

**PERAN ILMU KAYU DALAM PEMBANGUNAN
KEHUTANAN TROPIS BERKELANJUTAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kayu
pada Fakultas Kehutanan
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
pada tanggal 20 Mei 2025**

**oleh:
Prof. Dr. Ir. Widyanto Dwi Nugroho, S.Hut., M.Agr.**

Bismillahirrahmanirrahim,

Yang saya hormati,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas
 Gadjah Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah
 Mada,
 Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah
 Mada,
 Rektor dan Para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada beserta
 jajarannya,
 Para Dekan dan Wakil Dekan di Lingkungan Universitas Gadjah Mada
 Ketua, Sekretaris dan Anggota Senat Fakultas Kehutanan Universitas
 Gadjah Mada
 Para Guru Besar, dosen, mahasiswa, tenaga kependidikan, dan segenap
 sivitas akademika Universitas Gadjah Mada
 Para tamu undangan, kolega yang kami hormati dan keluarga yang saya
 cintai,

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Pembukaan

Alhamdulillah rabbil'aalamiin, puji syukur marilah selalu kita panjatkan ke hadirat Allah Swt, atas limpahan rahmat, kesehatan dan kesempatan sehingga kita dapat hadir di Balai Senat Universitas Gadjah Mada pada kesempatan ini. Saya beserta seluruh keluarga besar menyampaikan terima kasih kepada seluruh tamu undangan baik yang berkenan hadir di ruang Balai Senat Universitas Gadjah Mada ini maupun yang mengikuti secara daring dalam acara pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam Ranting Ilmu/Kepakaran Ilmu Kayu terhitung mulai tanggal 1 Desember 2024, yang ditetapkan berdasarkan Keputusan Menteri Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia Nomor 141034/M/07/2024 tertanggal 13 Desember 2024.

Pada kesempatan yang berbahagia ini saya akan menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar dengan judul:

“Peran Ilmu Kayu dalam Pembangunan Kehutanan Tropis Berkelanjutan”

Judul tersebut saya sampaikan dalam pidato pengukuhan saya ini karena keterkaitan bidang keilmuan yang saya tekuni selama ini di Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada khususnya bidang Ilmu Kayu. Dalam kesempatan ini saya ingin menyampaikan tentang kayu, peran kayu dalam kehidupan maupun sifat-sifat kayu sebagai produk biologis maupun bahan baku. Selanjutnya akan saya sampaikan perkembangan, ruang lingkup, serta peran Ilmu Kayu dalam meningkatkan nilai tambah hasil hutan tropis terutama kayu serta dalam mendukung pembangunan kehutanan tropis berkelanjutan secara lebih luas serta beserta beberapa contoh kontribusi saya beserta tim dalam mewarnai perkembangan Ilmu Kayu.

Hadirin yang saya hormati,

Hutan, Pohon dan Kayu

Indonesia merupakan negara yang memiliki hutan hujan tropis terbesar ketiga setelah Brasil dan Kongo dengan 63 persen wilayah daratannya atau sekitar 120,4 juta hektar ditetapkan sebagai Kawasan Hutan dengan tingkat keragaman hayati yang tinggi. Hutan berperan penting dalam pengaturan iklim mikro, seperti pengaturan suhu dan kelembaban, pencegahan erosi tanah, pengaturan siklus air dan nutrisi, penyerapan dan penyimpanan karbon, produksi oksigen, dan pemeliharaan keseimbangan ekosistem. Hutan juga menyediakan sumber daya produksi dan layanan lingkungan yang memungkinkan pusat-pusat ekonomi untuk memperluas bisnis, menyerap tenaga kerja, mengurangi kesenjangan, dan mengurangi kemiskinan, menyuplai bahan baku industri kayu dan berbagai produk nonkayu serta pasokan air bersih dan ekowisata (*Ministry of Environment and Forestry Republic of Indonesia*, 2024).

Hutan tidak dapat dipisahkan dari pohon dan kayu karena masing-masing saling berkaitan. Menurut Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan, Pasal 1 (ayat 2) bahwa yang dimaksud dengan **Hutan** adalah suatu kesatuan ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungannya, yang satu dengan lainnya tidak dapat dipisahkan. Dalam Pasal 1 tersebut sudah cukup jelas tentang arti pentingnya pohon sebagai penyusun hutan. Selanjutnya dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan Pasal 1 (ayat 1) juga menyampaikan definisi hutan yang senafas dengan UU No. 41 Tahun 1999. Menurut UU No. 18 Tahun 2013 ini di Pasal 1 (ayat) 14 yang dimaksud dengan **Pohon** adalah tumbuhan yang batangnya berkayu dan dapat mencapai ukuran diameter 10 (sepuluh) sentimeter atau lebih yang diukur pada ketinggian 1,50 (satu koma lima puluh) meter di atas permukaan tanah. Dalam ketentuan ini, selain mempersyaratkan ukuran, batang yang berkayu juga merupakan syarat definisi dari Pohon. Pohon merupakan salah satu tumbuhan penghasil kayu selain semak atau perdu dan liana berkayu (Sunardi, 1977). Pohon yang menghasilkan kayu terbatas pada subdivisi Gymnospermae dan Angiospermae dari divisi Spermatophyta. Tumbuhan Angiospermae yang utama dan penting dalam menghasilkan kayu berasal dari kelas Dikotil yang secara umum dikenal dengan beberapa istilah yaitu *Broad Leaves Species* (species kayu daun lebar) atau *Hardwood* (kayu keras). Sedangkan tumbuhan Gymnospermae yang penting dalam menghasilkan kayu berasal dari ordo Coniferales. Jenis-jenis dalam ordo Coniferales dikenal secara umum dengan nama konifer, *evergreen*, kayu jarum serta *softwood* atau kayu lunak (Prawirohatmodjo, 2007; Shmulsky & Jones, 2019; Zobel & van Buijtenen, 1989). Lebih lanjut, Panshin dan de Zeew (1980) menyebutkan kriteria-kriteria yang berfungsi untuk membedakan tumbuhan berkayu dari tumbuhan tidak berkayu, sebagai berikut:

1. Tumbuhan itu vaskuler, artinya memiliki jaringan pengangkutan khusus yang terdiri atas *xylem* dan *phloem*.
2. Tumbuhan itu perennial, artinya umurnya beberapa tahun.

3. Tumbuhan itu mempunyai batang yang hidup dari tahun ke tahun.
4. Tumbuhan itu mengalami penebalan sekunder atau pertumbuhan sekunder yang dilakukan oleh jaringan meristem yang disebut kambium.

Menurut *IAWA Glossary* (1964), **Kayu** merupakan jaringan penguat dan penghantar air utama pada batang dan akar yang ditandai dengan adanya *Tracheary Elements*. Kayu (*wood*) memiliki sinonim yaitu Xilem (*Xylem*). Kayu dapat juga didefinisikan sebagai material atau bahan lignoselulosa alami yang terutama diperoleh dari bagian batang pohon (Vademecum Kehutanan Indonesia, 2020). Zobel & van Buijtenen (1989) menjelaskan bahwa kayu merupakan *xylem* pada pohon yang merupakan produk dari kambium dan terdiri dari sel-sel penyusun kayu yang telah melewati serangkaian proses tahap pembentukan kayu. Teischinger dkk. (2023) mendefinisikan Kayu sebagai zat lignoselulosa di antara empulur dan kulit pohon atau semak dengan tambahan catatan bahwa bahan-bahan yang mengalami lignifikasi dari bambu, gabus, rotan, palem, dan monokotil lainnya bukanlah kayu.

Deforestasi hutan Indonesia yang terjadi membuat luasan hutan maupun kualitas hutan semakin turun dan hutan tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan kayu yang dibutuhkan. Optimalisasi kayu sebagai bahan baku, pemilihan material yang tepat, inovasi teknologi dan produk berbasis kayu akan meningkatkan nilai tambah hasil hutan sekaligus dapat menurunkan tekanan kepada hutan yang juga berarti bagian dari mendukung pembangunan hutan yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, pengetahuan yang mendalam terkait kayu mulai dari proses pembentukannya, pemahaman tentang sifat-sifat dasar, dan potensi pemanfaatan serta pengembangan inovasi produk kayu sangat dibutuhkan. Di sisi lain, pengetahuan tentang kayu ini berperan dalam verifikasi dan legalitas kayu, forensik hasil hutan maupun upaya penegakan hukum. Hal ini mendasari saya untuk sedikit berbagi tentang “Peran Ilmu Kayu dalam Pembangunan Kehutanan Tropis Berkelanjutan”.

Hadirin yang saya hormati,

Sejarah Pemanfaatan Kayu

Dalam sejarah peradaban manusia, kayu merupakan material yang penting dalam sejarah peradaban manusia dan telah dimanfaatkan sejak lama. Pemanfaatan kayu yang utama dan pertama yang digunakan manusia adalah memanfaatkan api yang berbahan bakar kayu untuk memasak dan menghangatkan diri yang kemungkinan sudah dilakukan sejak 1,5 juta tahun yang lalu dan beberapa bukti pemanfaatan kayu ditemukan pada situs-situs yang berusia 400.000 tahun (Risbrudt, 2013). Pemanfaatan kayu oleh manusia di peradaban lampau juga digunakan sebagai peralatan berburu (Schoch dkk., 2015) dan bangunan sederhana menyerupai tenda (Hansen, 1971). Penggunaan kayu secara maju juga telah ada sejak lama di peradaban masa lalu, misalnya pelapisan, perekatan, dan tatahan telah dilakukan sejak 3000 SM di Mesir kuno. Kapal kayu berukuran besar yang juga berasal dari Mesir, diketahui telah berlayar di Mediterania sekitar 2700-2600 SM. Selama berabad-abad, pengetahuan tentang cara menggunakan kayu secara efektif diwariskan dari satu generasi ke generasi lain melalui pekerja magang dan pengrajin, serta dari satu wilayah ke wilayah lain oleh pedagang dan pelancong. Pada tahun 105 M, kertas ditemukan di Tiongkok. Berita tentang perkembangan tersebut menyebar perlahan, membutuhkan waktu 500 tahun untuk mencapai Jepang dan Iran, dan 500 tahun lagi untuk mencapai Eropa Barat. Pengetahuan tentang konstruksi kayu berkembang pesat di Jepang pada pertengahan abad ke-7 sebagaimana dibuktikan oleh sejumlah bangunan yang masih ada dan terjaga hingga saat ini salah satunya adalah Kuil Buddha Horyuji di Nara, Jepang yang selesai dibangun sekitar tahun 650 M (Bowyer, 2000). Di wilayah Nusantara, pemanfaatan kayu dari masa lalu juga ditemukan jejak-jejak peninggalannya dalam berbagai macam bentuk antara lain bangunan rumah, alat transportasi, perabotan rumah tangga, alat pertanian, komponen senjata tradisional, topeng dan lain sebagainya. Bukti peninggalan yang cukup penting antara lain adalah perahu Punjulharjo yang merupakan kapal karam kayu dari abad ke-7 yang ditemukan di Rembang, Jawa Tengah (Mochtar, 2020; Nugroho,

2009) serta komponen rumah-rumah kayu dari rentang peradaban dari abad ke-2 hingga abad ke-11 masehi yang sudah dalam bentuk arang di Situs Liyangan, Temanggung, Jawa Tengah (Priswanto, 2021; Riyanto, 2017).

Keunggulan kayu yang semakin diketahui membuat pemanfaatan kayu semakin luas, seperti pemanfaatannya dalam bidang konstruksi, perkakas pertanian, furnitur, transportasi (pembuatan kapal, rel kereta api, kereta kuda, jembatan), bahan bakar lokomotif, pembuatan kertas, senjata dan lain sebagainya (Schulz, 1993; Perez & Fauchon, 2003; Nilsson & Rowell, 2012; Risbrudt, 2013; Funada dkk., 2016; Prastiwi & Nugroho, 2023). Meskipun menjadi salah satu material tertua yang digunakan manusia, saat ini upaya untuk menemukan sifat-sifat dan penggunaan baru untuk kayu terus dilakukan. Sebagai contoh, studi tentang nanoteknologi dan pengendalian sifat-sifat material kayu pada skala nano mewakili kemajuan terbaru dalam ilmu material kayu dengan berbagai inovasi produk dengan sifat-sifat yang diinginkan. Serat kayu dalam ukuran nano dapat dibuat menjadi produk bening dan dapat dikombinasikan dengan material lain menjadi komposit (Risbrudt, 2013). Penelitian, pengembangan ilmu dan teknologi kayu beserta terus berkembang dan berinovasi di berbagai macam aspek pemanfaatan mulai dari konstruksi dan produksi energi hingga komposit inovatif atau material maju dan solusi lingkungan.

Karakteristik Kayu

Sebagai produk biologis, kayu memiliki struktur kompleks yang terdiri dari berbagai jenis sel dan komponen kimia yang mendukung kebutuhan pohon hidup, seperti dukungan mekanis, transportasi air, dan sintesis biokimia (Teischinger, 2016; Wiedenhoef & Miller, 2005; Walker & Butterfield, 2006). Komponen-komponen ini membentuk komposit biopolimer tiga dimensi yang anisotropik, higroskopis, viskoelastik, dan berpori. Secara kimiawi, kayu terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, dan sejumlah kecil unsur anorganik dan ekstraktif (Rouilly & Vaca-Garcia, 2015; Rowell, 2017; Shmulsky & Jones, 2019). Sebagai produk biologi, tentunya kayu memiliki variabilitas

yang beragam. Sifat kayu sangat bervariasi tergantung pada spesies, usia, dan kondisi pertumbuhan, sehingga setiap bagiannya unik meskipun berasal dari pohon yang sama (Walker & Butterfield, 2006; Rowell, 2017).

Kayu tetap menjadi substansi penting sepanjang sejarah karena karakteristik yang unik dan bermanfaat. Karakteristik kayu yang unik yang dimiliki oleh kayu dan membedakan kayu dengan material lainnya adalah: 1. Kayu memiliki struktur seluler, 2. Kayu memiliki sifat anisotropis, 3. Kayu merupakan bahan yang bersifat higroskopis, 4. Kayu merupakan bahan yang bersifat *biodegradable*, 5. Kayu memiliki sifat mudah terbakar, 6. Kayu sangat lambat terhadap pengaruh sebagian besar bahan kimia, 7. Kayu bisa sangat tahan pada serangan organisme perusak kayu pada kondisi tertentu dan 8. Kayu memiliki sifat isolasi yang baik (Panshin & de Zeeuw, 1980). Karakteristik-karakteristik kayu ini tidak dijumpai pada material lain dan hal inilah yang membuat kayu merupakan material yang unik, istimewa dan dalam beberapa hal tidak tergantikan oleh material lain.

Selain memiliki karakteristik yang unik dan berbeda dengan material lainnya, kayu sebagai produk biologi memiliki variasi sifat atau karakteristik tergantung dari jenis, umur, kondisi pertumbuhan, letak dalam batang, kondisi kayu dan faktor-faktor lainnya yang berpengaruh. Sebagai upaya memanfaatkan kayu secara efektif, beberapa karakteristik kayu dengan beragam variasi dan keunikannya tersebut harus diperhatikan. Memahami karakteristik ini membantu dalam memilih material kayu yang tepat untuk aplikasi tertentu, memastikan kinerja yang optimal dan keberlanjutan. Pengetahuan yang mendalam tentang kayu, mulai dari asal perkembangan, sifat-sifat kayu sampai dengan teknologi pengolahan kayu sangat diperlukan dalam mencapai hal tersebut.

Hadirin yang saya hormati,

Ilmu Kayu

Ilmu Kayu (*Wood Science*) adalah ilmu yang mempelajari kayu sebagai suatu bahan termasuk asal atau pembentukannya, komposisi

penyusunnya, ciri-ciri serta sifat-sifat biologis, kimia dan fisik-mekanis kayu (Niemz dkk., 2023; Sunardi, 1977). Ilmu Kayu merupakan bidang keilmuan interdisipliner dan tidak berdiri sendiri, mencakup pengetahuan dalam pelbagai bidang, terutama fisika, kimia, biologi, ilmu teknik dan matematika. Pengetahuan terperinci tentang kayu diperlukan untuk pemrosesan kayu, produksi bahan berbasis kayu, dan pemanfaatan kayu dan bahan berbasis kayu dalam berbagai produk. Dengan demikian tugas seorang ahli ilmu kayu adalah membantu tugas ahli teknologi kayu. Dalam hal ini Teknologi Kayu adalah ilmu yang mengaplikasikan ilmu kayu di dalam mengolah kayu untuk dapat digunakan (Sunardi, 1977).

Pemanfaatan kayu sudah dikenal pada peradaban manusia di masa lalu, namun belum ditemukan catatan yang jelas terkait dengan sejarah perkembangan ilmu maupun teknologi pengolahan kayu. Bagaimanapun, perlu disadari bahwa beberapa produk yang dibahas dalam pertemuan teknis, akademis dan ilmiah saat ini berasal dari ratusan atau bahkan ribuan tahun yang lalu (Bowyer, 2000). Robert Hooke, penemu mikroskop pertama, menerbitkan koleksi hasil pengamatannya terhadap sampel biologis pada tahun 1665 yang salah satunya adalah pengamatan pertama terhadap sel gabus dari *Quercus suber*. Tak lama kemudian, pada tahun 1673, Antonie van Leeuwenhoek mulai mengamati struktur mikroskopis dari potongan ranting dari berbagai spesies berkayu (Ziemińska, 2018; Crouvisier-Urien dkk., 2019). Meskipun butuh waktu bertahun-tahun sebelum bidang ilmu dan teknologi kayu muncul sebagai bidang penelitian ilmiah yang khusus, dapat dikatakan bahwa akhir tahun 1800-an menandai dimulainya bidang ini. Pengetahuan tentang karakteristik dasar kayu berkembang pesat setelah tahun 1900. Pada tahun 1902, Laboratorium Pengolahan Kayu didirikan di Forestry Department, Faculty of Agriculture di Universitas Tokyo, dan studi akademis tentang pengolahan kayu pun dimulai. Tiga tahun kemudian, Institut Penelitian Hutan dan Hasil Hutan didirikan di Jepang, juga di Tokyo. Pada awal tahun 1906, sebuah Lembaga Penelitian Produk Hutan telah didirikan di India. The U.S. *Forest Product Laboratory* (FPL) didirikan pada

tahun 1910. Pada tahun yang sama, penelitian tentang anatomi kayu dimulai di Departemen Botani, Swiss Federal Institute of Technology di Zurich. Pada tahun 1931, *International Association of Wood Anatomist* (IAWA) didirikan. Di Jerman, lembaga penelitian kayu pertama didirikan pada tahun 1932 di Technical University of Darmstadt, dan pada saat itu, banyak lembaga penelitian kayu didirikan di hampir semua negara industri. Pada Tahun 1966, The International *Academy of Wood Science* (IAWS) terbentuk. Pada masa-masa awal, penelitian para ilmuwan kayu difokuskan pada anatomi kayu, memahami sifat dasar kayu antara lain kekuatan, stabilitas dimensi, daya tahan, berat jenis, kadar air, kimia, dan memperpanjang masa pakai kayu melalui pengeringan dan perlakuan-perlakuan tertentu (Bowyer, 2000; Niemz dkk., 2023). Selain lembaga penelitian kayu juga banyak didirikan lembaga pendidikan dengan disiplin keilmuan Ilmu dan Teknologi Kayu atau kombinasi dengan bidang lain yang lebih luas seperti kehutanan.

Saat ini, ilmu kayu menunjukkan pembagian yang sangat rinci, bersifat multi disiplin dan juga melibatkan keterkaitan dengan bidang keilmuan lain seperti biologi molekuler, bioteknologi, taksonomi, biologi sel, fisiologi, patologi, ilmu material, teknik, konstruksi, kimia, *Big Data*, *Artificial Intelligence*, paleobotani, arkeologi, forensik maupun lingkungan serta perubahan iklim. Bukti perkembangan dan perubahan dalam bidang ilmu kayu dapat ditemukan dalam literatur ilmiah, publikasi-publikasi ilmiah, dokumen-dokumen teknis terkini maupun bahan-bahan untuk pembelajaran, yaitu istilah-istilah yang beberapa tahun lalu jarang ditemui atau sama sekali tidak dikenal kini umum digunakan. Tema-tema penelitian yang dilakukan terkait kayu juga menjadi sangat beragam sesuai dengan kebutuhan dan ketertarikan masing-masing.

Ruang lingkup Ilmu Kayu

Sebagaimana disampaikan sebelumnya bahwa ilmu kayu adalah yang mempelajari kayu sebagai suatu bahan termasuk asal atau pembentukannya, komposisi penyusunnya, ciri-ciri serta sifat-sifat

biologis, fisik-mekanis dan kimia kayu. Berikut ini adalah uraian secara ringkas beberapa aspek yang menjadi ruang lingkup Ilmu Kayu:

1. Anatomi Kayu

Anatomi kayu adalah ilmu yang mempelajari tentang struktur dan organisasi kayu pada tingkat sel. Bidang anatomi kayu mempelajari karakteristik morfologi, komposisi dan susunan sel, proporsi jaringan, serta struktur dan fungsi berbagai sel termasuk proses pembentukan kayu atau xilem. Bidang studi ini penting sebagai dasar proses identifikasi berbagai jenis kayu secara anatomis, mendukung pemahaman tentang sifat-sifat kayu dan mengeksplorasi potensi penggunaan kayu tersebut dalam berbagai aplikasi dan pemanfaatan.

2. Pembentukan Kayu

Kayu diproduksi atau dibentuk oleh kambium vaskular (kambium) batang pohon (Catesson, 1994; Funada, 2008). Kambium didefinisikan sebagai lapisan sel yang membelah secara aktif yang terletak di antara, dan menghasilkan xilem dan floem sekunder. Pembelahan periklinal sel-sel kambium menyebabkan peningkatan diameter batang pohon. Pembelahan sel-sel kambium menghasilkan floem sekunder di bagian luar dan xilem sekunder di bagian dalam. Jumlah sel-sel xilem sekunder yang diproduksi biasanya jauh lebih tinggi daripada jumlah sel-sel floem sekunder. Dengan demikian, sel-sel xilem sekunder yang matang inilah yang disebut kayu. Jumlah kayu bergantung pada jumlah sel-sel xilem sekunder yang diproduksi oleh pembelahan sel-sel kambium (Funada dkk., 2016). Fungsi biologis utama kayu meliputi menyalurkan air dari akar ke daun, memberikan dukungan mekanis, dan menyimpan serta mensintesis zat biokimia (Wiedenhoeft & Miller, 2005; Walker & Butterfield, 2006). Kayu dihasilkan oleh penambahan xilem sekunder secara berurutan, yang mengalami proses diferensiasi dari kambium vaskular. Dalam proses pembentukan kayu ini, sel-sel pada sisi xilem kambium melewati empat tahap perkembangan berurutan: (1) pembelahan sel induk xilem, (2) perluasan sel turunan ke ukuran akhirnya, (3) lignifikasi dan pembentukan dinding sel sekunder (yaitu, pematangan sel), dan (4)

kematian sel terprogram. Xilem sekunder dewasa yang dihasilkan meliputi parenkim xilem, serat, pembuluh, dan elemen trakeari (Koddk., 2016). Setelah 4 tahap tersebut di atas ada satu tahap lagi yang terjadi yaitu Pembentukan kayu teras. Pada pembentukan kayu teras ini, lingkaran pertumbuhan/tahunan yang lebih tua tidak lagi mengangkut air atau menyimpan nutrisi, tetapi sering menyimpan senyawa fenolik serta resin yang memberikan ketahanan jangka panjang terhadap patogen dan dengan demikian meningkatkan daya tahan alami (Fromm, 2013). Pembentukan kayu berkaitan erat dengan sifat-sifat kayu atau kualitas kayu yang dihasilkan. Pemahaman ini sangat penting bagi pengelolaan hutan dan produksi kayu untuk membantu dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas kayu yang dihasilkan.

3. Identifikasi Kayu

Identifikasi kayu adalah kegiatan yang bertujuan untuk mengenal kayu atau untuk membedakan jenis kayu yang satu dengan yang lain. Secara anatomis, dikenal dua macam metode visual untuk mengidentifikasi kayu, yaitu identifikasi secara makroskopis serta identifikasi secara mikroskopis. Acuan untuk mengamati ciri-ciri anatomi kayu daun lebar mengacu pada panduan dari IAWA (IAWA Committee, 1989), sedangkan untuk kayu daun jarum juga mengacu pada IAWA (IAWA Committee, 2004). Metode identifikasi ini selain memerlukan keterampilan serta keahlian dalam persiapan sampel, pengamatan dan proses identifikasi, diperlukan juga perangkat sampel atau data pembanding yang memadai. Sampel kayu pembanding bisa menggunakan koleksi xylarium dan IAWA juga menyediakan akses data anatomi kayu untuk identifikasi di website InsideWood (InsideWood, 2004).

Perkembangan metode identifikasi kayu ini terus berkembang dan bersifat lintas disiplin. Kemajuan terkini dalam kecerdasan buatan, bioteknologi, dan analisis kimia, termasuk *computer vision*, *DNA identification*, dan *chemotyping* dengan metode spektroskopi dan spektrometri untuk kayu menunjukkan kapasitas untuk meningkatkan identifikasi kayu (Yin dkk., 2020). Perkembangan ini juga didukung

dengan perangkat-perangkat observasi yang semakin canggih seperti mikroskop cahaya, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Transmission Electron Microscope* (TEM), *X-ray computed tomography* (CT) dan perangkat-perangkat lainnya yang mendukung.

4. Sifat Fisika Kayu

Sifat-sifat fisika kayu sebenarnya mengandung dua pengertian, yaitu sifat-sifat nonmekanis dan mekanis. Yang pertama biasa disebut sifat-sifat kayu saja, sedangkan yang kedua disebut sifat-sifat mekanis kayu. Sifat-sifat fisika kayu yang diuji antara lain adalah: 1. Kadar air kayu, 2. Perubahan dimensi kayu, 3. Berat jenis dan kerapatan kayu, 4. Hubungan kayu dengan panas yang meliputi sifat-sifat termal kayu dan pembakaran kayu, 5. Hubungan kayu dengan arus listrik, 6. Hubungan kayu dengan suara dan 7. Hubungan kayu dengan cahaya (Panshin & de Zeeuw, 1980; Prawirohatmodjo, 2012).

5. Sifat Mekanika Kayu

Kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi suatu material disebut sebagai sifat mekanisnya. Kekuatan kayu adalah kemampuan kayu untuk menahan beban atau gaya yang diberikan. Ketahanan terhadap deformasi, atau kekakuan, menentukan seberapa banyak material dikompresi, diregangkan, dibengkokkan, atau terdistorsi oleh beban yang diberikan. Perubahan bentuk yang terjadi seketika saat beban diberikan dan dapat dipulihkan saat beban dihilangkan disebut deformasi elastis. Sebaliknya, jika deformasi berkembang perlahan setelah beban diberikan, itu disebut sifat reologi atau sifat yang bergantung pada waktu. Sifat mekanis biasanya merupakan karakteristik terpenting dari produk kayu untuk aplikasi struktural (Prawirohatmodjo, 2001; Shmulsky dan Jones, 2019).

Sifat-sifat mekanika kayu yang diuji antara lain adalah: 1. Keteguhan Lengkung Statis, 2. Keteguhan Pukul (Keuletan), 3. Keteguhan Tekan Sejajar Serat Kayu, 4. Keteguhan Tekan Tegak Lurus Serat Kayu, 5. Kekerasan Kayu, 6. Keteguhan Geser, 7. Keteguhan Belah dan 8. Keteguhan Tarik (Prawirohatmodjo, 2001; Shmulsky & Jones, 2019). Penentuan atau pengujian ini mengacu pada standar yang

digunakan antara lain British Standard, ASTM, SNI maupun standar pengujian lainnya.

Pengujian sifat mekanika kayu ini berkaitan erat dengan pemanfaatan kayu sebagai bahan struktural. Sebagai bahan struktural, kayu memiliki kelebihan maupun kelemahan. Kelebihan kayu sebagai bahan struktural adalah : 1. Kekuatan tinggi dan kekakuan lentur meskipun ringan, 2. Sumber daya tersedia dan terbarukan, 3. Membutuhkan lebih sedikit energi untuk diproses menjadi bahan struktural, 4. Kemudahan fabrikasi dan konversi, 5. Stabil secara dimensi dan tahan lama jika digunakan dengan benar dan 6. Konduktivitas listrik, termal, dan akustik rendah. Di sisi lain, kayu juga memiliki kekurangan sebagai bahan struktural, antara lain: 1. Variabilitas, 2. Cacat bawaan alami, 3. Ketidakstabilan dimensi, 4. Kerentanan terhadap serangan biologis, 5. Anisotropi dan 6. Mudah terbakar (Zink-Sharp, 2003).

Hadirin yang saya hormati,

Peran Ilmu Kayu dalam Peningkatan Nilai Tambah Hasil Hutan dan Pembangunan Berkelanjutan (SDG's)

Peran dan kontribusi ilmu kayu ini tentunya sudah banyak dilakukan berbagai pihak baik para peneliti, akademisi, praktisi, mahasiswa, lembaga pemerintah maupun nonpemerintah dan pihak-pihak lain dari berbagai penjuru dunia. Pada bagian ini akan dipaparkan peran ilmu kayu dalam beberapa aspek yang relevan dalam konteks pembangunan hutan tropis berkelanjutan dan beberapa contoh aktivitas di mana saya turut berkontribusi di dalamnya.

1. Ilmu Kayu dan Program Pemuliaan Pohon

Shmulsky & Jones (2019) menyampaikan bahwa praktik silvikultur mempengaruhi hampir semua sifat-sifat kayu yang dihasilkan. Sifat-sifat kayu yang dihasilkan tersebut akan menentukan kualitas kayu. Kualitas kayu merupakan nilai keunggulan kayu yang sesuai dengan tujuan pemanfaatannya. Oleh sebab itu, upaya untuk merekayasa pertumbuhan agar menghasilkan kuantitas produk kayu

yang tinggi bisa sejalan dengan upaya untuk meningkatkan sifat-sifat kayu yang diinginkan. Konsep inovatif yang dapat dilakukan dalam pembangunan hutan di Indonesia adalah Silvikultur Intensif (SILIN). Konsep ini menggabungkan tiga aspek utama yaitu pemuliaan pohon, manipulasi lingkungan dan perlindungan; yang tujuan utamanya adalah meningkatkan produktivitas hutan (Soekotjo, 2009).

Pada saat ini di Indonesia upaya pemuliaan pohon tidak hanya difokuskan pada peningkatan ciri fenotipe, seperti tingkat kelangsungan hidup, tingkat pertumbuhan, jumlah cabang yang lebih sedikit, dan bentuk batang. Pengamatan sifat-sifat kayu yang menjadi indikator kualitas kayu juga telah menjadi fokus penting dari program-program pemuliaan pohon (Nugroho dkk., 2012; Widiyatno dkk., 2024). Pengamatan terhadap parameter-parameter sifat-sifat kayu antara lain anatomi kayu, sifat fisika, sifat mekanika, sifat kimia, proporsi kayu teras, batas kayu juvenil-dewasa sudah banyak mewarnai studi-studi atau penelitian dalam konteks pemuliaan pohon, sesuai dengan tujuan pemanfaatan masing-masing seperti konstruksi, kayu lapis, pulp dan kertas.

Program pemuliaan pohon yang saat ini terus berjalan dan menjadi langkah strategis dalam pembangunan hutan berkelanjutan adalah program pemuliaan jati klon. Program pemuliaan jati nasional di Indonesia yang dimulai sejak 1983 kerja sama antara Perhutani dengan Fakultas Kehutanan UGM ini bertujuan untuk peningkatan produktivitas tanaman jati (Na'iem, 2000). Program ini berhasil mendapatkan klon-klon jati yang memiliki performa pertumbuhan yang unggul (Budiadi dkk., 2017; Na'iem, 2000). Beberapa peneliti telah meneliti sifat-sifat kayu jati klon yang berumur kurang dari 15 tahun (Basri dan Wahyudi, 2013; Hidayati dkk., 2015; Rahmawati dkk., 2022; Seta dkk., 2023). Pada jati klon umur 20 tahun, sifat-sifat kayu yang menjadi indikator kualitas kayu menunjukkan adanya peningkatan (Nugroho dkk., 2024). Jati klon unggul hasil program pemuliaan pohon ini sangat potensial meskipun masih banyak hal-hal yang perlu diteliti dan dikembangkan.

Penelitian tentang sifat-sifat kayu yang berkaitan dengan program pemuliaan pohon di Indonesia terus berkembang, dengan kemajuan signifikan dalam memahami dan meningkatkan sifat pertumbuhan dan kualitas kayu. Beberapa penelitian tentang sifat kayu juga dilakukan pada beberapa spesies penting, antara lain penelitian tentang sifat kimia dan dimensi serat kayu dari uji keturunan generasi ke-2 *Eucalyptus pellita* (Lukmandaru dkk., 2016); karakteristik pertumbuhan dan kerapatan dasar klon *Eucalyptus pellita* (Fadwati dkk., 2023), serta karakteristik anatomi dan berat jenis beberapa provenan *Acacia mangium* (Nugroho dkk., 2012). Peran ilmu kayu dalam mendukung program-program pemuliaan pohon ini selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan khususnya tentang Infrastruktur, Industri dan Inovasi (SDGs 9), Penanganan Perubahan Iklim (SDGs 13) serta Menjaga Ekosistem Darat (SDGs 15).

2. Ilmu Kayu dan Teknologi Pengolahan Kayu

Ilmu kayu memainkan peran penting dalam sektor pengolahan dan teknologi kayu dengan memberikan pemahaman yang komprehensif tentang sifat dan perilaku kayu. Pengetahuan tentang pembentukan dan komposisi kayu membantu mengidentifikasi penggunaan terbaik untuk berbagai jenis kayu dan mengoptimalkan teknik pemrosesan. Begitu pula dengan pengetahuan terperinci tentang sifat-sifat kayunya yang sangat penting dalam memproses atau mengolah kayu, memproduksi bahan berbasis kayu, dan memanfaatkan kayu dalam berbagai produk lainnya (Niemz, 2023). Kemajuan dalam ilmu kayu mendukung inovasi dalam teknologi pemrosesan kayu yang menciptakan kemungkinan baru untuk penggunaan kayu, meningkatkan efisiensi material, pengurangan limbah dan efisiensi produksi produk kayu. Inovasi - inovasi tersebut menghasilkan produk-produk nanoselulosa, komposit kayu plastik, bangunan kayu modern, peralatan medis maupun material modern berteknologi tinggi lainnya, yang berkontribusi pada berbagai bidang seperti konstruksi, elektronik, bioteknologi, maupun otomotif.

Studi maupun penelitian tentang sifat-sifat dasar kayu yang terkait dengan pengolahan kayu banyak dilakukan baik oleh mahasiswa, dosen maupun peneliti. Di Departemen Teknologi Hasil Hutan, topik yang diangkat dalam ranah antara lain tentang anatomi kayu khususnya proporsi dan dimensi sel kayu, sifat fisika dan mekanika kayu dari berbagai kayu tropis di Indonesia. Penentuan batas kayu juvenil dan kayu dewasa disertai dengan karakterisasi masing-masing sifat kayunya juga memberikan informasi yang penting dalam pengolahan kayunya (Nugroho dkk., 2012; Kartikawati dkk., 2024). Selain itu, metode karakterisasi sifat-sifat bahan ini bisa juga diimplementasikan untuk bahan-bahan biomaterial lainnya (Hakim dkk., 2024; 2022; 2019; Widyorini dkk., 2018a; 2018b). Peran ilmu kayu dalam konteks ini selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan khususnya tentang Infrastruktur, Industri dan Inovasi (SDGs 9), Pendidikan Bermutu (SDGs 4).

3. Ilmu Kayu dan Pembentukan Kayu

Pembentukan kayu merupakan proses yang menentukan sifat-sifat kayu atau kualitas kayu yang dihasilkan. Sejumlah faktor yang menentukan kesesuaian kayu untuk penggunaan akhir tertentu antara lain komposisi sel, dimensi serat, sifat fisika, sifat mekanika, sifat kimia, orientasi serat, proporsi kayu teras, mata kayu, keberadaan kayu juvenil dan kayu reaksi (Savidge, 2003; Shmulsky & Jones, 2019). Kayu dihasilkan oleh penambahan xilem sekunder yang mengalami proses diferensiasi dari kambium vaskular. Aktivitas kambium ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Dalam konteks ini, sudut pandang ilmu kayu tidak hanya terbatas pada kayu sebagai bahan baku saja tetapi juga mempelajari bagaimana faktor-faktor lingkungan berpengaruh pada pembentukannya.

Pembentukan kayu reaksi menjadi perhatian banyak peneliti kayu baik ditinjau dari aspek pembentukannya, sifat-sifat kayunya maupun pengaruhnya pada proses pengolahan kayunya. Kayu reaksi adalah kayu yang dihasilkan oleh pohon untuk merespon gaya lingkungan dan rangsangan gravitasi melalui dalam mengatur ulang sumbu batang dan

cabang ke arah pemulihan arah pertumbuhannya. Kayu reaksi pada angiospermae dikenal dengan nama kayu tarik sedangkan kayu reaksi pada gymnospermae disebut kayu tekan. Pada pembentukan kayu reaksi, hormon giberelin berperan penting pada pembentukan kayu tarik sekaligus pembentukan serat gelatin (G-fibers) pada *Acacia mangium* (Nugroho dkk., 2012; 2013). Sudut kemiringan batang dan berat jenis mempengaruhi kemampuan batang pohon untuk pulih/tegak, lebar kayu reaksi yang dihasilkan serta karakteristik *G-fibers*-nya (Nugroho dkk., 2018; 2025). Pada *Pinus merkusii* membentuk kayu tekan yang memiliki karakteristik anatomi yang berbeda dibandingkan dengan kayu normal dan kayu bagian opposite sebagai respons terhadap posisi pertumbuhan batang yang tidak normal, sering kali karena condong atau miring (Safitri dkk., 2023).

Pembentukan kayu pada kayu-kayu yang terserang penyakit juga dilakukan untuk mengetahui respon tanaman pada serangan penyakit serta derajat kerusakan kayu yang berpotensi menurunkan nilai sifat-sifat atau kualitas kayunya. Pada kayu Sengon yang terserang karat tumor (*Uromycladium tepperianum*) mengalami perubahan karakteristik anatomi (Nugroho dkk., 2023). Salah satu upaya untuk mengurangi dampak serangan karat tumor ini adalah perlakuan pelaburan dengan tar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan tar dapat mengurangi pembentukan gall yang ditunjukkan dengan perubahan signifikan pada sifat anatomi kayu (Cipta dkk., 2017). Serangan gummosis yang disebabkan oleh *Ceratocystis fimbriata* pada pohon *Acacia decurrens* diketahui menyebabkan modifikasi anatomi kayunya (Rahayu dkk., 2020).

Penelitian tentang pembentukan kayu juga dapat ditujukan dalam peningkatan produksi hasil hutan lainnya seperti produksi resin dan gaharu. Perlakuan dengan ethephon pada *Pinus merkusii* dapat meningkatkan terbentuknya saluran resin traumatik. Hasil penelitian ini memberikan informasi berharga tentang ethephon sebagai stimulan potensial untuk pengembangan formula di masa mendatang guna meningkatkan produksi resin dan memenuhi permintaan global untuk resin pinus (Feriawan & Nugroho, 2025). Gaharu merupakan salah satu

produk hutan bukan kayu bernilai tinggi dan merupakan salah satu produk hutan yang populer karena berbagai kegunaannya, yang meliputi parfum, obat tradisional, dan ritual keagamaan. Pengetahuan tentang anatomi kayu serta bagaimana gaharu dapat terbentuk pada spesies pohon penghasil gaharu dibutuhkan untuk meningkatkan produksinya. Penelitian tentang anatomi kayu penghasil gaharu dari jenis *Gyrinops verstegii* dan *Aquilaria* sp. menunjukkan bahwa pohon penghasil gaharu dari jenis ini memiliki jaringan khusus yaitu terdapatnya *interxylary phloem* yang merupakan bagian utama dalam pembentukan dan deposisi resin gaharu (Adimahavira dkk., 2023; Nugroho dkk., 2019). Bersama tim di Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan UGM dan pihak-pihak terkait, penelitian tentang stimulasi pembentukan gaharu sudah dilakukan dan sampai saat ini terus berlanjut untuk mendapatkan hasil signifikan dan konsisten. Upaya yang dilakukan ini selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan khususnya tentang Infrastruktur, Industri dan Inovasi (SDGs 9), Penanganan Perubahan Iklim (SDGs 13).

Hadirin yang saya hormati,

4. Ilmu Kayu dan Forensik / Penegakan Hukum

Illegal logging merupakan salah satu penyebab utama deforestasi di seluruh dunia dan, dengan melepaskan gas rumah kaca, berkontribusi terhadap perubahan iklim. Selain itu, perdagangan kayu dan produk kayu ilegal merugikan pasar produk dari pengelolaan kehutanan berkelanjutan. Sebagai kontribusi terhadap perlindungan hutan global maka diberlakukan undang-undang atau peraturan tentang peredaran kayu dan perdagangan kayu hasil hutan ilegal dan mengharuskan kayu dan produk kayu harus diproduksi sesuai dengan undang-undang nasional masing-masing. Sebagai kontrol kayu hasil penebangan ilegal atau produk yang berasal dari kayu diperlukan semua informasi produk termasuk pernyataan yang jelas tentang spesies kayu (nama botani) dan asal kayu. Identifikasi kayu yang juga penting dalam konteks perlindungan konsumen dari potensi kecurangan atau penggantian kayu dengan kualitas lebih rendah (Schmitt dkk., 2023). Pada tahun 2009,

Indonesia telah meluncurkan SVLK (Sistem Verifikasi Legalitas Kayu) untuk memastikan legalitas kayu di sepanjang rantai pasokan (Cetera dkk., 2021).

Identifikasi kayu secara mikroskopis merupakan metode resmi dan dapat diterima dalam secara hukum. Dengan menggunakan teknik mikroskopis ini dapat diperoleh beragam ciri-ciri anatomi yang distandarkan secara internasional menurut daftar IAWA terkait ciri-ciri mikroskopis untuk Identifikasi Kayu Keras dan Kayu Lunak. Secara keseluruhan, deskripsi mikroskopis dari sekitar 8700 kayu (genus/spesies kayu) saat ini tersedia dan didokumentasikan dalam beberapa basis data terkomputerisasi, misalnya InsideWood. Basis data ini dan koleksi lengkap gambar-gambar mikroskopis menyediakan bahan referensi penting untuk identifikasi rutin kayu dan produk kayu yang diperdagangkan secara internasional (Schmitt dkk., 2023). Acuan-acuan dalam identifikasi kayu secara mikroskopis untuk wilayah Asia Tenggara dan Pasifik Barat yang dilengkapi dengan gambar-gambar anatomi yang detail disajikan dalam Ogata dkk. (2008). Indonesia adalah negara mega-biodiversitas dengan sekitar 4000 jenis pohon penghasil kayu. Sejak tahun 1914 telah dilakukan pengumpulan material contoh kayu yang otentik di Xylarium Bogoriense. Saat ini jumlah lebih dari 200.000 spesimen kayu yang tergolong ke dalam 110 suku, 785 marga dan 3668 jenis kayu. Sejak tahun 2018, Xylarium Bogoriense menjadi xylarium terbesar di dunia untuk kategori jumlah koleksinya dan menjadi referensi yang akurat untuk identifikasi kayu (Vademecum Kehutanan Indonesia, 2020).

Penerapan anatomi kayu untuk identifikasi telah mapan selama lebih dari 100 tahun, tetapi permintaan saat ini untuk identifikasi kayu forensik memerlukan informasi yang semakin spesifik pada tingkat spesies dan keterlacakan asal kayu, terutama untuk penegakan hukum. Pada kasus tertentu, identifikasi kayu secara anatomis tidak memadai untuk menjawab tantangan tersebut. Penerapan teknik baru, misal *DNA identification*, untuk mengidentifikasi spesies dan melacak asal geografis kayu yang diperdagangkan secara internasional telah menarik minat yang semakin meningkat sebagai bagian potensial dari sistem

global untuk mendukung kehutanan berkelanjutan dan untuk memerangi *illegal logging* (Yin dkk., 2020). Laboratorium Pembentukan dan Peningkatan Kualitas Kayu, Departemen Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan UGM berkontribusi aktif dalam pengembangan dan penerapan ilmu identifikasi. Kontribusi tersebut antara lain adalah membantu industri perKayuan, UMKM, Perusahaan Konstruksi, Bea Cukai, Kejaksaan dan Kementerian Kehutanan dalam melakukan identifikasi kayu. Kontribusi ini sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan khususnya tentang Perdamaian, Keadilan, dan Institusi yang Kuat (SDGs 16).

5. Ilmu Kayu dan Perubahan Iklim

Perubahan iklim mengacu pada perubahan jangka panjang dalam suhu dan pola cuaca atau variabilitas iklim, yang disebabkan oleh faktor alam dan manusia. Perubahan iklim mempengaruhi berbagai komponen iklim dan berdampak luas pada lingkungan dan masyarakat manusia. Penyimpanan karbon jangka panjang, seperti di hutan dan kayu, efektif untuk mitigasi perubahan iklim yang berkelanjutan. Kayu merupakan sumber daya terbarukan, telah digunakan selama ribuan tahun sebagai bahan baku untuk bahan konstruksi, furnitur, pulp dan kertas, bahan kimia, dan bahan bakar. Selain itu, karena kayu merupakan penyerap karbon utama, kayu berperan penting dalam menghilangkan kelebihan CO₂ atmosfer yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil (Funada dkk., 2016).

Perubahan iklim yang terjadi juga akan menyebabkan perubahan faktor-faktor lingkungan yang kemudian juga berpengaruh dalam pertumbuhan pohon dan pembentukan kayu. Dinamika perubahan suhu merupakan faktor penting dalam mengontrol aktivitas kambium dan diferensiasi xilem pada pohon (Begum dkk., 2016; 2018; Rahman dkk., 2016; 2020). Pola pasokan air merupakan salah satu faktor terpenting untuk reaktivasi kambium pada pohon *Samanea saman* (Rahman dkk., 2022). Pada empat jenis kayu keras yang tumbuh di Indonesia, curah hujan yang rendah atau tidak ada selama 3 hingga 4 bulan menyebabkan terhentinya aktivitas kambium dan periodisitas temporal pembentukan

kayu pada keempat spesies yang diteliti. Pola frekuensi curah hujan menjadi penentu penting pembentukan kayu pada pohon-pohon tropis (Rahman dkk., 2019). Polutan industri yang berupa partikel tersuspensi dalam fase gas (*aerosol*) ke permukaan luar daun dapat berpengaruh pada pertumbuhan dan fungsi fisiologis pohon (Nakaba dkk., 2016). Upaya-upaya penelitian ini mendukung SDGs 16: Penanganan Perubahan Iklim dan SDGs 15: Menjaga Ekosistem Darat.

6. Ilmu Kayu, Arkeologi dan Konservasi Warisan Budaya

Artefak kayu yang tersisa dari penggunaan manusia tidak hanya memberi kita gambaran menarik tentang keterampilan, kecerdasan dan teknologi generasi masa lalu, tetapi juga memberi tahu kita banyak hal tentang lingkungan yang ada saat kayu tersebut digunakan dan perubahan lingkungan seiring berjalannya waktu (Nilsson & Rowell, 2012). Selain kaya akan keanekaragaman hayati, Indonesia juga kaya akan ragam suku dan budayanya. Kekayaan suku, budaya dan peradaban yang panjang tentunya memiliki beragam warisan budaya. Warisan budaya, khususnya yang menggunakan kayu dari masa lalu tersebut, dapat berupa rumah adat beserta komponen-komponennya, alat transportasi (kereta, perahu, kapal), perabot rumah, alat pertanian, kelengkapan senjata tradisional, topeng, ornamen/hiasan kayu, patung kuno, wayang maupun beragam alat musik. Ditemukan juga fosil-fosil kayu di beberapa lokasi di Indonesia.

Ilmu kayu secara signifikan mendukung penelitian arkeologi dengan menyediakan perangkat dan metode untuk identifikasi, pelestarian, dan analisis artefak kayu. Beberapa aktivitas yang dilakukan oleh tim Departemen Teknologi Hasil Hutan bekerjasama dengan mitra terkait antara lain melakukan identifikasi kayu dan karakterisasi sifat-sifat kayu pada rumah adat Todo dan Wae Rebo, Manggarai NTT serta identifikasi kayu temuan perahu di Bengawan Solo. Kontribusi lainnya adalah analisis identifikasi kayu pada Museum Nasional pasca kebakaran tahun 2023. Pada tahun 2008, sebuah perahu kayu kuno dari abad ke-7 ditemukan di Situs Punjulharjo, Rembang, Jawa Tengah. Dari identifikasi kayu yang dilakukan, dapat ditelusuri

asal wilayah perahu tersebut (Nugroho, 2009). Temuan lain yang cukup menantang untuk diungkap adalah Situs Liyangan. Situs Liyangan yang ditemukan tahun 2008 memiliki tiga area yang sudah diketahui yaitu hunian, pertanian, dan pemujaan berlatar Hindu yang terkubur oleh material vulkanis Gunung Sindoro. Berdasarkan identifikasi data arkeologi dan pendugaan umur melalui analisis karbon, secara kronologis situs Liyangan ditempatkan setidaknya dari abad II hingga XI Masehi (Riyanto, 2017). Rumah-rumah kayu ditemukan di situs ini dalam kondisi sudah menjadi arang. Dari identifikasi kayu tahap awal diperoleh informasi bahwa beberapa jenis kayu yang digunakan sebagai bahan bangunan Situs Liyangan antara lain adalah *Quercus* spp., *Schima wallichii* dan *Podocarpus imbricatus* (Priswanto, dkk. 2022).

Bersama tim di Departemen Teknologi Hasil Hutan, penelitian tentang warisan budaya tidak terbatas pada identifikasi kayu saja namun juga tentang karakterisasi sifat kayu serta pengembangan metode identifikasi. Teknik *minimum invasive sampling* menjadi salah satu pilihan yang tepat untuk warisan budaya dalam bentuk topeng (Prastiwi & Nugroho, 2023). Keris, yang diakui oleh UNESCO sebagai warisan budaya tak benda, juga menjadi objek yang diteliti. Identifikasi kayu yang digunakan dalam pembuatan warangka keris dapat dilakukan dengan menggunakan *synchrotron X-ray microtomography* walau dengan ukuran sampel yang kecil (Cipta, dkk. 2022). Selain mengamati struktur kayu untuk tujuan identifikasi diperlukan juga informasi tentang sifat-sifat kayu dan tingkat kerusakannya untuk dapat merumuskan kemungkinan metode konservasi dan pelestariannya. Aktivitas-aktivitas terkait hal ini mendukung SDGs 4: Pendidikan Bermutu, SDGs 11: Kota dan Komunitas Berkelanjutan dan SDGs 15: Menjaga Ekosistem Darat.

Hadirin yang berbahagia,

Penutup

Upaya mengelola hutan secara berkelanjutan dengan mengedepankan prinsip-prinsip keseimbangan antara aspek ekosistem, ekonomi maupun sosial selalu menghadapi berbagai macam tantangan.

Ilmu Kayu memiliki peran yang strategis untuk menjawab tantangan dalam pembangunan hutan yang berkelanjutan, mendukung peningkatan nilai tambah hasil hutan dan keberlanjutan industri hasil hutan. Sebagai penutup, ada beberapa catatan yang perlu digaris bawahi untuk mewujudkan pembangunan kehutanan tropis berkelanjutan, termasuk meningkatkan nilai tambah hasil hutan dari sudut pandang ilmu kayu, sebagai berikut:

1. Kesadaran akan arti pentingnya kayu, pohon dan hutan ini perlu terus ditekankan sebagai bagian dari upaya pelestarian hutan tropis Indonesia dan menjaga keberlangsungan kehidupan. Keberadaan hutan tak bisa dilepaskan dari keberadaan pohon dan kayu. Oleh sebab itu, kayu tidak bisa sekedar dipandang sebagai produk hutan atau bahan baku saja. Kayu juga harus dipandang sebagai produk biologi serta menjadi unsur keberadaan hutan, yang manfaat dan fungsinya sudah ada sejak kayu tersebut dibentuk. Kayu dibentuk oleh pohon dalam tahap-tahap yang memerlukan waktu yang panjang dan memerlukan kondisi tertentu. Dengan pemahaman ini, pemanfaatan kayu dapat dilakukan dengan lebih bijaksana.
2. Sebagai material bentukan alam, kayu memiliki sifat-sifat yang khas, unik yang sifat-sifatnya banyak tidak dimiliki maupun bisa digantikan oleh material lainnya. Penelitian dalam bidang ilmu kayu perlu terus dikembangkan dalam rangka mendukung inovasi dalam teknologi pemrosesan kayu yang menciptakan kemungkinan-kemungkinan baru untuk penggunaan kayu, meningkatkan efisiensi material, pengurangan limbah dan efisiensi produksi produk kayu.
3. Pada kondisi zaman yang semakin kompleks ini, Ilmu Kayu perlu lebih bersinergi secara lintas disiplin dengan berbagai disiplin keilmuan, antara lain teknologi kayu, silvikultur, bioteknologi, konstruksi, ilmu material, ilmu lingkungan dan berbagai disiplin ilmu lainnya termasuk arkeologi dan konservasi warisan budaya.
4. Seiring perkembangan teknologi yang cukup pesat serta dalam era digital ini, peran Ilmu Kayu juga perlu didukung oleh bidang keilmuan lainnya untuk berkolaborasi dalam memanfaatkan *Artificial Intelligence* maupun pengelolaan *Big Data* yang dapat

menyajikan kecepatan dan akurasi pengambilan keputusan atau kesimpulan terutama dalam proses identifikasi kayu.

5. Keberlanjutan keilmuan / akademis tentang ilmu kayu perlu dijaga sekaligus melakukan upaya agar diminati generasi penerus. Rekrutmen lulusan-lulusan yang memiliki kompetensi keilmuan ini pada lembaga-lembaga yang relevan sebagaimana disampaikan di atas akan turut mendukung implementasi ilmu kayu ini secara luas.

Hadirin yang berbahagia,

Ucapan terima kasih,

Sebelum menutup pidato ini, saya bersyukur ke hadirat Allah Swt., karena atas rahmat dan karunia-Nya lah saya masih diberikan kesehatan, kesempatan dan kekuatan untuk bisa berdiri di sini menyampaikan Pidato Pengukuhan Guru Besar di hadapan Ibu/Bapak dan para hadirin yang mulia.

Perkenankanlah pada kesempatan kali ini, saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya pada Pemerintah Republik Indonesia, khususnya Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah memberikan jabatan Guru Besar dalam bidang kepakaran Ilmu Kayu di Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat Rektor, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Senat Fakultas Kehutanan, Dekan dan para Wakil Dekan Fakultas Kehutanan serta Kepala Departemen Teknologi Hasil Hutan yang telah mengusulkan dan menyetujui usulan kenaikan jabatan saya sebagai Guru Besar.

Penghargaan dan ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Ketua Senat Fakultas Kehutanan Prof. Dr. Ir. San Afri Awang, M.Sc. dan jajarannya serta Dekan Fakultas Kehutanan Dr. Ir. Sigit Sunarta, S.Hut., MP., M.Sc. IPU., beserta jajaran Wakil Dekan, Ir. Dwiko Budi Permadi, S.Hut., M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. Kaharuddin, S.Hut., M.Si. dan Prof. Ir. Widiyatno, S.Hut., M.Sc., Ph.D. Penghargaan dan terima kasih juga saya sampaikan kepada Dekan Sekolah Pascasarjana UGM Prof. Ir. Siti Malkhamah, M.Sc., Ph.D. dan Wakil Dekan Dr. Techn. Khabib

Mustofa, S.Si., M.Kom. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Kepala Departemen Hasil Hutan Ir. Rini Pujiarti, S.Hut., M.Agr., Ph.D., IPM dan Kepala Laboratorium Pembentukan dan Peningkatan Kualitas Kayu Dr. Fanny Hidayati, S.Hut., M.Sc. Saya juga menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ganis Lukmandaru, S.Hut., M.Agr. dan Prof. Dr. Agr. Sc. Ragil Widyorini, ST., M.T. sebagai reviewer naskah pidato ini.

Ungkapan terima kasih yang mendalam saya sampaikan kepada Ibu/Bapak guru di TK ABA Nglihar I, SD N Nglihar 1, SMP N Kedungpoh dan SMA N 1 Wonosari Gunungkidul yang telah mendidik dan membimbing saya tentang budi pekerti dan dasar-dasar pengetahuan. Terima kasih saya sampaikan kepada Pembimbing Skripsi Prof. Dr. Ir. Sri Nugroho Marsoem, M.Agr.Sc., Pembimbing Akademik Ir. Suparno, MS. (alm.) dan Pembimbing Praktik Industri Prof. Dr. Agr. Sc. Ragil Widyorini, ST., M.T. atas ilmu dan bimbingan yang diberikan. Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Takafumi Kubo yang telah membimbing saya menempuh program master di Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Tokyo, Jepang serta Prof. Ryo Funada yang telah membimbing saya selama menempuh program doktor di TUAT dan mendorong dan menginspirasi saya untuk menekuni bidang Ilmu Kayu.

Kepada guru dan senior yang luar biasa yang telah mendahului, Prof. Dr. Soenardi Prawirohatmodjo (alm.), Ir. P. Burhanudin Siagian (alm.), Ir. Suparno, M.S. (alm.), Ir. Anwar Ch. (alm.), Dr. Joko Sulistyo (alm.), terima kasih seraya mendoakan semoga almarhum diterima di sisi Allah SWT. Selanjutnya saya ucapkan terima kasih kepada guru-guru saya yang sudah memasuki masa purna bhakti Prof. Dr. Ir. Sri Nugroho Marsoem, M.Agr., Prof. Dr. Ir. TA Prayitno, Dr. Ir. Sutjipto A Hadikusumo, Ir. Kasmudjo, M.S., Dr. Ir. Y. Suranto teriring doa semoga bapak-bapak senantiasa dikaruniai kesehatan dan kebahagiaan. Terima kasih saya sampaikan kepada keluarga besar Departemen Teknologi Hasil Hutan Dr. Rini Pujiarti, Dr. J.P. Gentur Sutapa, Dr. Sigit Sunarta, Harry Praptoyo, S.Hut., M.P., Oka Karyanto, M.Sc., Prof. Ganis Lukmandaru, Prof. Ragil Widyorini, Dr. Tomy Listyanto, Dr. Denny

Irawati, Dr. M. Navis Rofii, Dr. Fanny Hidayati, Dr. Vendy Eko Prasetyo, Dr. Hairi Cipta, Dr. Rizki Arisandi, Dr. Siti Hanifah Mahdiyanti, Dr. Riska Dwiyanra, Greitta Kusuma Dewi, M.Sc., Annisa Primaningtyas., M.Sc. dan Rafif Pujasmara, M.Sc. beserta segenap laboran dan staf administrasi yang telah memberikan suasana kehangatan dan kekeluargaan. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Bapak/Ibu Kepala Departemen, Ketua Program Studi, seluruh dosen dan tenaga kependidikan di lingkungan Fakultas Kehutanan dan Sekolah Pascasarjana UGM yang telah memberikan ruang diskusi dan kebersamaan dalam menjalankan tugas-tugas Tri Dharma. Terima kasih saya sampaikan juga kepada seluruh asisten peneliti (Dr. Hairi, Gita, Dr. Novena, Fanany dan Yogi) serta mahasiswa bimbingan yang dengan kompak, semangat dan tekun menyertai pelaksanaan penelitian dan menulis karya ilmiah.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Satoshi Nakaba (TUAT), Dr. Yusuke Yamagishi (Sumitomo Forestry), Dr. Kayo Kudo (Akita Prefectural University), Dr. Hasnat Rahman (Akita Prefectural University), Takenao Sato (Toyota Tsusho Corporation) dan segenap member *Laboratory of Morphogenesis for Plant Research*, TUAT yang menjadi keluarga selama saya menimba ilmu di TUAT dari jenjang master sampai doktor dan hingga saat ini tetap menjalin komunikasi dan membangun kerja sama dalam bidang penelitian maupun pendidikan. Penghargaan dan terima kasih saya sampaikan kepada MEXT (*Monbukagakusho*) yang telah mensupport studi saya pada jenjang magister serta *the Hitachi Scholarship Foundation* yang mensupport saya menempuh studi pada jenjang doktoral. Penghargaan dan terima kasih juga saya sampaikan kepada para pihak yang telah mendukung kegiatan Tri Dharma antara lain Kementerian Kehutanan, Perhutani, BRIN, Kementerian Keuangan, industri-industri perkayuan serta pihak-pihak lain yang tidak bisa kami sebutkan satu per satu.

Terima kasih saya sampaikan kepada Ibu/Bapak Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan serta Ibu/Bapak Wakil Dekan Bidang Penelitian dan Kerjasama di lingkungan Universitas Gadjah Mada yang senantiasa menjalankan tugas dalam suasana guyup dan

kekeluargaan. Terima kasih saya sampaikan kepada Ibu/Bapak yang selama ini menjadi mitra dalam penelitian maupun pengabdian kepada masyarakat. Terima kasih juga saya sampaikan kepada rekan-rekan alumni Fakultas Kehutanan UGM angkatan 1996 serta Forestech 96 yang menjadi rekan seperjuangan saat menempuh kuliah dan sampai saat ini masih terjaga kekompakan dalam rasa kekeluargaan.

Pada kesempatan yang berbahagia ini rasa hormat dan terima kasih yang tak terhingga saya persembahkan kepada Ibunda tercinta, Ibu Purwantinah dan Bapak sekaligus guru tercinta Bapak Saliyo Widyo Buntoro (alm.) yang dengan penuh rasa kasih sayang mengasuh, mendidik, memberikan teladan tentang kehidupan dan senantiasa memberikan doa dan restu. Rasa terima kasih yang tak terhingga juga saya haturkan kepada kedua mertua saya, Bapak Supriyono dan Ibu Sri Palupi yang dengan kasih sayang senantiasa mendukung, membimbing dan mendoakan. Rasa terima kasih saya sampaikan kepada Kakak saya drh. Retno Widyastuti dan drh. Nur Wahyudi; adik saya Tri Widyawan, S.T. dan Caroline Sulistyaningsih, S.Pi.; Achmad Prasetya, S.T.P. dan dr. Windy E.; Kurnia Widyasari, S.Si dan drh. Aria Ika Septana, MVPH atas rasa kekeluargaan dan juga perjuangan bersama untuk mewujudkan cita-cita yang salah satunya kita semua berhasil lulus dari universitas yang sangat kita banggakan ini, Universitas Gadjah Mada.

Di hari yang berbahagia dan istimewa ini, saya ingin menyampaikan rasa sayang dan terima kasih kepada anak-anakku tercinta. Anak pertama Mutiara Alya Nasywa (Alya), jadilah anak yang sholehah dan semakin tekun belajar tentang tentang Bahasa dan Kebudayaan Jepang di Fakultas Ilmu Budaya UGM, semoga lancar kuliahnya dan kelak mampu mengamalkan ilmunya. Anak Kedua Rei Reswara Sasimulia (Rei) serta anak ketiga Eichi Hilal Azzamy (Eichi), jadilah anak yang sholeh dan tercapai cita-citanya. Teristimewa, untuk istri tercinta, Puranti Wiji Rahayu, S.Hut., M.Agr., terima kasih telah setia mendampingi selama lebih dari 20 tahun dan membesarkan anak-anak dengan segala kesabaran, kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, serta pengorbanan yang tak terhingga dalam menjalankan kehidupan bersama untuk meraih kebahagiaan, keikhlasan dan Ridho Allah Swt.

Hadirin sekalian yang berbahagia,

Pengangkatan Guru Besar ini saya sadari merupakan sebuah amanah dan tanggung jawab yang besar. Dengan segala kerendahan hati, saya mohon doa restu dari para hadirin sekalian yang berbahagia agar saya dapat menunaikan amanah ini dengan sebaik-baiknya dan dapat memberikan manfaat optimal kepada lingkungannya.

Akhir kata, atas nama pribadi dan keluarga, perkenankanlah saya menghaturkan terima kasih atas keikhlasan, kesabaran, dan perhatian hadirin sekalian dalam menyimak uraian saya ini. Mohon maaf atas segala kekurangan yang ada. Semoga Allah SWT membalas kebaikan hadirin sekalian dengan limpahan rahmat, berkah dan ridho-Nya. Aamiin.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Adimahavira, A., Lukmandaru, G., Pujiarti, R., Prastiwi, F. W., & **Nugroho, W. D.** 2023. The anatomical structure of the root, stem, and branch of *Gyrinops versteegii* trees from different growing sites. *Biodiversitas*, 24(8), 4590-4598.
- Basri, E., & Wahyudi, I. 2013. Sifat dasar kayu Jati Plus Perhutani dari berbagai umur dan kaitannya dengan sifat dan kualitas pengeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* 31(2): 93-102.
- Begum, S., Kudo, K., Rahman, M. H., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Nabeshima, E., **Nugroho, W. D.**, Oribe, Y., Kitin, P., Jin, H.O. & Funada, R. 2018. Climate change and the regulation of wood formation in trees by temperature. *Trees*, 32: 3-15.
- Begum, S., Kudo, K., Matsuoka, Y., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Nabeshima, E., Rahman, M.H., **Nugroho, W. D.**, Oribe, Y., Jin H.O. & Funada, R. 2016. Localized cooling of stems induces latewood formation and cambial dormancy during seasons of active cambium in conifers. *Annals of Botany*, 117(3): 465-477.
- Bowyer, J.L. 2000. Wood science in a changing world - Where are we headed?. *Wood Science and Technology*, 34: 175.181.
- Budiadi, Widiyatno, & Ishii, H. 2017. Response of a clonal teak plantation to thinning and pruning in Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science* 29(1): 44-53.
- Catesson, A. M. 1994. Cambial ultrastructure and biochemistry: changes in relation to vascular tissue differentiation and the seasonal cycle. *Internasional Journal of Plant Sciences*, 155:251–261.
- Cetera, K., Said, Z., Boer, F. D., Qomariah, I.N., Suprpto, E., & Triyanto, S. 2021. How Wood Identification Technologies Help Ensure Timber Legality in Indonesia. *WRI Indonesia*. 1-32.
- Cipta, H., **Nugroho, W. D.**, Tazuru, S., & Sugiyama, J. 2022. Identification of the wood species in the wooden sheath of Indonesian kris by synchrotron X-ray microtomography. *Journal of Wood Science*, 68(1): 65.

- Cipta, H., Rahayu, S., & **Nugroho, W. D.** 2017. Effects of tar smearing treatment on *Falcataria moluccana* infected by gall rust disease. *Journal of Tropical Forest Science*, 10-18.
- Crouvisier-Urien K, Chanut J, Lagorce A, Winckler P, Wang Z, Verboven P, dkk. 2019. Four hundred years of cork imaging: new advances in the characterization of the cork structure. *Scientific Report*. 9:19682.
- Fromm, J. 2013. *Cellular Aspects of Wood Formation*. Springer Heidelberg New York Dordrecht London.
- Fadwati, A.D., Hidayati, F., & Na'iem, M. 2023. Evaluation of Genetic Parameters of Growth Characteristics and Basic Density of *Eucalyptus pellita* Clones Planted at Two Different Sites in East Kalimantan, Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 51(3): 222 – 237.
- Feriawan, Y., & **Nugroho, W. D.** 2025. Effect of Ethephon on the Formation of Traumatic Resin Ducts in *Pinus merkusii* Seedlings. *Forestist*, 75: 1-6.
- Funada R. 2008. Microtubules and the control of wood formation. In: Nick P (ed) *Plant microtubules: microtubules and the control of wood formation*. Springer, Heidelberg, pp 83–119.
- Funada, R., Yamagishi, Y., Begum, S., Kudo, K., Nabeshima, E., **Nugroho, W.D.**, Hasnat, M.R., Oribe, Y., & Nakaba, S. 2016. Xylogenesis in trees: From cambial cell division to cell death. In: Kim, Y.S., Funada, R., and Singh, A.P. (Eds.). *Secondary xylem biology: origins, functions, and applications*. Academic press.
- Hakim, L., Widyorini, R., Umemura, K., **Nugroho, W. D.**, & Prayitno, T. A. 2024. The characteristics of citric acid-bonded composite boards produced from alkaline-modified fibrovascular bundle of *Salacca sumatrana* fronds. *Journal of Natural Fibers*, 21(1): 2315505.
- Hakim, L., Widyorini, R., **Nugroho, W. D.**, & Prayitno, T. A. 2022. Effect of vascular tissue on mechanical properties of fibrovascular bundles of *Salacca sumatrana* Becc. fronds. *Journal of Natural Fibers*, 19(14): 9335-9347.

- Hakim, L., Widyorini, R., **Nugroho, W. D.**, & Prayitno, T. A. 2021. Radial variability of fibrovascular bundle properties of salacca (*Salacca zalacca*) fronds cultivated on Turi Agrotourism in Yogyakarta, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22(8).
- Hakim, L., Widyorini, R., **Nugroho, W. D.**, & Prayitno, T. A. 2019. Anatomical, chemical, and mechanical properties of fibrovascular bundles of *Salacca* (snake fruit) frond. *BioResources*, 14(4).
- Hansen, H.J. 1971. *Architecture in wood: A history of wood building and its techniques in Europe and North America*. New York, The Viking Press.
- Hidayati, F., Sulisty, J., Lukmandaru, G., Listyanto, T., Praptoyo, H., & Pujiarti, R. 2015. Physical and mechanical properties of 10-year old superior and conventional teak planted in Randublatung Central Java Indonesia. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis* 13(1): 11-21.
- IAWA Committee. 1964. *Multilingual glossary of terms used in wood anatomy*. Verlagsanstalt Buchdruckerei Konkordia Winterthur.
- IAWA Committee. 1989. *IAWA list of microscopic features for hardwood identification*. Wheeler, E. A., Baas, P. & Gasson, P.E., (editor). *IAWA Bull (N.S.)*. 10. 219-332.
- IAWA committee. 2004. *IAWA list of microscopic features for softwood identification*. *IAWA Journal*, 25:1-70.
- Inside Wood. 2004. *The inside wood database*. North Carolina State University Library. <http://insidewood.lib.ncsu.edu>
- Kartikawati, E., Prastiwi, F. W., & **Nugroho, W. D.** 2024. Determination of the boundary between juvenile–mature wood of *Diospyros kaki* and their wood anatomical variations. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(2): 191-203.
- Ko, J-H., Kim, W-C., Kearhley, D.E., & Han, K-H. 2016. Genetic Engineering for Secondary Xylem Modification: Unraveling the Genetic Regulation of Wood Formation. In: Kim, Y-S., Funada,

- R., Singh, A.P. (Eds). Secondary Xylem Biology: Origin, Function and Application. Elsevier.
- Lukmandaru, G., Zumaini, U. F., Soeprijadi, D., **Nugroho, W. D.**, & Susanto, M. 2016. Chemical properties and fiber dimension of *Eucalyptus pellita* from the 2nd generation of progeny tests in Pelaihari, South Borneo, Indonesia. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 44(4): 571-588.
- Ministry of Environment and Forestry Republic of Indonesia. 2024. The State of Indonesia's Forest 2024: Toward Sustainability of Forest Ecosystem in Indonesia. Ministry of Environment and Forestry Republic of Indonesia. Vol. 4.
- Mochtar, A.S. 2020. Rekomendasi Rancangan Pengelolaan Situs Cagar Budaya Perahu Punjulharjo di Rembang, Jawa Tengah. Berkala Arkeologi. 40(2): 243-266.
- Na'iem, M. 2000. Prospek Perhutanan Klon Jati di Indonesia. In: Hardiyanto, E.B. (ed), Yogyakarta, Indonesia, Prosiding Seminar Nasional Status Silvikultur 1999.
- Nakaba, S., Yamane, K., Fukahori, M., **Nugroho, W. D.**, Yamaguchi, M., Kuroda, K., Sano, Y., Lenggoro, I.W., Izuta, T. & Funada, R. 2016. Effect of epicuticular wax crystals on the localization of artificially deposited sub-micron carbon-based aerosols on needles of *Cryptomeria japonica*. Journal of Plant Research, 129: 873-881.
- Niemz, P., Mai, C, & Schimitt, U. 2023. Introduction of Wood Science. In: Niemz, P., Teischinger, A., Sandberg, D. Springer Handbook of Wood Science and Technology. Cham, Springer International Publishing, 2005-2026.
- Nilsson, T., & Rowell, R. 2012. Historical Wood - Structure and Properties. Journal of Cultural Heritage, 135: S5-S9.
- Nugroho, W.D.**, Anjayani, G.D., Tampubolon, A.F., Pradhana, A.W., Cipta, H., Tiyasa, N.P., Yamagishi, Y., Kudo, K., Rahman, M.H., Nakaba, S., & Funada. R. 2025. Stem gravitropism and tension wood formation in three tropical woody species with different wood densities. Journal of Wood Science 71(23).

- Nugroho, W. D.,** Nurharjadi, B., Rukhama, S., Cipta, H., & Rahayu, S. 2024. Changes in anatomical characteristics of *Falcataria moluccana* wood due to *Uromycladium tepperianum* infection. Southern Forests: a Journal of Forest Science, 86(3): 169-175.
- Nugroho, W. D.,** Mohammad, N. I., Lukmandaru, G., Feriawan, Y., Prastiwi, F. W., Wibowo, A., & Puspitasari, D. 2024. Physical and mechanical properties of 20-year-old clonal teak trees in Ngawi, East Java, Indonesia. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 52(5): 459-472.
- Nugroho, W. D.,** Pujiarti, R., & Tiyasa, N. P. 2019. Wood anatomical characteristics of agarwood-producing species (*Aquilaria* sp.). Wood Res, 64(5): 759-768.
- Nugroho, W. D.,** Nakaba, S., Yamagishi, Y., Begum, S., Rahman, M. H., Kudo, K., Marsoem, S.N., & Funada, R. 2018. Stem gravitropism and tension wood formation in *Acacia mangium* seedlings inclined at various angles. Annals of botany, 122(1): 87-94.
- Nugroho, W. D.,** Nakaba, S., Yamagishi, Y., Begum, S., Marsoem, S. N., Ko, J. H., Jin, H.O., & Funada, R. 2013. Gibberellin mediates the development of gelatinous fibres in the tension wood of inclined *Acacia mangium* seedlings. Annals of botany, 112(7): 1321-1329.
- Nugroho, W. D.,** Yamagishi, Y., Nakaba, S., Fukuhara, S., Begum, S., Marsoem, S. N., Ko, J. H., Jin, H.O., & Funada, R. 2012. Gibberellin is required for the formation of tension wood and stem gravitropism in *Acacia mangium* seedlings. Annals of Botany, 110(4): 887-895.
- Nugroho, W. D.,** Marsoem, S. N., Yasue, K., Fujiwara, T., Nakajima, T., Hayakawa, M., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Jin, H.O., Kubo, T., & Funada, R. 2012. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. Journal of Wood Science, 58: 185-194.

- Nugroho, W.D.** 2009. Identifikasi kayu perahu kuna situs Punjulharjo Rembang Jawa Tengah. *Berkala Arkeologi*, 29(2), 15–27. <https://doi.org/10.30883/jba.v29i2.376>.
- Ogata, K., Fujii, T., Abe, H., & Baas, P. 2008. Identification of the timbers of Southeast Asia and the Western Pacific. Kaiseisha Press.
- Panshin, A.J., & de Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology: Structure, identification, properties, and uses of the commercial woods of the United States and Canada (Fourth Edition). United States of America, McGraw-Hill Book Company.
- Perez, D.D.S., & Fauchon, T. 2003. Wood quality for pulp and paper. In: Barnett, J.R. & Jeronimidis, G. (Eds.). Wood quality and its biological basis. CRC Press, 157-186.
- Prastiwi, F. W., & **Nugroho, W. D.** 2023. Minimum invasive sampling method using hollow punch for tropical wood identification on Indonesian cultural heritage. *Ge-conservación*, 24(1): 136-141.
- Prawirohatmodjo, S. 2001. Sifat-sifat Mekanika Kayu. Bagian Penerbitan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.
- Prawirohatmodjo, S. 2012. Sifat-sifat fisika kayu : Pelajaran yang berharga untuk perbaikan kualitas produk. Cakrawala Media. Yogyakarta.
- Priswanto, H., Noerwidi, S., Tjahjono, B.D., Riyanto, S., & **Nugroho, W.D.** 2022. The some aspects of forms and raw materials wood buildings at the Liyangan site. Proceedings of the 9th Asbam International Conference (Archeology, History, & Culture In The Nature of Malay) (ASBAM 2021), 64 - 69.
- Rahayu, S., Pratama, R. G., Imron, M. A., Mahmud, J., & **Nugroho, W. D.** 2020. The occurrence of gummosis on invasive *Acacia decurrens* after Mount Merapi eruption in Yogyakarta, Indonesia. Authorea Preprints.
- Rahman, M. H., Begum, S., **Nugroho, W. D.**, Nakaba, S., & Funada, R. 2022. The effects of watering on cambial activity in the stems of evergreen hardwood (*Samanea saman*) during the pre-

monsoon season in subtropical Bangladesh. *Journal of Wood Science*, 68(1): 47.

- Rahman, M. H., Kudo, K., Yamagishi, Y., Nakamura, Y., Nakaba, S., Begum, S., **Nugroho, W. D.**, Arakawa, I., Kitin, P., & Funada, R. 2020. Winter-spring temperature pattern is closely related to the onset of cambial reactivation in stems of the evergreen conifer *Chamaecyparis pisifera*. *Scientific Reports*, 10(1): 14341.
- Rahman, M. H., **Nugroho, W. D.**, Nakaba, S., Kitin, P., Kudo, K., Yamagishi, Y., Begum, S., Marsoem, S.N., & Funada, R. 2019. Changes in cambial activity are related to precipitation patterns in four tropical hardwood species grown in Indonesia. *American Journal of Botany*, 106(6): 760-771.
- Rahman, M. H., Begum, S., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Kudo, K., Nabeshima, E., **Nugroho, W. D.**, Oribe, Y., & Funada, R. 2016. Relationship between the earlywood-to-latewood transition and changes in levels of stored starch around the cambium in locally heated stems of the evergreen conifer *Chamaecyparis pisifera*. *Trees*, 30: 1619-1631.
- Rahmawati, R. B., Widiyatno, W., Hardiwinoto, S., Budiadi, B., **Nugroho, W. D.**, Wibowo, A., & Rodiana, D. 2022. Effect of spacing on growth, carbon sequestration, and wood quality of 8-year-old clonal teak plantation for sustainable forest teak management in Java Monsoon Forest, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(8).
- Risbrudt, C.D. 2013. Wood and society. In: Rowell, R.M (Eds.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd Edition. CRC Press. 1-5.
- Riyanto, S. 2017. Situs Langan dalam bingkai sejarah Mataram Kuno. *Berkala Arkeologi*. Vol. 37 (2): 141-157.
- Rouilly, A., & Vaca-Garcia, C. 2015. Bio-Based Materials. In: Clark, J. & Deswarte, F. (Eds.). *Introduction to chemicals from biomass* (Second Edition). John Wiley & Sons: 205-248.
- Rowell, R. M. 2017. Stable and durable wood building materials based on molecular level chemical modification. In: De Proft, K.,

- Brebbia, C. A., & Connor, J. (Eds.). Timber Structures and Engineering. WIT Press.
- Safitri, N. M., Prastiwi, F. W., Salsabila, S., Feriawan, Y., Brilianto, A., & **Nugroho, W. D.** 2023. Anatomical characteristics of the leaning stem in *Pinus merkusii* seedling. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 24(7): 3796-3803.
- Savidge, R.A. 2003. Tree Growth and Wood Quality. In: Barnett, J.R. & Jeronimidis, G.(Eds.). Wood quality and its biological basis. CRC Press, 1-29.
- Schmitt, U., Koch, G., Hietz, P., & Tholen, D. 2023. Wood Biology. In: Niemz, P., Teischinger, A., Sandberg, D. (Eds.). Springer Handbook of Wood Science and Technology. Cham, Springer International Publishing, 41-138.
- Seta, G.W., Hidayati, F., Widiyatno, & Na'iem, M. 2023. Wood physical and mechanical properties of clonal teak (*Tectona grandis*) stands under different thinning and pruning intensity levels planted in Java, Indonesia. Journal of the Korean Wood Science and Technology 51(2): 109-132.
- Schoch, W. H., Bigga, G., Böhner, U., Richter, P., & Terberger, T. 2015. New insights on the wooden weapons from the Paleolithic site of Schöningen. Journal of human evolution, 89: 214-225.
- Schulz, H. 1993. The development of wood utilization in the 19th, 20th and 21st centuries. The Forestry Chronicle, 69(4): 413-418.
- Shmulsky R., & Jones PD. 2019. Forest Products and Wood Science: An Introduction. Ed. Ke-7. London (GB), Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119426400>.
- Soekotjo. 2009. Teknik Silvikultur Intensif (SILIN). Yogyakarta. Gadjah Mada University Press.
- Sunardi. 1977. Ilmu Kayu. Bagian Penerbitan. Yayasan Pembina Fakultas Kehutanan. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Teischinger, A., Muszynski, L., Niemz, P., Ross, R. J., & Sandberg, D. 2023. Glossary of Wood Science and Technology Terms. In: Niemz, P., Teischinger, A., Sandberg, D. (Eds.). Springer

Handbook of Wood Science and Technology. Cham, Springer International Publishing, 2005-2026

- Teischinger, A. 2016. Opportunities and limits of timber in construction. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE 2016). Vienna University of Technology, Austria, ISBN: 978-3- 903039-00-1.
- Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2013 tentang Pencegahan dan Pemberantasan Perusakan Hutan.
- Vademecum Kehutanan Indonesia. 2020. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Walker, J. C., & Butterfield, B. 2006. The structure of wood: form and function. In: Walker, J.C.F. (Eds.). Primary wood processing: principles and practice (Second Edition). Springer, 1-22.
- Widiyatno, Wibowo, A., Novitasari, D., Seta, G. W., Prehaten, D., Hidayati, F., **Nugroho, W. D.**, Hardiwinoto, S., Na'iem, M., & Tani, N. 2024. Effect of Improved Planting Stock on Tree Growth, Wood Properties, and Soil Fertility of Teak Plantations 10 Years After Planting. *Forest Science and Technology*, 20(1), 8-15.
- Widyorini, R., Dewi, G. K., **Nugroho, W. D.**, Prayitno, T. A., Jati, A. S., & Tejolaksono, M. N. 2018a. Properties of citric acid-bonded composite board from elephant dung fibers. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 46(2): 132-142.
- Widyorini, R., Umemura, K., Septiano, A., Soraya, D. K., Dewi, G. K., & **Nugroho, W. D.** 2018b. Manufacture and properties of citric acid-bonded composite board made from salacca frond, effects of maltodextrin addition; pressing temperature; and pressing method. *BioResources*, 13(4): 8662-8676.
- Wiedenhoeft, A. C., & Miller, R. B. 2005. Structure and function of wood. In: Rowell, R.M. (Ed.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. Boca Raton, CRC Press, 9-33.
- Yin, Y., Wiedenhoeft, A. C., & Donaldson, L. 2020. Advancing Wood Identification - Anatomical and Molecular Techniques. *IAWA Journal* 41(4): 391-392.

- Ziemińska, K. 2018. Wood Under The Microscope. *Arnoldia* 76(2): 19-23.
- Zink-Sharp, A. 2003. The Mechanical Properties of Wood. In: Barnett, J.R. & Jeronimidis, G.(Eds.). Wood quality and its biological basis. CRC Press, 187-210.
- Zobel, B.J. & van Buijtenen, J.P. 1989. Wood variation, its causes and control. Berlin, Springer-Verlag. 363 pp.

BIODATA

Nama : Prof. Dr. Ir. Widyanto Dwi Nugroho, S.Hut.,
M.Agr.

Tempat dan
tanggal lahir : Gunungkidul, 19 April 1978

Jenis Kelamin : Laki-laki

Jabatan
Fungsional : Guru Besar

Jabatan Struktural : Wakil Dekan Bidang Akademik,
Kemahasiswaan dan Kerjasama, Sekolah
Pascasarjana Universitas Gadjah Mada

NIP : 197804192002121004

NIDN : 0019037807

E-mail : wdnugroho@ugm.ac.id

Alamat Kantor : Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah
Mada Jl. Agro No. 1, Bulaksumur,
Yogyakarta, Indonesia

Alamat Rumah : Perumahan Pesona Kotagede No. C-1,
Singosaren, Banguntapan, Bantul,
Yogyakarta

Nomor Telp/HP : (+62) 8 222 3000 776

Keluarga

- Istri : Puranti Wiji Rahayu, S.Hut., M.Agr.
 Anak : 1. Mutiara Alya Nasywa
 2. Rei Reswara Sasimulia
 3. Eichi Hilal Azzamy

Riwayat Pendidikan

1. TK ABA Nglipar, Gunungkidul
2. SD Negeri Nglipar 1, Gunungkidul
3. SMP Negeri Kedungpoh, Nglipar, Gunungkidul
4. SMA Negeri 1 Wonosari, Gunungkidul
5. Sarjana (S1) - Program Studi Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
6. Master (S2) - Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Jepang, pada tahun 2008
7. Doktor (S3) - Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT), Jepang, pada tahun 2012
8. Pendidikan Profesi Insinyur (Ir.) – Program Studi Profesi Insinyur Kehutanan, Fakultas Kehutanan UGM tahun 2022

Riwayat Pekerjaan dan Jabatan

- 2022 – 2027 : Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Kerjasama, Sekolah Pascasarjana Universitas Gadjah Mada
- 2021 – 2021 : Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kerjasama, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
- 2013 – 2021 : Kepala Program Studi S1 Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
- 2019 – 2022 : Kepala Laboratorium Pembentukan dan Peningkatan Kualitas Kayu Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada
- 2002 – sekarang : Dosen Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada

Daftar Publikasi pada Jurnal Internasional Bereputasi (Sebagai Penulis Utama)

1. **Nugroho, W.D.**, Anjayani, G.D., Tampubolon, A.F., Pradhana, A.W., Cipta, H., Tiyasa, N.P., Yamagishi, Y., Kudo, K., Rahman, M.H., Nakaba, S., & Funada, R. 2025. Stem gravitropism and tension wood formation in three tropical woody species with different wood densities. *Journal of Wood Science* 71(23).
2. Feriawan, Y., & **Nugroho, W. D.** 2025. Effect of Ethephon on the Formation of Traumatic Resin Ducts in *Pinus merkusii* Seedlings. *Forestist*, 75: 1-6.
3. Kartikawati, E., Prastiwi, F. W., & **Nugroho, W. D.** 2024. Determination of the Boundary between Juvenile–Mature Wood of *Diospyros kaki* and Their Wood Anatomical Variations. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(2): 191-203.
4. **Nugroho, W. D.**, Nurharjadi, B., Rukhama, S., Cipta, H., & Rahayu, S. 2024. Changes in anatomical characteristics of *Falcataria moluccana* wood due to *Uromycladium tepperianum* infection. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 86(3): 169-175.
5. **Nugroho, W. D.**, Mohammad, N. I., Lukmandaru, G., Feriawan, Y., Prastiwi, F. W., Wibowo, A., & Puspitasari, D. 2024. Physical and Mechanical Properties of 20-Year-Old Clonal Teak Trees in Ngawi, East Java, Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(5): 459-472.
6. Safitri, N. M., Prastiwi, F. W., Salsabila, S., Feriawan, Y., Brilianto, A., & **Nugroho, W. D.** 2023. Anatomical characteristics of the leaning stem in *Pinus merkusii* seedling. *Biodiversitas*, 24(7): 3796-3803.
7. Adimahavira, A., Lukmandaru, G., Pujiarti, R., Prastiwi, F. W., & **Nugroho, W. D.** 2023. The anatomical structure of the root, stem, and branch of *Gyrinops versteegii* trees from different growing sites. *Biodiversitas*, 24(8), 4590-4598.

8. **Nugroho, W. D.,** & Prastiwi, F. W. 2023. Minimum invasive sampling method using hollow punch for tropical wood identification on Indonesian cultural heritage. *Ge-conservación*, 24(1): 136-141.
9. Rahman, M. H., **Nugroho, W. D.,** Nakaba, S., Kitin, P., Kudo, K., Yamagishi, Y., Begum, S., Marsoem, S.N., & Funada, R. 2019. Changes in cambial activity are related to precipitation patterns in four tropical hardwood species grown in Indonesia. *American Journal of Botany*, 106(6): 760-771.
10. **Nugroho, W. D.,** Pujiarti, R., & Tiyyasa, N. P. 2019. Wood anatomical characteristics of agarwood-producing species (*Aquilaria* sp.). *Wood Research*, 64(5): 759-768.
11. **Nugroho, W. D.,** Nakaba, S., Yamagishi, Y., Begum, S., Rahman, M. H., Kudo, K., Marsoem, S.N., & Funada, R. 2018. Stem gravitropism and tension wood formation in *Acacia mangium* seedlings inclined at various angles. *Annals of botany*, 122(1): 87-94.
12. Cipta, H., Rahayu, S., & **Nugroho, W. D.** 2017. Effects of Tar Smearing Treatment on *Falcataria moluccana* Infected by Gall Rust Disease. *Journal of Tropical Forest Science*, 10-18.
13. **Nugroho, W. D.,** Nakaba, S., Yamagishi, Y., Begum, S., Marsoem, S. N., Ko, J. H., Jin, H.O., & Funada, R. 2013. Gibberellin mediates the development of gelatinous fibres in the tension wood of inclined *Acacia mangium* seedlings. *Annals of Botany*, 112(7): 1321-1329.
14. **Nugroho, W. D.,** Yamagishi, Y., Nakaba, S., Fukuhara, S., Begum, S., Marsoem, S. N., Ko, J. H., Jin, H.O., & Funada, R. 2012. Gibberellin is required for the formation of tension wood and stem gravitropism in *Acacia mangium* seedlings. *Annals of Botany*, 110(4): 887-895.
15. **Nugroho, W. D.,** Marsoem, S. N., Yasue, K., Fujiwara, T., Nakajima, T., Hayakawa, M., Nakaba, S., Yamagishi, Y., Jin, H.O., Kubo, T., & Funada, R. 2012. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia*

mangium of five different provenances in Indonesia. Journal of Wood Science, 58: 185-194.

Hak Kekayaan Intelektual

1. Paten Nomor IDP000097960; Judul : PRODUK PAPAN PARTIKEL DARI PELEPAH SALAK DENGAN PEREKAT SUKROSA-AMMONIUM DIHIDROGEN FOSFAT DAN PROSES PEMBUATANNYA; Tanggal Pemberian Paten 04 Maret 2025; Inventor : Ragil Widyorini, Kenji Umemura, Widyanto Dwi Nugroho dan Andhika Lazari Giri.

Penghargaan

1. Best Presenter (2024): The 16th International Symposium of Indonesian Wood Research Society – Pontianak 11 September 2024.
2. Best Poster Presentation-Silver (2017): The 9th - Pacific Regional of Wood Anatomical Conferences (PRWAC) - Bali, Indonesia (26-29 September 2017).
3. Best Poster Presentation-Silver (2012): IUFRO - IUFRO Conference Division V Forest Product. Lisbon, Portugal (8-12 Juli 2012).
4. Satyalencana Karya Satya X Tahun dari Presiden Republik Indonesia, 14 Agustus 2019.
5. Satyalencana Karya Satya XX Tahun dari Presiden Republik Indonesia, 11 April 2023.
6. Piagam Penghargaan Kesetiaan 15 Tahun dari Rektor Universitas Gadjah Mada, 1 Juli 2020.