relationship with urban development in landform above groundwater basin area of Bogor, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 9(3):3561–3572. doi: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.093.3561>
- Fata YA, **Hendrayanto** H, Erizal, Tarigan SD, Wibowo C. 2022. Vetiver root cohesion at different growth sites in Bogor, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* 23(3). doi: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230360>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Kuncahyo B, Erizal, Tarigan SD. 2022. Characteristics and factors affecting surface and shallow landslides in West Java, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(1):3849. doi: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2022.101.3849>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Murti Laksono K, Erizal. 2021. The role of hydro-mechanical vegetation in slope stability: A review. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 794(1):012041. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012041>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Pratama YA, Erizal, Tarigan SD. 2023. Evaluation of the GASH rainfall interception model in forest plantations. *Journal of Hunan University Natural Sciences* 50(12). doi: <https://doi.org/10.55463/issn.1674-2974.50.12.3>

- Fata YA, **Hendrayanto**, Erizal, Tarigan SD, Katsumi T. 2023. Modelling of mechanical roots on slope stability. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(4): 4779–4790. doi: <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2023.104.4779>
- Hardanto A, Röhl A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017b. Tree soil water uptake and transpiration in mono-cultural and jungle rubber stands of Sumatra. *For. Ecol. Manage.* 397:67–77. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.032>
- Hardanto A, Röhl A, Niu F, Meijide A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017a. Oil palm and rubber tree water use patterns: Effects of topography and flooding. *Front. Plant Sci.* 8. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00452>
- Hendrayanto**, Fata YA, Askari M, Erizal, Tarigan SD, Suhartanto E. 2024. The pore water pressure changes on forested slopes in a tropical humid climate area. *Journal of Ecological Engineering* 26(1):121–136. doi: <https://doi.org/10.12911/22998993/195428>
- Hendrayanto**. 2025. Fostering disaster resilience through a dual strategy: Early warning-emergency response systems and ecological recovery. *Media Konservasi* 30(4):546. doi: <https://doi.org/10.29244/medkon.30.4.546>
- Iskandar W, **Hendrayanto**, Nizar ZM, Jung Y. 2023. Tingkat bahaya erosi dan status kesuburan lahan di area konsesi hutan tanaman industri di Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan* 25(2):46–55. doi: <https://doi.org/10.29244/jitl.25.2.46-55>
- Köhler M, Hanf A, Barus, **Hendrayanto**, Holscher D. 2014. Cacao trees under different shade tree shelter: Effects on water use. *Agroforest Syst.*, 88:63–73. doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-013-9656-3>

- Merten J, Röhl A, Guillaume T, Mejjide A, Tarigan S, Agusta H, Dislich C, Dittrich C, Faust H, Gunawan D, Hein J, **Hendrayanto**, Knohl A, Kuzyakov Y, Wiegand K, Hölscher D. 2016. Water scarcity and oil palm expansion: Social views and environmental processes. *Ecology and Society* 21(2). doi: <https://doi.org/10.5751/es-08214-210205>
- Niu F, Röhl A, Hardanto A, Mejjide A, Köhler M, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2015. Oil palm water use: Calibration of a sap flux method and a field measurement scheme. *Tree Physiol* 35(5):563–573. doi: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv013>
- Niu F, Röhl A, Mejjide A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2017. Rubber tree transpiration in the lowlands of Sumatra. *Ecohydrology* 10(7). doi: <https://doi.org/10.1002/eco.1882>
- Pallavi, Röhl A, Marques I, Ramadhani DN, Valdes-Uribe A, **Hendrayanto**, Hölscher D. 2024. Changes in leaf area index by tropical forest transformation to plantations increase below-canopy surface temperatures. *Global Ecology and Conservation* 53:e03001. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2024.e03001>
- Parlinah N, Nugroho B, Saleh MB, **Hendrayanto** H. 2018. Possibility of harnessing social capital to support the development of payment for environmental services in Small-Scale forests: a case of Jatigede catchment area. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Journal of Tropical Forest Management)* 24(2):70–80. doi: <https://doi.org/10.7226/jtfm.24.2.70>

- Röll A, Kang T, Hahn P, Ahongshangbam J, Ellsäßer F, **Hendrayanto**, Sharma P, Wintz T, Hölscher D. 2023. Complex canopy structures control tree transpiration: A study based on 3D modelling in a tropical rainforest. *Hydrological Processes* 37(12). doi: <https://doi.org/10.1002/hyp.15045>
- Röll A, Niu F, Mejjide A, Ahongshangbam J, Ehbrecht M, Guillaume T, Gunawan D, Hardanto A, **Hendrayanto**, Hertel D, Kotowska MM, Kreft H, Kuzyakov Y, Leuschner C, Nomura M, Polle A, Rembold K, Sahner J, Seidel D, Zemp DC, Knohl A, Hölscher D. 2019. Transpiration on the rebound in lowland Sumatra. *Agric. For. Meteorol.* 274:160–171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.04.017>
- Röll A, Niu F, Mejjide A, Hardanto A, **Hendrayanto**, Knohl A, Hölscher D. 2015. Transpiration in an oil palm landscape: Effects of palm age. *Biogeosciences* 12(19):5619–5633. doi: <https://doi.org/10.5194/bg-12-5619-2015>
- Setiajiati F, Hardjanto H, **Hendrayanto**. 2017. Strategies of community empowerment to manage protection forest sustainably. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 23(2):71–80. doi: <https://journal.ipb.ac.id/jmht/article/view/18342>
- Wahyullah W, **Hendrayanto**, Suharnoto Y. 2023. Simulation of the impact of land use change on surface run-off in Karst Leang Lonrong Sub-Watershed. *JPSL* 13(1):313–326. doi: <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.13.2.313-326>
- Wintz T, Röll A, Paterno GB, Ellsäßer F, Zemp DC, **Hendrayanto**, Irawan B, Knohl A, Kreft H, Hölscher D. 2025. Tree island area in oil palm agroforests directly and indirectly drives evaporative fraction, *EGUsphere* [preprint]. doi: <https://doi.org/10.5194/egusphere-2025-2596>

Publikasi di Prosiding Konferensi Internasional

- Agusta H, Handoyo GC, Sudaryanto MT, **Hendrayanto**. 2020. Cover crops and frond piles for improving soil water infiltration in oil palm plantations. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 460(1):012045. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/460/1/012045>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Murti Laksono K, Erizal. 2021b. The role of hydro-mechanical vegetation in slope stability: A review. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 794(1):012041. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/794/1/012041>
- Fata YA, Suhartanto E, **Hendrayanto**, Rubiantoro P. 2021. Seepage patterns in an earth-rock fill dam evaluation using electrical resistivity tomography (ERT) method. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 930(1):012090. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012090>
- Fata YA, **Hendrayanto**, Erizal, Tarigan SD. 2021. 2D and 3D ground model development for mountainous landslide investigation. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* 871(1):012057. doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/871/1/012057>

BUKU

1. **Hendrayanto**. 2013. Ekoregion, Bioregion, dan Daerah Aliran Sungai dalam Pembangunan Nasional Berkelanjutan. Dalam H. Kartodiharjo (Ed.), *Kembali ke Jalan Lurus: Kritik Penggunaan Ilmu dan Praktik Kehutanan Indonesia*. Forci Development–Tanah Air Beta.
2. **Hendrayanto**, Subagyono K, Pawitan H. 2010. Ciliwung River Flow Discharge and Flow Regime. Dalam T. Tanaka & H. Pawitan (Eds.), *Integrated Watershed Management for Sustainable Water Use in a Humid Tropical Region* (pp. 35–40). Terrestrial Environment Research Center, University of Tsukuba.
3. Haryanto, Saleh MB, **Hendrayanto**, Ichwandi I, Sudaryanto. 2003. *Sistem Insentif Rehabilitasi Lahan dalam Rangka Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Fakultas Kehutanan IPB.
4. Rusdiana O, Sudaryanto, Ichwandi I, Arifjaya NM, **Hendrayanto**, Soekmadi R. 2003. *Hubungan Kerja Sama Institusi dalam Pengelolaan Daerah Aliran Sungai: Kasus DAS Ciliwung*. Fakultas Kehutanan IPB.
5. Tengnäs B, Ghani ANA, **Hendrayanto**. 2008. *Sharing Knowledge on Markets, Landscapes, and Environmental Policies*. Swedish International Development Cooperation Agency.

Kegiatan Pengabdian pada Masyarakat

| No. | Tahun | Kegiatan | Penyelenggara |
|-----|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1. | 2025 | Narasumber dalam Kajian dan Implementasi Strategi Pengendalian Deforestasi dan Peningkatan Cadangan Karbon di Area Perhutanan Sosial: Pendekatan Ekosistem | BPLDH |
| 2. | 2024 | Tenaga Ahli Hidrologi dalam Penilaian dan Pemetaan Ekosistem Mangrove dan Penentuan Fungsi Ekosistem Mangrove dalam Kesatuan Lanskap Mangrove (KLM) | BRGM |
| 3. | 2023 | Narasumber dalam Studi Kelayakan REDD+ PT KBS dan PT HLE Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat | Kerja Sama Forci FAHUTAN IPB dengan STARLINK |
| 4. | 2023 | Narasumber dalam Penyusunan Rencana Kerja Subnasional Indonesia FOLU Net Sink 2030 Provinsi Sulawesi Utara | Kerja Sama FAHUTAN IPB dengan KLHK |

Pembicara Undangan pada Seminar, *Workshop* dan Kuliah Umum

| No. | Tahun | Judul Makalah | Nama Kegiatan | Penyelenggara |
|-----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1. | 2026 | Pengelolaan Sumber Daya Air untuk Optimalisasi Pengelolaan Lahan Kering di Daerah Iklim Kering: Kasus Wilayah Perhutanan Sosial di Desa Tambak Ukir, Kecamatan Kandit, Kabupaten Situbondo, Jawa Timur | Perencanaan Sistem Pengairan Lahan Lokasi Penanaman | BPLDH-FAHUTAN |
| 2. | 2025 | Kesatuan Lanskap Mangrove–Kesehatan Mangrove dalam Perspektif Hidrologi | Inventarisasi, Penyusunan KLM & Penentuan Fungsi Ekosistem Mangrove | Kementerian Lingkungan Hidup |

Partisipasi dalam Lokakarya, *Workshop*, Seminar, Konferensi

| No. | Tahun | Judul Kegiatan | Penyelenggara |
|-----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| 1. | 2025 | Pembahasan Rencana Penanaman dan <i>Safeguard</i> Lingkungan | BPLDH-FAHUTAN |
| 2. | 2024 | 10 th World Water Forum | <i>World Water Council</i> |
| 3. | 2023 | Int'l Symposium. Transformation of Tropical Rainforest: Social and Ecological Consequences and Perspectives | EFForTS |
| 4. | 2023 | 1 st International Conference on Sustainable Tropical Forest Management (ICOSTFOM) | Departemen Manajemen Hutan IPB |
| 5. | 2022 | Kongres Nasional Forum DAS Seluruh Indonesia | KLHK |



PT Penerbit IPB Press

Jalan Taman Kencana No. 3, Bogor 16128

Telp. 0251-8355 158 E-mail: ipbpress@apps.ipb.ac.id

    Penerbit IPB Press  [ipbpress.official](https://twitter.com/ipbpress.official)  ipbpress.com