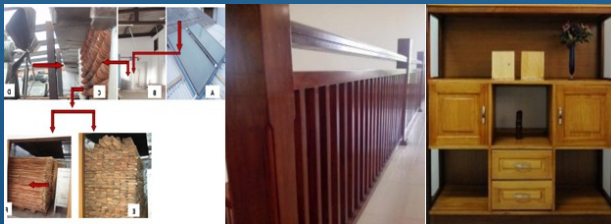


ORASI ILMIAH: RISET DAN INOVASI

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGERINGAN
ENERGI SURYA-BIOMASSA DAN MODIFIKASI
KAYU UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS KAYU
CEPAT TUMBUH

ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL SAINS
BIDANG TEKNOLOGI HASIL HUTAN
KEPAKARAN PENGERINGAN DAN
MODIFIKASI KAYU



OLEH:

EFRIDA BASRI

BADAN RISET DAN INOVASI NASIONAL

ISSN 3090-8485

**ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL SAINS
BIDANG TEKNOLOGI HASIL HUTAN
KEPAKARAN PENGERINGAN DAN
MODIFIKASI KAYU**

Diterbitkan pertama pada 2026 oleh Penerbit BRIN

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ISSN 3090-8485

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGERINGAN
ENERGI SURYA-BIOMASSA DAN MODIFIKASI
KAYU UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS KAYU
CEPAT TUMBUH**

**ORASI ILMIAH PROFESOR RISET
ILMU MATERIAL SAINS
BIDANG TEKNOLOGI HASIL HUTAN
KEPAKARAN PENGERINGAN DAN
MODIFIKASI KAYU**

**OLEH:
EFRIDA BASRI**

Penerbit BRIN

© 2026 Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)
Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Pengembangan Teknologi Pengeringan Energi Surya-Biomassa dan Modifikasi Kayu untuk
Meningkatkan Kualitas Kayu Cepat Tumbuh / Efrida Basri. Jakarta – Penerbit BRIN, 2026

ix + 108 hlm.; 14,8 x 21 cm

ISSN 3090-8485

1. Kayu cepat tumbuh
2. Energi surya
3. Energi biomassa
4. Modifikasi kayu

674.3.

Copy editor : S. Imam Setyawan
Proofreader : Hilda Yunita
Penata Isi : S. Imam Setyawan
Desainer Sampul : S. Imam Setyawan



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, Anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8, Jl. M.H. Thamrin No.8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
Whatsapp: +62 811-1064-6770
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id
 PenerbitBRIN
 @Penerbit_BRIN
 @penerbit.brin

DAFTAR ISI

BIODATA RINGKAS	1
PRAKATA PENGUKUHAN	5
I. PENDAHULUAN.....	7
II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENDINGINAN DAN MODIFIKASI KAYU	11
A. Pendinginan Kayu	11
B. Modifikasi Kayu	17
III. PENINGKATAN KUALITAS KAYU CEPAT TUMBUH MELALUI TEKNOLOGI PENDINGINAN ENERGI SURYA- BIOMASSA DAN MODIFIKASI KAYU.....	21
A. Teknologi Pendinginan Energi Surya dan Biomassa	21
B. Teknologi Modifikasi Kayu	28
IV. ENERGI SURYA DAN BIOMASSA SEBAGAI SOLUSI BERKELANJUTAN UNTUK PENDINGINAN DAN MODIFIKASI KAYU CEPAT TUMBUH.....	45
V. KESIMPULAN.....	49
VI. PENUTUP	51
UCAPAN TERIMA KASIH	53
DAFTAR PUSTAKA.....	57
DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET DAN INOVASI.....	69
DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA.....	93
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem pengeringan kayu dalam kilang pengeringan dengan satu jalur tumpukan kayu	14
Gambar 2.2. Diagram proses pengeringan shed	16
Gambar 3.1. Instalasi sistem pengeringan kayu berbasis energi biomassa	23
Gambar 3.2. Prototipe dan sistem pengeringan dari energi surya langsung dan panas biomassa	25
Gambar 3.3. Sistem pengeringan kombinasi panas dari energi surya tidak langsung dan biomassa.....	26
Gambar 3.4. Kayu jabon, jati cepat tumbuh, dan waru gunung hasil pemadatan dengan tekanan panas	30
Gambar 3.5. Performa produk kayu jati cepat tumbuh (JCT) yang diimpregnasi menggunakan formula berbasis ekstrak kayu jati tua	34
Gambar 3.6. Performa produk kayu jabon yang diimpregnasi menggunakan formula berbasis asap cair	37
Gambar 3.7. Penampilan warna permukaan kayu Jati Utama Nusantara (JUN) termodifikasi kimia-panas sebelum dan setelah diekspos di luar ruangan	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Komparasi kinerja sistem pengeringan alami (A), kombinasi energi surya dan biomas (S+B), serta pengeringan dengan kilang pengeringan (KP).....	28
Tabel 3.2. Ketahanan kayu jabon terhadap rayap dengan bahan berbasis asap cair	36

BIODATA RINGKAS



Dr. Ir. Efrida Basri, M.Sc. lahir di Bukittinggi, pada 24 Februari 1958, merupakan anak ke-2 dari Bapak Hasan Basri (Alm) dan Ibu Asma Juned (Almh). Menikah dengan Drs. Saefudin, M.Pd. dan dikaruniai 3 orang anak, yaitu Ixora Adisti, S.T., M.Sc., Gibran Oktabrani (Alm), dan Denvi Giovanita, S.Psi.

Berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 91/M Tahun 2009 tanggal 28 Agustus 2009 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama Kementerian Kehutanan, terhitung mulai tanggal 01 Januari 2006. Melalui Keputusan Presiden RI Nomor 10/M Tahun 2022 tanggal 16 Maret 2022 yang bersangkutan diangkat sebagai Peneliti Ahli Utama Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional Nomor 211/I/HK/2026 tanggal 14 September 2026 yang bersangkutan dapat melakukan orasi pengukuhan Profesor Riset.

Menamatkan Sekolah Dasar Negeri V Ambon tahun 1971; Sekolah Menengah Pertama Negeri III Ambon tahun 1974; dan Sekolah Menengah Atas Negeri II Ambon tahun 1977. Memperoleh gelar Sarjana Kehutanan dari Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 1982; gelar Magister Sains dari Universitas Gadjah Mada tahun 2011; dan gelar Doktor bidang Ilmu dan Teknologi Hasil Hutan dari IPB University tahun 2025.

Mengikuti pelatihan/seminar internasional yang terkait bidang kompetensi, antara lain *Management and Marketing*

Courses di Swedia-Finlandia (tahun 1991), *Third International Wood Science Symposium* di Kyoto (2000), *Fourth International Conference on Development of Wood Science, Wood Technology, and Forestry* di Inggris (2000), *The 7 International IUFRO Wood Drying Conference* di Tsukuba (2001), *Training Course on Industrialization of Forest Industry for ASEAN Countries* di Beijing (2005), Kunjungan Pertukaran Peneliti Indonesia-Australia yang didanai *Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR) Project No. FST/2006/117* di Melbourne dan Brisbane (2014).

Menjadi Koordinator Penelitian Rekayasa Alat dan Bahan Penunjang Industri untuk Usaha Kecil Menengah (UKM), Lingkup Badan Penelitian dan Pengembangan (Litbang) Kehutanan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2003-2010. Anggota Dewan Riset Badan Litbang Kehutanan, KLHK tahun 2013-2017. Ketua Kelompok Peneliti Pemanfaatan Hasil Hutan, Badan Litbang Kehutanan, KLHK tahun 2014-2018.

Kerjasama dengan peneliti *Wood Science* luar negeri. Tahun 1998/1999: *Drying Characteristics and Qualities of Several Wood Species of Western, Central, and Eastern Indonesia* dengan Prof. Elvin T. Choong (Alm) dari Louisiana University, USA. Tahun 1999-2001: *Improving the Quality of Fast-Growing Species Wood through Drying Technology* dengan Prof. Kazuo Hayashi (Alm) dari Ehime University, melalui JSPS-LIPI Core University Program in *the Field of Wood Science*. Tahun 1999-2000: Kerjasama Indonesia-Korea Selatan (Korea Forestry Research Institute) dalam kegiatan *The Feasibility on Small Diameter Log Resources Development in Indonesia*. Tahun 2010-2014: Kerjasama Indonesia-Australia untuk kegiatan *Improving Added Value and Small Medium Enterprise (SME)*

Capacity in the Utilisation of Plantation Timber for Furniture Production in Jepara (Australian Centre for International Agricultural Research/ACIAR Project No. FST/2006/117), dan sebagai koordinator Pengeringan Kayu Tahun 2012-2014.

Jabatan fungsional peneliti diawali sebagai Asisten Peneliti Muda tahun 1987, Ajun Peneliti Muda tahun 1989, Ajun Peneliti Madya tahun 1993, Peneliti Muda tahun 1996, Peneliti Madya tahun 2000, Ahli Peneliti Muda tahun 2004, Ahli Peneliti Madya tahun 2005, dan Ahli Peneliti Utama tahun 2006.

Menghasilkan 137 karya tulis ilmiah (KTI), baik yang ditulis sendiri maupun bersama penulis lain dalam bentuk buku, jurnal, dan prosiding. Sebanyak 55 KTI ditulis dalam bahasa Inggris, Serta 4 paten nasional tersertifikasi, 11 paten nasional terdaftar, dan 6 hak cipta, serta 6 desain industri.

Ikut serta dalam pembinaan kader ilmiah, yaitu sebagai anggota pembimbing skripsi (S-1) pada Universitas Winayamukti, Universitas Gadjah Mada, Institut Pertanian Bogor dan Universitas Hasanudin.

Aktif dalam organisasi profesi ilmiah sebagai anggota Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI) sejak tahun 1998, Asosiasi Alumni JSPS Indonesia (JAAI) sejak tahun 2016, dan Perhimpunan Periset Indonesia (PPI) sejak tahun 2022.

Menerima tanda penghargaan Satyalancana Karya Satya 20 Tahun (2003) dan Satyalancana Karya Satya 30 Tahun (2014) dari Presiden RI. Tanda pengakuan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan sebagai pendesain Mesin Pengering Kayu Tenaga Surya Ramah Lingkungan, dengan No. Registrasi 013/TRL/Reg-1/KLHK (2016).

PRAKATA PENGUKUHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim.

Assalaamu'alaikum warahmatullaahi wabarakaatuh.

Salam sejahtera untuk kita semua.

Majelis Pengukuhan Profesor Riset, Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional yang mulia dan hadirin yang saya hormati.

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga dalam kesempatan ini kita dapat berkumpul dan bersama-sama hadir pada acara orasi ilmiah pengukuhan Profesor Riset di Badan Riset dan Inovasi Nasional.

Pada kesempatan yang berbahagia ini, dengan segala kerendahan hati, izinkan saya pada tanggal (tanggal/bulan/tahun orasi dilaksanakan) menyampaikan orasi ilmiah dengan judul:

“PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PENGERINGAN ENERGI SURYA-BIOMASSA DAN MODIFIKASI KAYU UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS KAYU CEPAT TUMBUH”

Pada orasi ini, akan disampaikan *state of the art* tentang perkembangan, peluang, dan tantangan dalam penerapan teknologi pengeringan berbasis energi surya dan biomassa serta implementasi modifikasi kayu di industri pengolahan kayu, terutama untuk meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh dan mengurangi tekanan atas hutan alam.

Orasi ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai pendekatan strategis dalam pemanfaatan energi

surya dan energi biomassa sebagai sumber energi primer dalam proses pengeringan kayu. Selain itu, akan dibahas pemanfaatan bahan organik dari biomassa untuk modifikasi kayu yang aman bagi lingkungan dan manusia. Dengan demikian, langkah dan strategi kebijakan sektor kehutanan dapat diarahkan pada tujuan mereduksi emisi karbon, mendorong ekonomi sirkular, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Akhir kata, semoga orasi ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan riset pengeringan dan modifikasi kayu di Indonesia, sehingga mampu mendorong kemandirian bangsa dalam penguasaan teknologi dan memberikan manfaat yang luas bagi masyarakat.

I. PENDAHULUAN

Hutan Indonesia kaya akan berbagai jenis pohon penghasil kayu yang melimpah. Sebagai bahan berlignoselulosa, kayu memiliki nilai estetika tinggi karena keragaman tekstur, warna, dan penampilan (Shmulsky & Jones, 2019), sehingga menjadi bahan baku prioritas untuk kayu pertukangan seperti rangka atap atau kusen, maupun furnitur.

Pada periode 1980 – 2000, hampir 90% pasokan kayu bulat nasional untuk produk pertukangan berasal dari hutan alam umur tua dengan siklus tebang 50 - 80 tahun (Soerianegara & Lemmens, 1995). Setelah periode tersebut, produksi kayu dari hutan alam menurun. Untuk menjaga keberlanjutan sumber daya kayu, pemerintah dan swasta menggalakkan hutan tanaman cepat tumbuh guna memenuhi kebutuhan industri dan menekan deforestasi hutan alam. Data terkini menunjukkan 88% produksi kayu bulat nasional sebesar 57,43 juta m³ berasal dari hutan tanaman cepat tumbuh, dengan pemanfaatan terbesar oleh industri pulp dan kertas, sementara untuk kayu pertukangan, khususnya furnitur atau mebel mencapai 23,5% (Kemenhut, 2025). Meski porsinya kecil, furnitur berbasis kayu masih menjadi tulang punggung ekspor dengan kontribusi sebesar 52,62% dari total ekspor furnitur (Tirta, 2025).

Pergeseran penggunaan kayu dari hutan alam umur tua ke hutan tanaman umur muda menimbulkan masalah untuk kayu pertukangan terkait sifat fisik, mekanis, dan pengeringan (Basri, 1992; Basri & Hidayat, 1993a; Basri & Wahyudi, 2013; Basri et al., 2013c, 2021; Saefudin et al., 2023), serta keawetan kayu

yang rendah (Martha et al., 2021; Basri et al., 2025). Oleh karena itu, produk kayu yang mengutamakan kualitas dengan nilai jual tinggi dan berorientasi ekspor, memerlukan teknologi komprehensif mencakup pengeringan dan modifikasi yang dapat memperbaiki berbagai sifat kelemahan kayu cepat tumbuh.

Kayu cepat tumbuh yang identik dengan kayu umur muda memiliki porsi kayu remaja tinggi karena proses pendewasaan kayu yang belum sempurna. Kadar air kayu pada pohon cepat tumbuh yang baru ditebang sangat tinggi, dapat melebihi 150% (Basri et al., 2020). Oleh karena itu, kayu perlu dikeringkan agar memiliki stabilitas dimensi yang lebih baik. Proses pengeringan memerlukan kehati-hatian untuk menghindari kerusakan kayu dan didukung oleh teknologi yang tepat, termasuk penentuan suhu optimal (Basri et al., 2020) serta penerapan energi rendah emisi seperti energi surya dan biomassa (Basri et al., 2013a). Menurut United Nations (2022), energi surya dan biomassa dikategorikan sebagai energi terbarukan. Energi surya jumlahnya tidak terbatas sedangkan energi biomassa dapat diperbaharui. Bahan bakar biomassa meskipun menghasilkan emisi gas rumah kaca, namun sangat rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Modifikasi kayu adalah proses rekayasa material kayu melalui perlakuan fisik-mekanis, panas, atau kimiawi untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan kayu terhadap rayap atau kelembapan, yang diproses secara ramah lingkungan karena tanpa bahan kimia atau menggunakan bahan kimia yang tidak beracun (Sandberg et al., 2017). Sebelum dimodifikasi, baik secara fisik-mekanis maupun kimiawi, kayu perlu dikeringkan hingga kadar airnya di bawah 15% agar proses modifikasi

berlangsung efektif dan memberikan hasil yang optimal (Basri & Balfas, 2014, 2015a; Basri et al., 2023).

Pemanfaatan energi surya dan limbah biomassa untuk pengeringan dan modifikasi kayu bertujuan meningkatkan efisiensi energi dan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya hutan secara berkelanjutan. Upaya ini sejalan dengan target energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan Asta Cita Pemerintah RI untuk periode 2024-2029 yang berkomitmen pada kemandirian energi. Selain itu, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor 8 Tahun 2021 yang mendorong pemanfaatan limbah kayu untuk energi serta produksi material berkelanjutan guna mendukung ekonomi sirkular dan pengurangan dampak lingkungan. Dengan merujuk pada Asta Cita Pemerintah RI 2024-2029 dan Permen LHK Nomor 8 Tahun 2021, topik orasi ini diusung sebagai kontribusi nyata dalam rangka menangani masalah nasional.

Sehubungan dengan uraian yang telah disampaikan sebelumnya, naskah orasi ini disusun secara sistematis dalam enam bab utama dimulai Bab I, Pendahuluan, sebagaimana disampaikan sebelumnya. Bab II menguraikan perkembangan teknologi pengeringan dan modifikasi kayu secara kronologis mulai dari masa lalu hingga perkembangannya saat ini. Bab III mengulas hasil-hasil penelitian mengenai teknologi pengeringan berbasis energi surya-biomassa serta teknologi modifikasi yang mampu meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh secara signifikan. Bab ini juga memaparkan kebaruan riset yang dikembangkan oleh kandidat bersama tim di BRIN selama lima tahun terakhir. Bab IV memaparkan energi surya dan biomassa

sebagai solusi berkelanjutan untuk pengeringan dan modifikasi kayu cepat tumbuh serta Bab V kesimpulan. Naskah orasi ini diakhiri Bab VI sebagai penutup.

II. PERKEMBANGAN TEKNOLOGI PENGERINGAN DAN MODIFIKASI KAYU

Teknologi pengeringan kayu di tingkat global telah mengalami perkembangan nyata, dimulai dari pengeringan udara (alami), yaitu kayu ditumpuk secara terbuka di luar ruangan yang prosesnya sangat lambat karena sepenuhnya bergantung pada kondisi iklim dan cuaca setempat (Basri & Hidayat, 1993b). Seiring dengan perkembangan zaman, teknologi pengeringan kayu telah berkembang menjadi berbagai metode yang lebih maju, seperti pengeringan dalam kilang pengeringan, pengeringan vakum, teknologi berbasis energi tinggi seperti pengeringan menggunakan frekuensi radio (Figueiró et al., 2020) dan teknologi vakum dengan pemanasan listrik frekuensi tinggi (Guler & Dilek, 2020). Metode-metode ini secara signifikan dapat memangkas waktu pengeringan dan meningkatkan kualitas kayu.

Teknologi modifikasi kayu mulai diperkenalkan di industri pengolahan kayu di Eropa dan Amerika Utara sejak dekade 2010-an, diawali dengan metode modifikasi panas. Selanjutnya teknologi ini berkembang ke penggunaan bahan kimia tanpa racun (Hill, 2006). Perkembangan teknologi modifikasi kayu tidak terlepas dari pergeseran pemanfaatan bahan baku dari kayu tua hutan alam dan hutan tanaman menuju pemanfaatan kayu cepat tumbuh.

A. Pengeringan Kayu

Penentuan kadar air akhir kayu berbeda antara produk yang ditujukan untuk pasar domestik dan produk yang akan diekspor.

Apabila produk kayu akan diekspor ke negara beriklim empat musim dengan kelembapan udara relatif rendah, kayu asal Indonesia yang umumnya memiliki kadar air sekitar 15% perlu dikeringkan terlebih dahulu hingga mencapai 8–10% (Basri et al., 2000a). Oleh karena itu pengeringan kayu menjadi tahap penting untuk menghasilkan produk kayu berkualitas dengan kadar air yang tepat.

Pengeringan kayu secara tepat memengaruhi kekuatan dan kualitas pengerjaan kayu, mulai dari pemotongan, perekatan maupun modifikasi (Basri, 2009; Basri & Balfas, 2015a). Tanpa proses pengeringan, kayu akan menyusut setelah beradaptasi dengan lingkungan udara yang lebih kering di tempat tujuan. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada produk kayu, baik produk solid maupun perekatan atau laminasi (Mangurai et al., 2022). Jika kadar air pada produk perekatan/laminasi kayu masih tinggi, kemampuan perekat untuk berikatan dengan serat kayu tidak optimal. Meskipun perekat mampu menembus permukaan kayu, reaksi yang terjadi hanya antara perekat dengan air, sehingga ikatan yang terbentuk sangat lemah (Rosales et al., 2023).

Mengingat produk kayu untuk tujuan ekspor menuntut waktu pengerjaan yang cepat, pengeringan kayu secara alami yang membutuhkan waktu lama tidak lagi memadai. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi pengeringan buatan yang mampu mempercepat proses pengeringan tanpa menurunkan kualitas kayu.

Teknologi pengeringan buatan yang paling populer dalam industri pengolahan kayu di Indonesia adalah kilang pengeringan (*kiln drying*), yang dilengkapi alat pengatur suhu, kelembapan, dan sirkulasi udara sehingga waktu pengeringan lebih cepat dan kualitas kayu tetap terjaga. Untuk jenis kayu

yang sulit dikeringkan dan bernilai tinggi, diterapkan proses pra-pengeringan sebagai langkah pendahuluan sebelum masuk ke dalam kilang pengeringan. Penjelasan lebih rinci mengenai teknologi dalam kilang pengeringan dan perlakuan pra-pengeringan tersebut akan diuraikan pada bagian selanjutnya.

1. Kilang Pengeringan

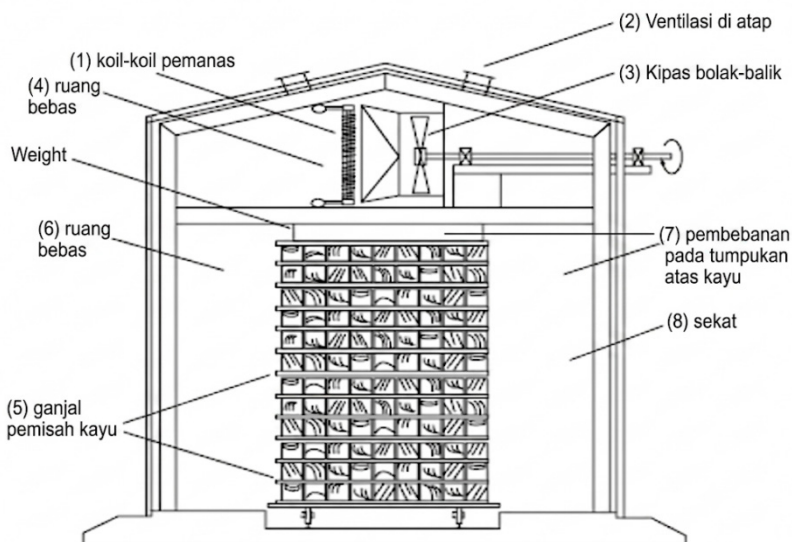
Perkembangan teknologi kilang pengeringan kayu mulai menunjukkan kemajuan yang signifikan pada awal abad ke-20, ketika kilang pengeringan kayu diperkenalkan secara komersial di Amerika Serikat. Inovasi ini menandai era baru pengeringan kayu secara mekanis, walaupun pengaturan suhu pada masa tersebut masih dilakukan secara manual (Neef, 2018).

Penerapan kilang pengeringan di Indonesia semakin luas sejak pemerintah menggalakkan ekspor produk kayu melalui Surat Keputusan Menteri Perdagangan No. 292/Kp/IX/88 (Barly & Basri, 1990). Teknologi ini banyak dipilih karena mampu menghasilkan kayu kering berkualitas dengan kadar air akurat dalam waktu singkat (Basri & Hidayat, 1993b; Basri et al., 1999). Namun, pengeringan kayu menggunakan kilang pengeringan hanya diterapkan oleh industri menengah hingga besar karena membutuhkan investasi awal yang tinggi serta volume kayu yang besar dan kontinu untuk mencapai efisiensi biaya.

Dalam sistem kilang pengeringan, suhu merupakan faktor krusial dalam proses pengeringan kayu. Karena setiap jenis dan kondisi kayu memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap suhu, proses pengeringan harus dikendalikan melalui bagan pengeringan yang disusun secara sistematis. Bagan ini berfungsi mengatur perubahan suhu dan kelembaban udara secara bertahap sesuai dengan tingkat penurunan kadar air kayu selama

proses pengeringan (Basri et al., 2020). Bagan pengeringan ini ditentukan berdasarkan hasil pengujian terhadap sifat-sifat kayu (Basri, 2000b; Basri et al., 2019). Bagan yang disusun dengan mengacu pada metode Terazawa (Terazawa, 1965) yang dimodifikasi sesuai kondisi kayu tropis, kemudian diuji coba pada kilang pengeringan, seperti yang disajikan pada Gambar 2.1.

Sampai saat ini telah diperoleh bagan pengeringan untuk 173 jenis kayu Indonesia berdasarkan hasil penelitian Basri (1990, 2000a, 2000b, 2001, 2008, 2009), Basri et al. (2000b, 2001a, 2005a, 2005b, 2007a, 2007b, 2009, 2013b), Basri & Yuniarti (2006), Yuniarti & Basri (2017), serta Basri & Pari (2019).



Sumber: Bergman (2010)

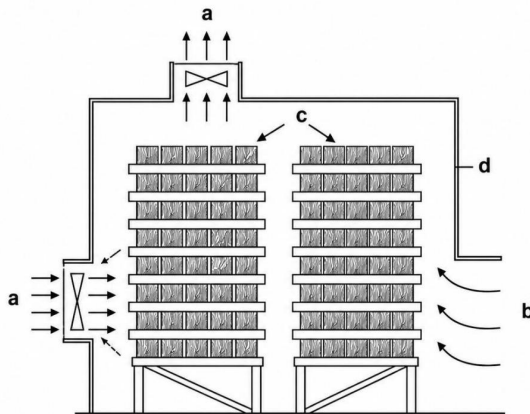
Gambar 2.1. Sistem pengeringan kayu dalam kilang pengeringan dengan satu jalur tumpukan kayu

Pengembangan bagan pengeringan yang mengacu pada metode Terazawa (Terazawa, 1965) telah menghasilkan suatu rancangan yang memperoleh perlindungan hak cipta P/ID No. EC00202058460 dari Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.

2. Perlakuan Pra-Pengeringan

Pada jenis kayu yang sulit dikeringkan, perlakuan pra-pengeringan perlu dilakukan sebelum pengeringan dalam kilang pengeringan. Dua metode yang umum digunakan adalah pengeringan *shed* dan perlakuan teresan.

Bangunan pengeringan *shed* berbentuk *boks* (Gambar 2.2), dengan sisi depan dan kedua sisi samping tertutup rapat. Sebaliknya, dinding belakang yang berfungsi sebagai jalur masuk udara hanya ditutup sebagian menggunakan tirai plastik (Gambar 2.2d) untuk memperlancar sirkulasi udara dari luar ke dalam ruang pengeringan. Suhu di dalam *shed* berkisar antara 20–25 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini efektif menurunkan kadar air kayu mangium dari sekitar 90% menjadi 40%. Selain itu, pengeringan *shed* mampu mengurangi risiko cacat bentuk dan pecah internal yang sering terjadi selama proses pengeringan lanjutan dalam kilang pengeringan (Basri et al., 2002; Basri, 2005a).



Keterangan: (a) *Exhaust fan*: menarik dan mengevakuasi udara basah dari kayu ke luar ruangan;
 (b) Aliran udara masuk: mempercepat pelepasan air dengan mengalirkan angin dari luar ke dalam ruangan;
 (c) Tata susun kayu: memengaruhi efektivitas sirkulasi udara selama pengeringan;
 (d) Tirai plastik setengah dinding bangunan

Gambar 2.2. Diagram proses pengeringan *shed*

Keterangan: (a) *Exhaust fan*: menarik dan mengevakuasi udara basah dari kayu ke luar ruangan; (b) Aliran udara masuk: mempercepat pelepasan air dengan mengalirkan angin dari luar ke dalam ruangan; (c) Tata susun kayu: memengaruhi efektivitas sirkulasi udara selama pengeringan; (d) Tirai plastik setengah dinding bangunan.

Sumber: Basri (2005a)

Gambar 2.2. Diagram proses pengeringan *shed*

Terasan merupakan metode penghilangan kulit kayu dan kambium di sekeliling batang pohon untuk memutus aliran nutrisi dari akar ke daun serta menghambat distribusi hasil fotosintesis ke seluruh bagian pohon. Proses ini menyebabkan pohon mengering secara alami tanpa tekanan pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terasan efektif

menurunkan kadar air kayu mangium secara nyata dari 122% ke 60%, meningkatkan kerapatan, menghaluskan permukaan kayu, serta mencegah pecah pada bagian dalam kayu saat diproses lanjut dalam kilang pengeringan (Basri et al., 2015).

B. Modifikasi Kayu

Teknologi modifikasi kayu berfokus pada rekayasa kimia, panas, dan fisik untuk meningkatkan ketahanan kayu terhadap pelapukan, stabilitas dimensi, serta kekerasannya (Sandberg et al., 2017). Saat ini, pendekatan ramah lingkungan menjadi prioritas utama dalam modifikasi kayu. Metode berbasis bahan kimia tidak beracun, seperti asetilasi dan furfurilasi, kini dikembangkan sebagai alternatif berkelanjutan. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan kimia, penelitian modifikasi kimia saat ini juga menitikberatkan pada pemanfaatan nanopartikel sebagai agen fungsional yang lebih efektif (Nagraik et al., 2023). Di samping itu, untuk memenuhi kebutuhan konstruksi bangunan yang kuat dan tahan lama, telah dikembangkan berbagai produk kayu rekayasa, seperti kayu laminasi dan kayu lapis silang (Sandberg et al., 2017). Di Indonesia, meskipun penerapan teknologi modifikasi kayu belum seintensif di negara-negara maju, berbagai hasil penelitian telah membuktikan potensinya dalam meningkatkan kualitas, memperluas pemanfaatan, dan meningkatkan nilai tambah sumber daya kayu nasional. Berikut, tiga tipe utama modifikasi kayu yang umum dikenal dalam industri pengolahan kayu global.

1. Modifikasi Panas

Modifikasi panas pada kayu telah lama diterapkan dan dikomersialkan oleh industri pengolahan kayu di Amerika dan Eropa (Hidayat & Febrianto, 2018). Awalnya, kayu yang akan

dimodifikasi dikeringkan terlebih dahulu hingga kering udara, kemudian dipanaskan selama beberapa jam pada suhu 150 °C untuk menstabilkan dimensinya. Namun, pada suhu tersebut, terutama kayu umur muda masih menyerap air kembali, sehingga dimensinya tidak stabil (Basri et al., 2022a). Stabilisasi dimensi kayu melalui perlakuan panas baru tercapai pada suhu di atas 200 °C (Martha et al., 2021). Untuk meningkatkan kerapatan, kekerasan permukaan, dan ketahanan kayu terhadap goresan, maka modifikasi panas dikombinasikan dengan tekanan atau kempa panas (Basri & Balfas, 2015a; Basri & Saefudin, 2021; Basri et al., 2022a).

2. Modifikasi Impregnasi

Modifikasi impregnasi kayu merupakan metode yang memasukkan bahan impregnan berupa bahan kimia maupun resin ke dalam struktur kayu untuk memperoleh sifat dan kinerja yang diinginkan (Hill, 2006). Agar bahan impregnan dapat menembus dan terfiksasi di dalam dinding sel kayu, maka selama fase impregnasi dinding sel tersebut harus dalam keadaan mengembang sementara ukuran molekul impregnan harus cukup kecil untuk memasuki mikropori dinding sel dan menempati sebagian besar tempat ikatan air pada polimer kayu (Sandberg et al., 2017). Keberhasilan modifikasi impregnasi hanya terjadi jika bahan impregnan yang sudah mengisi mikropori dinding sel tidak luntur dan menghasilkan berbagai perbaikan sifat-sifat kayu (Hill, 2006).

3. Modifikasi Kimia

Modifikasi kimia melibatkan reaksi antara bahan kimia tidak beracun yang diimpregnasikan ke dalam struktur kayu dengan gugus hidroksil pada dinding sel kayu, membentuk ikatan

kovalen yang stabil. Reaksi ini meningkatkan stabilitas dimensi dan ketahanan kayu terhadap serangan jamur serta rayap (Zelinka et al., 2022; Basri et al., 2022b). Dua tipe modifikasi kimia yang sudah dikenal adalah asetilasi dan furfurilasi (Hill, 2006). Pada proses asetilasi, gugus hidroksil kayu digantikan oleh gugus asetil melalui reaksi kimia untuk menurunkan daya serap air (Hill, 2006). Sementara itu, proses furfurilasi dilakukan dengan mengimpregnasi larutan furfuril alkohol ke dalam struktur kayu untuk memadatkan kayu (Mubarok et al., 2025). Saat ini, teknik modifikasi kimia asetilasi dan furfurilasi telah diproduksi dalam skala industri, terutama di Eropa.

III. PENINGKATAN KUALITAS KAYU CEPAT TUMBUH MELALUI TEKNOLOGI PENGERINGAN ENERGI SURYA-BIOMASSA DAN MODIFIKASI KAYU

Kayu cepat tumbuh seperti jati umur muda, sengon, jabon, mangium, mahoni, dan gmelina sangat penting untuk ketahanan material hayati dan keberlanjutan hutan di Indonesia. Namun, untuk kebutuhan kayu pertukangan kualitasnya masih rendah. Dengan mengombinasikan energi surya dan biomassa untuk proses pengeringan dan modifikasi kayu, kualitas kayu dapat ditingkatkan secara efektif dan berkelanjutan secara lingkungan. Integrasi kedua teknologi ini memungkinkan kayu cepat tumbuh dapat bersaing dengan kayu umur tua dari hutan alam dan hutan tanaman.

A. Teknologi Pengeringan Energi Surya dan Biomassa

Industri pengolahan kayu membutuhkan energi tinggi, terutama untuk proses pengeringan yang dapat menyumbang hingga 70% dari total konsumsi energi dalam produksi (Basri & Rohadi, 1995; Blanchet et al., 2016). Sebagian besar energi tersebut bersumber dari bahan bakar fosil yang harganya terus meningkat akibat ketersediaan yang makin menipis. Selain mahal, bahan bakar fosil tidak ramah lingkungan. IEA (2022) melaporkan bahwa hampir 80% emisi CO₂ global berasal bahan bakar fosil, sehingga perlu dicarikan sumber energi lain yang ramah lingkungan, di antaranya adalah energi surya dan biomassa.

Energi surya dan biomassa berpotensi besar untuk pengeringan kayu karena melimpah dan ramah lingkungan. Energi surya tidak terbatas serta tidak memicu pemanasan global. Kawasan Barat Indonesia menerima radiasi surya rata-rata 4,45

KWh/m²/hari dengan variasi bulanan 10%, sedangkan Kawasan Timur Indonesia 5,72 KWh/m²/hari dengan variasi sekitar 9% (Sunarti et al., 2017). Energi biomassa juga tersedia melimpah dari limbah industri pengolahan kayu. Kegiatan penggergajian dan penyerutan kayu menghasilkan limbah biomassa sekitar 30% per m³ kayu, sementara industri kayu lapis menghasilkan limbah rata-rata 44,62% (Basri et al., 2020). Pemanfaatan kedua energi tersebut untuk pengeringan kayu dapat menekan biaya produksi.

Pada industri pengolahan kayu yang lahannya terbatas tetapi memiliki limbah biomassa melimpah, limbah tersebut dapat menjadi sumber energi utama pengeringan. Sebaliknya, pada industri yang memiliki lahan luas dengan paparan sinar matahari tidak terhalang, energi surya dapat menjadi sumber energi utama, sedangkan limbah biomassa digunakan sebagai substitusi panas pada malam hari atau saat musim penghujan.

1. Pengeringan Kayu Berbasis Energi Biomassa

Untuk mengatasi kesulitan pengadaan kilang pengeringan pada industri pengolahan kayu skala kecil di Kabupaten Jepara yang memiliki lahan terbatas, telah dirancang sistem pengeringan berbasis panas biomassa dari limbah penggergajian dan penebangan, seperti ranting, cabang pohon, hingga sebetan (Basri et al., 2013b). Bangunan pengering tersebut memiliki kapasitas tampung sekitar 8-10 m³ kayu (Gambar 3.1).



Keterangan: (A) Tungku bakar; (B) Kipas pembuang udara basah dari ruangan; (C) Panel kontrol; (D) Pintu keluar-masuk kayu ke dalam ruang pengering (lokasi Kec. Mlonggo, Kab. Jepara)

Sumber: Basri et al. (2013b)

Gambar 3.1. Instalasi sistem pengeringan kayu berbasis energi biomassa

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat pengering yang dikembangkan mampu mengeringkan kayu jati (*Tectona grandis*) dan mahoni (*Swietenia mahagoni*) berkapasitas 2,5 m³ hingga mencapai kadar air 10% dalam waktu sekitar 4 hari untuk sortimen setebal 2,5 cm dan 6 hari untuk sortimen setebal 4 cm (Basri et al., 2013b).

Hasil analisis kelayakan finansial pada pengeringan kayu jati oleh Supriadi et al. (2014) menunjukkan prospek yang sangat menjanjikan bagi penerapan teknologi pengeringan kayu ini. Dengan harga jual kayu jati kering saat itu Rp 11.000.000/m³

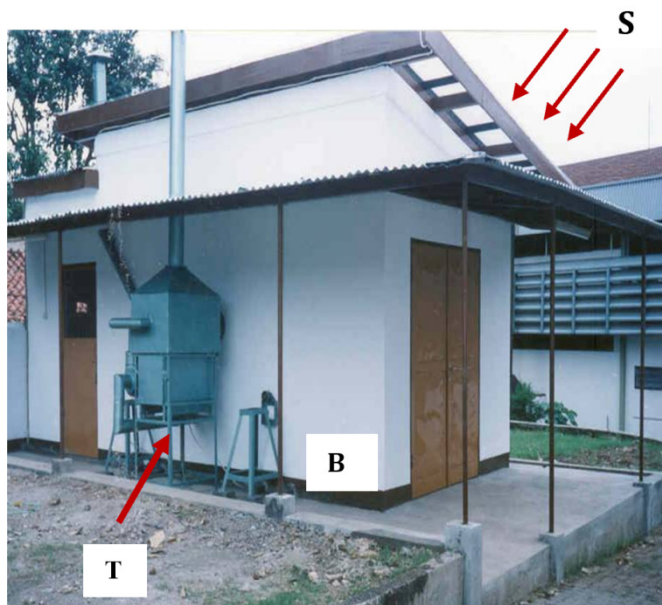
dan biaya produksi sekitar Rp 10.191.267/m³, diperoleh margin keuntungan sebesar Rp 808.733/m³, sementara titik impas (BEP) dapat tercapai pada volume produksi 29 m³. Investasi ini dinilai menguntungkan dengan *net present point* (NPV) positif sebesar Rp 692.857.000 dan *internal rate of return* (IRR) mencapai 116,60%. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi pengeringan yang dikembangkan tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga memberikan keuntungan ekonomi yang menarik, sehingga berpotensi menjadi solusi bagi industri pengolahan kayu skala usaha kecil dan menengah yang memiliki keterbatasan modal.

2. Pengeringan Kayu Kombinasi Energi Surya dan Biomassa

Untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya (S) dan biomassa (B), dikembangkan sistem pengeringan kombinasi energi surya dan biomassa (S+B) dengan desain sederhana (Basri & Rahmat, 2001). Sistem ini terdiri dari bangunan pengering energi surya yang terintegrasi dengan tungku bahan bakar biomassa (Gambar 3.2). Kemiringan atap bangunan mengarah ke Timur agar sinar surya dapat diserap secara optimal oleh kolektor surya sehingga durasi panas menjadi lebih panjang. Sinar surya yang dikumpulkan oleh kolektor surya langsung dialirkan ke seluruh permukaan kayu yang ditata dalam ruang pengering. Tungku bakar berfungsi mengalirkan panas dari biomassa pada malam hari atau saat cuaca mendung.

Berbeda dengan sistem pengeringan pada Gambar 3.2, sistem pengeringan kombinasi energi surya dan biomassa pada Gambar 3.3 memperlihatkan panas dari sinar surya yang dikumpulkan oleh kolektor surya tidak langsung ke kayu, melainkan digunakan untuk memanaskan air dalam ketel uap. Uap dari ketel dialirkan ke dalam pipa-pipa berlapis kawat tembaga, lalu didistribusikan

secara merata ke seluruh permukaan kayu oleh kipas. Pada malam hari atau saat cuaca mendung dan hujan, kebutuhan panas dipenuhi melalui pembakaran limbah biomassa di tungku.

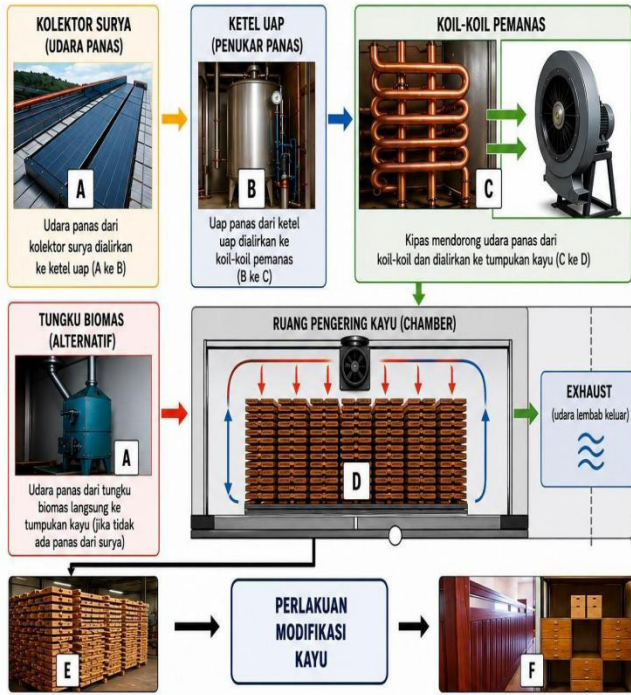


Keterangan: (B) Bangunan pengeringan; (S) Sinar surya; (T) Tungku bakar biomassa (lokasi: Pusat Pengembangan Hutan Berkelanjutan, Bogor)

Sumber: Basri et al. (2020)

Gambar 3.2. Prototipe dan sistem pengeringan dari energi surya langsung dan panas biomassa

ALUR PENGERINGAN DAN MODIFIKASI KAYU



KETERANGAN:

A – E = persiapan sortimen kayu sebelum perlakuan modifikasi

F = produk kayu modifikasi

→ Udara panas dari kolektor surya dialirkan ke ketel uap (A ke B)

→ Uap panas dari ketel uap dialirkan ke koil-koil pemanas (B ke C)

→ Kipas mendorong udara panas dari koil-koil dan dialirkan ke tumpukan kayu (C ke D)

→ Udara lembab dalam ruangan disedot (dikeluarkan) oleh exhaust fan

→ Udara panas dari tungku biomas langsung ke tumpukan kayu (jika tidak ada panas dari surya)

Gambar 3.3. Sistem pengeringan kombinasi panas dari energi surya tidak langsung dan biomassa

Hasil uji coba menunjukkan bahwa penggunaan energi surya sebagai sumber panas tunggal mampu mempersingkat waktu pengeringan sebesar 44-75% pada kayu ringan dan 17-32% untuk kayu keras (Basri, 1993, 1994; Basri & Rohadi, 1995;

Yuniarti & Basri, 2008). Dibandingkan dengan pengeringan menggunakan energi surya tunggal, sistem kombinasi surya dan biomassa dapat mempercepat waktu pengeringan kayu antara 35% hingga 82% dengan kualitas kayu yang setara dengan hasil pengeringan di kilang pengeringan (Basri, 1998, 2002; Basri et al., 2003; Basri & Yuniarti, 2005; Yuniarti & Basri, 2009). Peningkatan efisiensi disebabkan adanya panas tambahan dari biomassa yang memastikan proses pengeringan berlangsung secara kontinyu dari siang hingga malam hari atau saat cuaca mendung (Basri et al., 2020).

Analisis kelayakan finansial oleh Basri & Supriadi (2006) menunjukkan bahwa mesin pengering kombinasi energi surya (S+B) berkapasitas 19 m³ kayu jati memiliki prospek ekonomi yang sangat menjanjikan. Titik impas (BEP) dapat dicapai pada volume produksi 86,3 m³, sementara nilai *net present point* (NPV) mencapai Rp 374.245.458 dan *internal rate of return* (IRR) mencapai 80%. Hasil ini membuktikan kelayakan operasional mesin pengering tersebut. Sistem pengering ini sesuai untuk diaplikasikan di industri pengolahan kayu skala UKM yang memiliki modal terbatas. Sistem pengeringan S+B telah mendapat paten tersertifikasi No. IDP000060322.

Perbandingan kinerja antara sistem pengeringan alami (A), energi surya dan biomas (S+B), serta kilang pengeringan (KP), disajikan pada Tabel 3.1. Pemilihan metode pengeringan dari tiga sistem tersebut berdasarkan pertimbangan utama: modal investasi, tujuan penggunaan akhir kayu, ketersediaan bahan baku kayu secara kontinu, dan target pasar.

Tabel 3.1. Komparasi kinerja sistem pengeringan alami (A), kombinasi energi surya dan biomas (S+B), serta pengeringan dengan kilang pengeringan (KP)

Keterangan	Sistem pengeringan		
	A	S+B	KP
Suhu, <i>Rh</i> , sirkulasi udara	Tidak dapat dikontrol, bergantung alam	<i>Rh</i> diatur secara manual	Suhu, <i>Rh</i> , sirkulasi udara dapat dikontrol
Waktu pengeringan	1 sampai beberapa bulan/tahun	3 hari- beberapa minggu	1 hari- beberapa minggu
Kadar air akhir	Kering udara, berkisar 14-19%	Sesuai dengan yang diinginkan	Sesuai dengan yang diinginkan
Cacat fisik kayu	Sulit dihindari	Dapat dihindari	Dapat dihindari
Cacat karena jamur	Tidak dapat dihindari. Kayu harus diawetkan sebelum dikeringkan	Dapat dihindari, suhu awal minimal 55 °C dan <i>Rh</i> ruangan rendah	Dapat dihindari, suhu awal minimal 55 °C, <i>Rh</i> ruangan rendah

Sumber: Basri et al. (2020)

B. Teknologi Modifikasi Kayu

Pesatnya perkembangan teknologi modifikasi kayu didorong oleh tuntutan pasar terhadap material berkualitas sekaligus menjaga kelestarian alam. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut,

berbagai metode telah dikembangkan dan diterapkan dalam industri pengolahan kayu. Empat tipe modifikasi kayu yang sudah diteliti kandidat, meliputi: 1) modifikasi panas dan tekanan panas, 2) modifikasi impregnasi, 3) modifikasi kimia, 4) modifikasi kombinasi kimia dan panas.

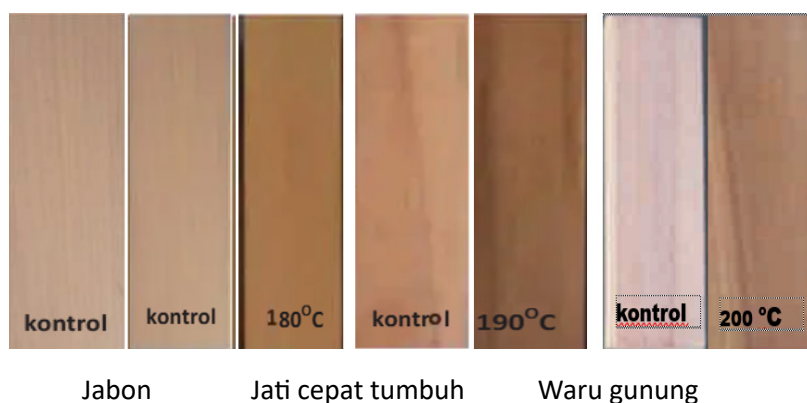
1. Modifikasi Panas dan dengan Tekanan Panas

Modifikasi panas dilakukan dengan memanaskan kayu pada suhu tinggi selama 1 hingga beberapa hari. Suhu tinggi menyebabkan perubahan kimia penyusun dinding sel kayu yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin secara permanen, sehingga meningkatkan kualitas kayu (Hill et al., 2021). Sementara itu, modifikasi kayu dengan tekanan panas dilakukan melalui pemanasan pada suhu tinggi selama beberapa jam, yang dilanjutkan dengan proses kempa panas. Perlakuan ini secara nyata mengubah berbagai karakteristik kayu, meliputi morfologi, penampilan visual, sifat fisik-mekanis, serta ketahanan kayu terhadap serangan jamur perusak kayu (Shukla, 2019).

Penelitian modifikasi kayu melalui perlakuan panas telah dilakukan pada kayu jati (*Tectona grandis* Linn F) cepat tumbuh (Martha et al., 2021), sedangkan modifikasi kayu dengan tekanan panas telah dilakukan pada kayu jabon (*Anthocephalus cadamba* Miq) (Basri et al., 2014; Basri & Balfas, 2015a), jati cepat tumbuh (Basri & Balfas, 2015a; Basri & Saefudin, 2021), dan kayu waru gunung (*Hibiscus macrophyllus* Roxb) (Basri et al., 2022a). Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi tersebut mampu meningkatkan kestabilan dimensi, kerapatan, serta menurunkan kadar air kesetimbangan dan kekerasan permukaan kayu.

Peningkatan kualitas juga mampu menaikkan kelas kekuatan kayu dari kelas IV (kurang kuat) menjadi kelas III (sedang).

Permukaan kayu yang dimodifikasi dengan tekanan panas menjadi lebih mengilap, tekstur halus, dan warnanya menjadi lebih gelap (Gambar 3.4). Fenomena ini disebabkan oleh degradasi hemiselulosa (Gasparik et al., 2019) serta migrasi lignin ke permukaan kayu (Shmulsky & Jones, 2019). Modifikasi kayu dengan tekanan panas pada kayu waru gunung, jati cepat tumbuh, dan jabon telah memenuhi SNI 0608-2017 untuk kayu furnitur standar.



Gambar 3.4. Kayu jabon, jati cepat tumbuh, dan waru gunung hasil pemadatan dengan tekanan panas

Kebaruan penelitian ini terletak pada kondisi tekanan panas yang spesifik untuk berbagai jenis kayu cepat tumbuh Indonesia. Pada kayu jati cepat tumbuh, perlakuan tekanan sebesar 25 kg/cm² pada suhu 185–190 °C terbukti mampu meningkatkan kualitas kayu secara signifikan (Basri & Saefudin, 2021). Pendekatan serupa diterapkan pada kayu jabon pada suhu 180

°C (Basri & Balfas, 2015a) dan kayu waru gunung pada suhu 200 °C (Basri et al., 2022a).

2. Modifikasi Impregnasi

Modifikasi impregnasi merupakan metode pengisian bahan impregnan seperti resin, minyak nabati, dan ekstrak bagian tanaman ke dalam struktur kayu untuk memperoleh sifat dan performa yang diinginkan (Hill, 2006; Hidayat & Febrianto, 2018). Keberhasilan metode ini ditentukan oleh kemampuan bahan impregnan menembus mikropori dinding sel, tanpa mudah luntur, dan menghasilkan perbaikan sifat-sifat kayu secara nyata (Balfas et al., 2015). Dalam penelitian yang dilakukan kandidat bersama tim, modifikasi impregnasi difokuskan pada dua tujuan utama, yaitu merekayasa kayu cepat tumbuh agar memiliki karakteristik yang mendekati kayu jati tua serta meningkatkan stabilitas dimensi, kekuatan, dan ketahanan terhadap serangan rayap pada berbagai jenis kayu cepat tumbuh.

2.1. Impregnasi Kayu dengan Ekstrak Jati dan Resin

Jati (*Tectona grandis*) merupakan salah satu jenis kayu tropis paling bernilai di dunia. Di Indonesia, jenis ini dikelompokkan sebagai Kayu Indah I (*fancy wood*) berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan No. 163/Kpts-II/2003. Karakteristik jati berkualitas tinggi umumnya diperoleh dari pohon yang telah mencapai umur sekitar 50 tahun atau lebih. Namun, pasokan kayu jati tua dari hutan tanaman mengalami penurunan yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Sebagai salah satu upaya mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan varietas jati cepat tumbuh (JCT). Kayu JCT menunjukkan pertumbuhan cepat serta batang lurus, namun memiliki sifat inferior (Basri

et al., 2022b, 2024a, 2024b), sehingga perlu ditingkatkan kualitasnya.

Kayu jati tua tiruan telah dikembangkan melalui teknik modifikasi dengan mengimpregnasi ekstrak serbuk kayu jati tua ke dalam struktur kayu cepat tumbuh. Kayu yang digunakan meliputi kayu jati dan kayu jabon (*Anthocephalus cadamba*) berumur 5 tahun, serta kayu karet (*Hevea brasiliensis*) berumur 25 tahun. Pendekatan ini didasarkan pada tingginya kandungan senyawa kuinon dan tanin dalam serbuk kayu jati tua.

Pada kayu jati berumur 50 tahun, kadar kuinon dapat mencapai 14% dan cenderung meningkat seiring pertambahan umur pohon (Saefudin et al., 2018). Senyawa kuinon berperan sebagai pengawet alami yang melindungi kayu terhadap jamur dan rayap (Balfas et al., 2015; Basri et al., 2025). Sementara itu, tanin berkontribusi terhadap ketahanan kayu terhadap rayap dan jamur pelapuk (Mubarok et al., 2022; Basri et al., 2025), sekaligus memberikan warna khas pada kayu (Basri & Balfas, 2014). Oleh karena itu, tanin banyak dimanfaatkan sebagai bahan impregnan dan perekat kayu (Pizzi, 2019; Santoso et al., 2020). Dengan memanfaatkan senyawa alami yang berasal dari kayu jati tua, pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh, tetapi juga membuka peluang pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai sumber bahan fungsional bernilai tambah tinggi.

Impregnasi kayu menggunakan campuran ekstrak serbuk kayu jati tua dan resin damar 8%, mampu meningkatkan stabilitas dimensi dan kekuatan kayu karet umur 25 tahun dan kayu jati cepat tumbuh (JCT) umur 5 tahun secara signifikan (Basri & Balfas, 2014). Perlakuan tersebut juga menghasilkan warna kayu yang lebih cokelat menyerupai karakter warna kayu jati tua. Berdasarkan SNI 7207-2014, ketahanan kayu

karet terhadap rayap tanah dan rayap kayu kering meningkat dari kelas IV (kurang awet) menjadi kelas II (awet), sedangkan pada kayu JCT meningkat dari kelas IV menjadi kelas I (sangat awet) (Balfas et al., 2015). Kayu jati cepat tumbuh yang telah dimodifikasi menunjukkan kemiripan warna dan karakteristik visual yang khas dengan kayu jati tua (Gambar 3.5).

Impregnasi kayu JCT dan jabon berumur 5 tahun menggunakan campuran ekstrak serbuk kayu jati tua dan 5% resin resorsinol teknis (b/v) secara nyata meningkatkan stabilitas dimensi kedua jenis kayu. Perlakuan ini menghasilkan nilai efisiensi anti pengembangan lebih dari 70% pada kayu JCT dan mencapai 100% pada kayu jabon, yang menunjukkan penghambatan pengembangan dimensi yang sangat efektif (Basri & Balfas, 2015a).

Selain meningkatkan stabilitas dimensi, perlakuan tersebut juga meningkatkan keteguhan tekan kayu. Berdasarkan SNI 7207-2014, ketahanan kayu jabon terhadap rayap tanah meningkat dari kelas IV (kurang awet) menjadi kelas II (awet), sedangkan ketahanan kayu JCT meningkat dari kelas IV menjadi kelas I (sangat awet) (Balfas et al., 2015). Impregnasi juga menghasilkan warna kayu yang lebih gelap kecokelatan sehingga mendekati karakter warna kayu jati tua.



Sumber: Basri & Balfas (2015a)

Gambar 3.5. Performa produk kayu jati cepat tumbuh (JCT) yang diimpregnasi menggunakan formula berbasis ekstrak kayu jati tua

Teknologi impregnasi kayu dengan ekstrak jati dan resin ini telah mendapat Paten tersertifikasi No. IDP000053597.

2.2. Impregnasi Kayu dengan Campuran Asap Cair dan Perekat Hewani

Kayu jabon diimpregnasi dengan campuran asap cair dan kak, yaitu sejenis perekat yang diekstraksi dari kolagen tulang dan daging penyambung tulang hewan (Anonymous, 2015), menggunakan metode vakum tekan dengan tekanan 12 kg/cm². Asap cair dihasilkan dari proses pirolisis kulit kayu dan serpihan kayu sengon (*Falcataria moluccana*). Hasil analisis

LCMS menunjukkan bahwa komposisi senyawa kimia asap cair didominasi oleh senyawa fenolik sebesar 41% dan senyawa karboksilat sebesar 38,24% (Arsyad et al., 2019). Penambahan 4% boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ke dalam formulasi tidak hanya mempertahankan komposisi tersebut, tetapi juga meningkatkan senyawa fenolik menjadi 52,48% dan karboksilat sebesar 42,67% (Arsyad et al., 2019).

Peningkatan kedua senyawa tersebut karena adanya interaksi antara boraks dan komponen asap cair yang memfasilitasi pengikatan senyawa fenolik dan asam-asam karboksilat, sehingga konsentrasi kedua senyawa tersebut relatif meningkat. Asap cair murni bersifat asam, penambahan boraks yang bersifat basa dapat membantu menstabilkan beberapa senyawa asam karboksilat yang sebelumnya tidak stabil atau terikat pada komponen tar (Sinaga et al., 2024). Hal ini berdampak positif terhadap peningkatan ketahanan kayu jabon terhadap serangan rayap tanah dan rayap kayu kering dari kelas IV menjadi kelas I (Tabel 3.2).

Tabel 3.2. Ketahanan kayu jabon terhadap rayap dengan bahan berbasis asap cair

Perlakuan	Ketahanan terhadap rayap tanah (<i>C. curvignathus</i>)		Ketahanan terhadap rayap kayu kering (<i>C. cynocephalus</i>)	
	Kehilangan massa (%)	Kelas	Kehilangan massa (%)	Kelas
Kontrol	17.73 ± 2.49	IV	20.40 ± 0.66	IV
8% K+A	10.72 ± 1.48	III	7.68 ± 1.74	III
8% K+A+4% B	3.33 ± 0.79	I	1.92 ± 1.18	I

Sumber: Arsyad et al. (2019); A= asap cair; K=kak (perekat yang diekstraksi dari kolagen tulang dan daging penyambung tulang hewan); B=boraks

Hasil penelitian Basri et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan asap cair sebagai pelarut dalam proses impregnasi kayu jabon memberikan kinerja yang lebih unggul dibandingkan pelarut air dalam meningkatkan stabilitas dimensi, kerapatan, kekuatan, dan kelenturan kayu. Peningkatan ini didukung oleh kenaikan kristalinitas pada kayu jabon yang diberi perlakuan 8% kak dengan pelarut asap cair, ditambah 4% boraks. Berdasarkan nilai kerapatan dan kekuatan lentur (MOR), kekuatan kayu jabon yang diberi perlakuan dengan pelarut asap cair meningkat dari kelas IV menjadi kelas III. Warna kayu jabon umur 5 tahun semula kuning pucat menjadi kuning cokelat mengilap setelah diimpregnasi dengan larutan campuran asap cair dan kak (Gambar 3.6). Kualitas kayu jabon tersebut telah memenuhi SNI 0608-2017 untuk kayu furnitur standar.

Kebaruan penelitian modifikasi impregnasi kayu jabon tersebut terletak pada penggunaan resin kak sebagai agen pengisi rongga sel kayu dan asap cair yang ditambahkan 4% boraks

sebagai pengawet untuk meningkatkan kekuatan dan keawetan kayu, belum ditemukan pada metode impregnasi konvensional.



Sumber: Basri & Balfas (2015a)

Gambar 3.6. Performa produk kayu jabon yang diimpregnasi menggunakan formula berbasis asap cair

Teknologi tersebut telah mendapat dua Paten tersertifikasi dengan No. IDP000085758 dan No. IDP000085390.

3. Modifikasi Kimia

Modifikasi kayu gmelina (*Gmelina arborea*) berumur 7 tahun menggunakan campuran furfuril alkohol (FA) 70% dan tanin 30% dari ekstrak kulit kayu mahoni (*Swietenia mahagoni*), menghasilkan persentase pertambahan berat kayu sebesar 45,49%, tingkat kelunturan bahan impregnan dalam air sangat

kecil, dan kadar air kesetimbangan rendah (KAK) setara dengan KAK kayu yang dimodifikasi dengan FA murni (Mubarok et. al., 2025). Analisis warna menunjukkan bahwa larutan tanin memberikan warna lebih gelap dengan daya tarik estetika pada kayu yang difurfurilasi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada substitusi tanin yang dapat menekan biaya furfuril alkohol yang mahal dan masih impor, membantu fiksasi polimer sehingga furfuril alkohol tidak mudah luntur oleh air, serta meningkatkan daya tarik estetika kayu. Kualitas kayu gmelina terfurfurilasi-tanin ini telah memenuhi SNI 0608-2017 untuk kayu furnitur standar.

Teknologi ini telah diajukan untuk memperoleh paten pada 3 Desember 2024 dengan nomor permohonan S00202414196.

4. Modifikasi Kimia-Panas

Modifikasi kayu melalui kombinasi kimia dan panas merupakan upaya memperbaiki kelemahan dari modifikasi panas di satu sisi dan modifikasi kimia di sisi yang lain jika dilakukan terpisah. Kayu yang dimodifikasi kimia-panas akan meningkatkan ikatan silang antara bahan impregnan (kimia) dengan komponen dinding sel kayu, sehingga dihasilkan kadar air kesetimbangan yang lebih rendah, dimensi lebih stabil, serta tahan terhadap jamur dan rayap (Hill, 2006). Penelitian ini selanjutnya diaplikasikan pada kayu Jati Utama Nusantara (JUN) yaitu jenis kayu jati cepat tumbuh yang dikembangkan oleh Koperasi Perumahan Wanabhakti Nusantara (KPWN) melalui budidaya vegetatif (Basri, 2025). Modifikasi kayu JUN umur 13 tahun dilakukan

menggunakan asam organik yang terdiri dari asam laktat, asam sitrat, dan gliserol. Ketiga bahan kimia tersebut tidak beracun.

Pada suhu 180 °C, tiga formula impregnasi, yaitu asam sitrat 10%, campuran asam laktat–asam sitrat (masing-masing 10%), serta campuran asam sitrat–gliserol (masing-masing 10%), terdistribusi secara efektif pada pori, lumen, dan rongga mikrovoid dalam struktur kayu JUN (Basri et al., 2025). Peningkatan suhu dari 150 °C hingga 180 °C selanjutnya mengintensifkan proses polimerisasi antara bahan impregnan dengan dinding sel kayu, khususnya pada selulosa dan lignin, yang menghasilkan penguatan struktur kayu. Perubahan ini diiringi pula dengan peningkatan proporsi lignin dan α -selulosa, serta degradasi hemiselulosa selama perlakuan panas, yang berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas dimensi kayu (Zelinka et al., 2022).

Hasil penelitian Basri et al. (2025) menunjukkan bahwa kayu JUN yang dimodifikasi menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat masing-masing sebesar 10%, kemudian dipanaskan pada suhu 180 °C, memiliki ketahanan yang sangat tinggi terhadap kelunturan dalam air, serta peningkatan signifikan pada kekuatan, keawetan, serta stabilitas dimensi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya situs reaktif dalam campuran kedua bahan kimia tersebut, yaitu 4 gugus -COOH (1 dari asam laktat dan 3 dari asam sitrat) serta 2 gugus -OH (1 dari asam laktat dan 1 dari asam sitrat), yang meningkatkan kemampuan reaksi dengan komponen dinding sel kayu (Lodge & Hiemenz, 2020). Reaksi antara gugus -COOH dan -OH pada bahan impregnan dengan komponen dinding sel kayu membentuk ikatan hidrogen serta

kovalen yang kuat, sehingga mendorong pembentukan jaringan polimer yang terikat secara permanen pada dinding sel kayu.

Berdasarkan standar Kelas Kuat Kayu Indonesia, kayu JUN yang dimodifikasi menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat, masing-masing 10% pada suhu 150-180 °C termasuk Kelas Kuat II. Selain itu, berdasarkan SNI 7207-2014, kayu tersebut juga menunjukkan ketahanan terhadap jamur dan rayap tanah pada Kelas I (sangat tahan). Ketahanan kayu tersebut terhadap rayap tanah ini lebih efektif dibandingkan dengan ketahanan alami kayu jati umur di atas 40 tahun (Basri et al., 2025).

Berdasarkan kriteria kekuatan, keawetan, dan stabilitas dimensi, kayu JUN yang dimodifikasi menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat dalam komposisi masing-masing 10% dengan perlakuan panas pada suhu 180 °C telah memenuhi SNI 0608-2017 untuk kayu furnitur standar. Evaluasi komparatif menunjukkan bahwa seluruh parameter, baik sifat fisik, mekanis, maupun ketahanan terhadap rayap dan jamur, menunjukkan peningkatan nyata dibandingkan dengan kayu JUN yang tidak dimodifikasi maupun kayu yang hanya dipanaskan pada suhu 150 °C.

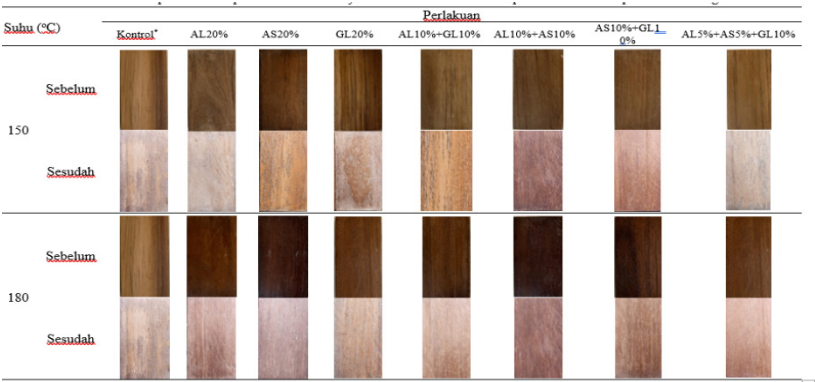
Kayu JUN yang dimodifikasi secara kimia-panas menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan kayu JUN tanpa modifikasi. Fenomena ini meskipun memberikan keunggulan dalam estetika dan kehalusan, justru menimbulkan tantangan pada proses pelapisan atau pengecatan karena kekasaran permukaan yang rendah mengurangi daya ikat cat atau bahan pelapis terhadap substrat kayu (Balfas et al., 2018). Solusi untuk mengatasi kendala ini sekaligus menghilangkan

noda atau ketidakrataan permukaan kayu adalah pengampelasan (Cordeiro et al., 2023).

Perubahan warna pada kayu JUN hasil modifikasi menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat pada suhu 150 °C dan 180 °C relatif kecil setelah paparan cuaca dibandingkan dengan perlakuan menggunakan asam sitrat dan gliserol (Basri, 2025). Hasil ini menunjukkan bahwa sistem modifikasi tersebut memberikan stabilitas warna yang lebih baik terhadap degradasi lingkungan. Keunggulan ini diduga terkait dengan tingginya densitas gugus karboksil (-COOH) yang bereaksi dengan gugus hidroksil pada selulosa dan lignin, membentuk ikatan ester yang stabil (Lodge & Hiemenz, 2020; Zelinka et al., 2022). Ikatan tersebut tidak hanya memperkuat struktur dinding sel kayu, tetapi juga menghambat oksidasi gugus fenolik lignin, sehingga proses degradasi fotokimia akibat sinar UV dan kelembapan sebagai penyebab utama perubahan warna dapat diminimalkan (Teacă & Tanasă, 2020).

Evaluasi komprehensif menunjukkan bahwa impregnasi kimia dengan campuran asam laktat dan asam sitrat, serta campuran asam sitrat dan gliserol memberikan kinerja unggul dalam meningkatkan sifat fisik-mekanis, sekaligus memperkuat ketahanan kayu terhadap serangan jamur dan rayap tanah. Perubahan warna permukaan kayu JUN termodifikasi kimia-panas sebelum dan setelah paparan di luar ruangan disajikan pada Gambar 3.7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kayu JUN yang dimodifikasi kimia dengan campuran asam laktat dan asam sitrat (masing-masing 10%) serta dipanaskan pada suhu 150 dan 180 °C, warnanya hanya sedikit berubah setelah terpapar cuaca. Sementara itu, untuk kayu JUN yang dimodifikasi kimia dengan campuran asam sitrat dan gliserol (masing-masing 10%) hanya

menunjukkan sedikit perbedaan warna sebelum dan setelah terpapar cuaca pada perlakuan panas 150 °C.



Keterangan: AL= Asam laktat; AS= Asam sitrat; GL= Gliserol

Sumber: Basri (2025)

Gambar 3.7. Penampilan warna permukaan kayu Jati Utama Nusantara (JUN) termodifikasi kimia-panas sebelum dan setelah diekspos di luar ruangan

Saat ini, kayu Jati unggul Nusantara (JUN) masih dipasarkan dalam bentuk mentah seperti kayu bulat, papan, atau balok, sehingga nilai tambah ekonominya rendah. Melalui modifikasi menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat (masing-masing 10%) dihasilkan kayu dengan stabilitas dimensi yang sangat tinggi, Kelas Kuat II, serta Kelas Awet I. Kualitas tersebut setara dengan kayu jati tua berumur lebih dari 40 tahun (Basri, 2025) yang memiliki harga pasar berkisar antara Rp 27.200.000/

m³ hingga Rp 45.000.000/m³ (Tokopedia, 2026), menjadikannya sebagai substitusi kayu jati tua.

Sebagai ilustrasi perbandingan, harga kayu bulat dari kayu jati cepat tumbuh (termasuk kayu JUN) berada pada kisaran rata-rata Rp 1.800.000/m³, yang meningkat menjadi Rp 5.800.000–7.000.000/m³ setelah diolah menjadi sortimen. Dengan mempertimbangkan biaya modifikasi kimia-panas pada skala penelitian sebesar Rp 1.400.000/m³ (Basri, 2025), maka total biaya produksi kayu jati cepat tumbuh (JCT) termodifikasi berada pada kisaran Rp 7.200.000 – 8.400.000/m³. Analisis ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai tambah melalui teknologi modifikasi kayu JCT memiliki prospek ekonomi yang kuat dan berpotensi untuk dikembangkan pada skala industri.

Modifikasi kimia dan panas kayu JUN, khususnya menggunakan campuran asam laktat dan asam sitrat pada suhu 180 °C, memberikan peningkatan yang signifikan terhadap stabilitas dimensi. Ketahanan bahan impregnan tersebut terhadap pencucian dalam air mencapai 99%. Keawetan kayu terhadap rayap dan jamur mengalami peningkatan signifikan dari kelas IV (tidak awet) menjadi kelas I (sangat awet) (Basri et al., 2025).

Modifikasi kayu kombinasi kimia dan panas belum banyak dikembangkan di industri perkayuan global. Saat ini yang umum diterapkan adalah modifikasi kimia atau modifikasi panas secara tunggal, dan keduanya memiliki kelemahan masing-masing. Dalam konteks tersebut, kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan komposisi 10% asam laktat dan 10% asam sitrat yang dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 180 °C. Kombinasi tersebut menghasilkan tiga hasil utama, yaitu keawetan kayu JUN yang setara dengan keawetan kayu jati umur lebih dari 40 tahun (sangat awet), pembentukan ikatan permanen secara kimia dengan komponen dinding sel kayu yang menghasilkan

stabilitas dimensi sangat tinggi serta tahan terhadap pencucian air, dan peningkatan stabilitas dimensi yang nyata dibandingkan dengan impregnan menggunakan komposisi lain.

Komposisi terbaik kedua setelah campuran asam laktat dan asam sitrat adalah campuran asam sitrat dan gliserol, yang diaplikasikan pada konsentrasi dan suhu pemanasan yang sama. Teknologi modifikasi kimia-panas berbasis komposisi campuran asam sitrat dan gliserol ini telah diajukan untuk memperoleh paten pada 16 Oktober 2024 dengan nomor permohonan P00202411267.

IV. ENERGI SURYA DAN BIOMASSA SEBAGAI SOLUSI BERKELANJUTAN UNTUK PENGERINGAN DAN MODIFIKASI KAYU CEPAT TUMBUH

Pemerintah Indonesia telah menetapkan tiga kebijakan strategis dalam pengelolaan sektor kehutanan untuk mendukung keberlanjutan dan ketahanan industri berbasis kayu. Pertama, Peraturan Pemerintah Nomor 7 Tahun 1990 tentang Hak Pengusahaan Hutan Tanaman Industri (HTI), yang fokus pada jenis kayu cepat tumbuh umur muda guna memenuhi kebutuhan kayu nasional dan mengurangi ketergantungan terhadap kayu hutan alam. Kedua, Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 Tahun 2021 tentang Tata Hutan, Penyusunan Rencana Pengelolaan Hutan, dan Mendorong Pemanfaatan Limbah Kayu untuk mengoptimalkan penggunaan kayu sebagai upaya menekan laju deforestasi dan emisi gas rumah kaca. Ketiga, Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 39 Tahun 2018 tentang Tata Cara Sertifikasi Industri Hijau menjadi landasan pokok bagi pelaku industri dalam menerapkan sistem produksi yang berkelanjutan, efisien dalam penggunaan energi dan bahan baku, serta minimalisasi dampak lingkungan. Dalam konteks pengelolaan bahan baku kayu dan produksi furnitur, ketiga aspek tersebut menunjukkan sinergi kebijakan lintas sektor yang strategis. Sinergi ini mendorong terwujudnya ekonomi sumber daya hutan yang berkelanjutan dan memperkuat basis industri yang berwawasan lingkungan.

Jenis-jenis kayu cepat tumbuh yang diprioritaskan sebagai bahan baku furnitur di antaranya adalah sengon (*Falcataria moluccana*), jati (*Tectona grandis*), mahoni (*Swietenia mahagoni*), pinus (*Pinus merkusii*), jabon (*Anthocephalus cadamba*), gmelina (*Gmelina arborea*), kayu karet (*Hevea*

brasiliensis), mindi (*Melia azedarach*), dan mangium (*Acacia mangium*) (Basri & Rulliaty, 2008; Hadi et al., 2022). Meskipun kayu cepat tumbuh menawarkan keunggulan waktu panen yang singkat (5-15 tahun), namun pertumbuhan yang cepat seringkali berkorelasi dengan kualitas kayu yang rendah. Beberapa kelemahan kayu cepat tumbuh mencakup kecenderungan retak atau pecah selama pengeringan, ketidakstabilan dimensi, serta kekuatan dan ketahanan yang relatif rendah terhadap serangan organisme perusak (Basri et al., 2021, 2022b; Saefudin et al., 2023). Guna mengatasi keterbatasan ini, implementasi teknologi pengeringan dan modifikasi kayu dapat meningkatkan kualitas serta nilai tambah kayu secara berkelanjutan. Penting untuk dicatat bahwa kayu yang akan dimodifikasi harus memiliki kadar air di bawah 15% agar hasilnya optimal, sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya.

Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi besar energi terbarukan khususnya energi surya dan limbah biomassa yang melimpah. Pemanfaatan kedua sumber energi tersebut untuk proses pengeringan dan modifikasi kayu berpotensi menurunkan biaya produksi secara signifikan.

Berdasarkan penelitian, modifikasi kayu cepat tumbuh untuk produk furnitur menggunakan bahan impregnan berbasis biomassa terbukti mampu meningkatkan kestabilan dimensi, kekuatan, ketahanan terhadap jamur dan rayap, serta menghasilkan tampilan warna menarik dan menyerupai warna impregnan dari ekstrak kayu yang digunakan (Basri & Balfas, 2015a, 2015b; Balfas et al., 2015; Arsyad et al., 2019; Basri et al., 2023; Mubarak et al., 2025).

Meskipun pemanfaatan energi surya-biomassa dan teknologi modifikasi kayu memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas produk dan menekan biaya produksi, namun tingkat

adopsinya di industri pengolahan kayu di Indonesia masih terbatas. Kendala utama dalam penerapan teknologi tersebut antara lain tingginya investasi awal serta belum adanya insentif dan kebijakan pemerintah yang mendukung inovasi teknologi. Kendala ini berdampak pada lambatnya adopsi teknologi di Industri, terutama di sektor usaha kecil dan menengah (UKM).

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, diperlukan pendekatan strategis yang menyentuh berbagai aspek, antara lain: 1) restrukturisasi mesin dan insentif bagi industri pengolahan kayu; 2) penguatan kolaborasi antara industri dan akademisi dalam penerapan hasil-hasil riset guna memastikan kelayakan ekonomi dan kepraktisan teknologi tersebut; 3) penerapan sertifikasi serta standarisasi produk kayu modifikasi secara konsisten untuk membangun kepercayaan konsumen Indonesia di pasar dalam negeri maupun global.

Dengan mengimplementasikan ketiga solusi tersebut secara sinergis, Indonesia memiliki potensi tidak hanya mewujudkan industri kayu yang berkelanjutan, tetapi juga mengoptimalkan peran kayu cepat tumbuh sebagai aset strategis dalam perekonomian nasional dengan daya saing di pasar global.

V. KESIMPULAN

Pengembangan teknologi pengeringan berbasis energi surya-biomassa mendorong transisi industri kayu menuju energi terbarukan, mengurangi ketergantungan pada energi fosil, menekan biaya, serta meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh melalui modifikasi yang ramah lingkungan.

Pemanfaatan limbah biomassa seperti sebetan, serpihan, serbuk gergaji, dan ranting mendukung ekonomi sirkular dan inovasi senyawa organik seperti lignin dan tanin. Strategi ini meningkatkan efisiensi energi, keberlanjutan industri, serta daya saing produk kayu Indonesia di pasar ekspor.

Sebagai rekomendasi, tiga faktor kunci keberhasilan implementasi di tingkat industri adalah: 1) dukungan kebijakan pemerintah berupa insentif dan restrukturisasi mesin bagi industri pengolahan kayu, 2) kolaborasi industri-akademisi untuk melakukan uji coba langsung serta validasi teknis-ekonomi di fasilitas perusahaan, serta 3) standardisasi dan sertifikasi mutu untuk menjamin standar ekspor, kesehatan, dan keamanan lingkungan.

VI. PENUTUP

Konsumsi energi dalam proses pengeringan kayu mencapai hingga 70% dari total kebutuhan produksi, dengan ketergantungan tinggi pada bahan bakar fosil yang memicu emisi karbon. Dalam menjawab tantangan lingkungan dan efisiensi ini, integrasi sistem pengeringan berbasis energi surya dan biomassa telah terbukti mampu menekan biaya operasional secara signifikan. Efisiensi energi dan pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan impregnan dalam modifikasi kayu menciptakan sinergi antara pengelolaan limbah dan peningkatan nilai jual kayu cepat tumbuh.

Kombinasi teknologi pengeringan bersih dan modifikasi kayu berbasis biomassa ini bukan hanya solusi teknis, tetapi juga strategi komprehensif untuk memenuhi standar industri hijau (Permenperin No. 39/2018) serta regulasi lingkungan (Permen LHK No. 8/2021). Oleh karena itu, transisi menuju industri kayu yang lestari dan rendah karbon harus didukung oleh hilirisasi inovasi yang masif melalui kolaborasi nyata antara akademisi, pemerintah, dan industri. Sinergi lintas sektor inilah yang menjadi kunci untuk mewujudkan ekosistem produksi kayu yang efisien, berkelanjutan, dan berdaya saing global.

UCAPAN TERIMA KASIH

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, atas berkat dan rahmat-Nya serta ridho-Nya yang memungkinkan naskah orasi ilmiah ini selesai dengan baik.

Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada Presiden Republik Indonesia, Bapak Prabowo Subianto dan Presiden Republik Indonesia ke-7 Bapak Ir. Joko Widodo atas amanat dan penugasan saya sebagai Peneliti Ahli Utama di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN); Kepala BRIN, Prof. Dr. Arif Satria, S.P., M.Si.; Wakil Kepala BRIN, Prof. Dr. Ir. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc.; Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset BRIN, Prof. Ir. Wimpie Agoeng Noegroho Aspar, MSCE., Ph.D.; Sekretaris Majelis Profesor Riset, Prof. Dr. Ir. Zainal Arifin, M.Sc.

Terima kasih kepada Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah sekaligus Wakil Ketua Majelis Pengukuhan Profesor Riset Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material (ORNM), Prof. Dr. Ing. Andika Widya Pramono, M.Sc., serta Tim Penelaah Naskah Orasi Ilmiah, Prof. Dr. Ir. Subyakto, M.Sc.; Prof. Dr. Drs. Adi Santoso, M.Si.; Prof. Dr. Ir. Myrtha Karina Sancoyorini, M.Agr.; Prof. Dr. Agr.Sc. Ir. Ragil Widyorini, S.T., M.T., IPU.

Terima kasih kepada Sekretaris Utama BRIN, Nur Tri Aries Suestiningtyas S.IP., M.A.; Kepala Organisasi Riset Nanoteknologi dan Material, Prof. Dr. Ratno Nuryadi, M.Eng.; Kepala Biro Organisasi dan Sumber Daya Manusia BRIN, Ratih

Retno Wulandari, S.Sos., M.Si.; dan Kepala Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk (PRBB), Prof. Dr. Akbar Hanif Dawam A., M.T.

Perjalanan karir ini tidak akan tercapai tanpa adanya peran guru pendidik mulai dari sekolah dasar hingga Universitas. Terima kasih kepada para pembimbing S1 saya, Prof. Dr. Zahrial Coto, M.Sc. serta Ir. Soewarno (Alm) dan Ir. Achmad Hadjib, M.Si. (Alm); pembimbing S2, Prof. T.A. Prayitno, M.Sc., Ph.D. dan Prof. Dr. Gustan Pari, M.Si.; dan Pembimbing S3, Prof. Dr. Ir. I. Wayan Darmawan, M.Sc., Dr. Istie Sekartining Rahayu, S.Hut., M.Si., dan Ratih Damayanti, S.Hut., M.Si., Ph.D.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada para mantan pimpinan, senior, dan kolega saat saya di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dan yang saat ini di BRIN. Terima kasih kepada kolega di Kementerian Perindustrian, Perum Perhutani Cepu, PT Inhutani II Kalimantan Selatan, PT Kandelial Alam Kalimantan Barat, PT Tunas Inti Abadi Kalimantan Selatan, Koperasi Perumahan Wanabhakti Nusantara (KPWN) Kementerian Kehutanan, serta institusi terkait yang banyak membantu dalam mengimplementasikan hasil-hasil penelitian saya dan tim di industri perkayuan dan masyarakat pengguna kayu. Terima kasih kepada kolega internasional terutama Prof. Barbara Ozarska dan Gerry Harris, M.Sc. dari Melbourne Univ, Prof. Alvin T. Choong (Alm) dari Lusiana Univ, Prof. Kazuo Hayashi (Alm) dari Ehime Univ. atas kesempatan berkolaborasi riset dalam perjalanan karir saya. Terima kasih juga kepada para profesor, senior, para periset, dan tim manajemen di PRBB ORNM, khususnya di kelompok riset Perekat dan Pelapis Kayu yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu, terima kasih atas dukungan dan kerja sama yang luar biasa selama ini.

Dedikasi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya tercinta, Bapak Hasan Basri (Alm) dan Ibunda Asma

Juned (Almh), atas doa dan kasih sayangnya. Terima kasih juga kepada kedua mertua tercinta, Bapak Abdul Kahfi (Alm) dan Ibunda Siti Aisah (Almh) yang telah mendukung saya. Untuk suami saya, Drs. Saefudin, M.Pd., terima kasih atas dukungan, kesabaran, doa, dan kebersamaannya yang tak ternilai, yang telah membantu saya hingga di titik ini. Ananda Ixora Adisti, S.T., M.Sc. dan Yuri Suryahadi, S.Hut., M.M.; Denvi Giovanita, S.Psi. dan Januar Ananta, S.T., M.Sc.; beserta ketiga cucu tercinta Nayra Ceisya Suryahadi, Nadya Gendhis Suryahadi, dan Kiara Neoma Sheza terima kasih untuk selalu menjadi penghibur dan penyemangat dalam setiap langkah. Saya juga mengucapkan terima kasih kepada saudara-saudara kandung dan saudara-saudara ipar tercinta, atas dukungannya selama ini. Semoga Allah selalu memberkati dan melindungi kita.

Terakhir, terima kasih kepada Panitia Pelaksana Orasi Pengukuhan Profesor Riset, sehingga acara ini dapat berlangsung dengan baik.

Akhir kata, tak ada gading yang tak retak, kesempurnaan hanyalah milik Allah semata. Mohon maaf atas segala kekurangan. Ini menjadi babak baru bagi perjalanan karir saya untuk bisa memberikan yang lebih baik demi kemajuan IPTEK Indonesia. Terima kasih. Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (2015). Bahan kimia untuk home industri (chemicals for home industry). <http://nizarnitisara.wordpress.com/2010/07/01/bahan-kimia-untuk-home-industri/>
- Arsyad, W.O.M., **Basri, E.**, Hendra, D., & Trisatya, D.R. (2019). Termite resistance of impregnated jabon wood (*Anthocephalus cadamba* Miq.) with combined impregnant agents. *Journal of the Korean Wood Sci. and Tech.* 47(4), 451-458. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.4.451>.
- Balfas, J., **Basri, E.**, & Jasni. (2015). Effect of teak extractive imposition on wood characteristic improvements. In Siregar et al. (Eds.). *Proceedings of International Conference of Indonesia Forestry Researchers 2015: Forests and Non-Timber Forest Products* (378-383). Research Development and Innovation Agency, Ministry of Environment and Forestry.
- Balfas, J., **Basri, E.**, & Santoso, A. (2018). Efektivitas bahan pengisi kayu pada tiga jenis kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36 (2), 113-128.
- Barly & **Basri, E.** (1990). Peranan pengawetan dan pengeringan kayu dalam industri kayu sekunder. *Prosiding Diskusi Industri Perkayuan*, (89-103). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Basri, E.** (1990). Bagan pengeringan beberapa jenis kayu hutan tanaman industri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 6 (7), 447-451.
- Basri, E.** (1992). Sifat pengeringan beberapa jenis kayu hutan tanaman industri (HTI). *Jurnal Sifat dan Kegunaan Jenis Kayu Hutan Tanaman Industri*, 1, 1-4.

- Basri, E., & Hidayat, S. (1993a).** Pengaruh asal dan umur pohon terhadap sifat pengeringan kayu sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 11 (4), 129-133.
- Basri, E., & Hidayat, S. (1993b).** Pengeringan alami dan buatan sepuluh jenis kayu Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 11 (3), 122-127.
- Basri, E. (1993).** Peningkatan kualitas kayu *Pinus oocarpa* melalui pengeringan tenaga matahari. *Prosiding Semnas Biologi XI*. Universitas Hasanuddin. Ujung Pandang.
- Basri, E. (1994).** Research and development on wood drying in Indonesia. *Workshop on Solar Thermal Energy Utilization System in Jakarta*. International Joint R&D Programme of Solar Thermal Energy Utilization System. Jakarta.
- Basri, E., & Rohadi, D. (1995).** Prospek pemanfaatan energi surya pada proses pengeringan kayu. *Prosiding Lokakarya Teknologi Tepat Guna Energi Non-Konvensional untuk Pembangunan di Indonesia*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Basri, E. (1998).** Penerapan teknologi pengeringan tepat guna pada industri kayu skala kecil. *Prosiding Seminar Nasional Mapeki I*, (117-123). Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Basri, E., Choong, E.T., Sofyan, K., & Roliadi, H. (1999).** Dryability classification of twenty-five timber species of Indonesia. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, XII (2), 21-28.
- Basri, E. (2000a).** Teknik pengeringan empat jenis kayu diameter kecil asal hutan tanaman. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 17 (4), 199-208.
- Basri, E., Alamsyah, E.M., & Rasyid, E. (2000a).** Ketergantungan kadar air keseimbangan terhadap jenis kayu dan suhu lingkungan. *Semnas Mapeki III*. Fakultas Kehutanan Universitas Winayamukti Bandung.

- Basri, E.** (2000b). Penerapan bagan pengeringan tiga jenis kayu dalam dapur pengering konvensional. *Prosiding Diskusi Peningkatan Kualitas Kayu*. Pusat Litbang Hasil Hutan.
- Basri, E.** (1998). Penerapan teknologi pengeringan tepat guna pada industri kayu skala kecil. *Prosiding Seminar Nasional Mapeki I* (117-123). Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Basri, E., Hayashi, K., Masasuke, S., & Nishiyama, H.** (2001a). Optimum drying schedule for some fast grown species from Indonesia. *Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference*. Forestry and Forest Products Research Institute. Tsukuba Japan.
- Basri, E.** (2001). Drying schedules for small-diameter logs from Jambi and their proper utilization for wooden craft products. *Forestry Research Journal*, 2 (1), 23 – 27.
- Basri, E., & Rahmat.** (2001). *Petunjuk Teknis Pembuatan Kilang Pengeringan Kayu Kombinasi Energi Surya dan Tungku*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
- Basri, E.** (2002). Teknologi pengeringan kayu kombinasi energi surya dengan panas tungku. Proyek Peningkatan Kemampuan Teknologi Industri Kimia, Agro dan Hasil Hutan Departemen Perindustrian dan Perdagangan.
- Basri, E., Hayashi, K., & Rahmat.** (2002). The combination of shed and kiln drying resulted in good quality of mangium lumbers. *Proceedings of the Fourth International Wood Science Symposium*. LIPI-JSPS Core University Program. Serpong, Indonesia
- Basri, E., Gusmailina, & Priadi, T.** (2003). The combination of solar and biomass energy in wood drying. Regional Workshop on Drying Technology. *The Third Seminar and Workshop*. ASEAN Subcommittee on Non-Conventional Energy Research. Bogor, Indonesia.

- Basri, E.** (2005a). Mutu kayu mangium dalam beberapa metode pengeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23(2), 119–129. <https://doi.org/10.20886/JPHH.2005.23.2.119-129>.
- Basri, E.** (2005b). Bagan pengeringan dasar 16 jenis kayu Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23 (1), 15 –22.
- Basri, E., & Yuniarti, K.** (2005). The combination of solar energy and heating stoves sistem for drying wood. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium*. LIPI-JSPS Core University Program. Denpasar.
- Basri, E., Hadjib, N., & Saefudin.** (2005a). Basic properties in relation to drying properties of three wood species from Indonesia. *Journal of Forestry Research*, 2(1), 151-155.
- Basri, E., & Supriadi, A.** (2006). Uji coba mesin pengering kayu kombinasi tenaga surya dan panas dari tungku Tipe I (SC+TI). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24 (5), 437-448.
- Basri, E., & Yuniarti, K.** (2006). Sifat dan bagan pengeringan sepuluh jenis kayu hutan rakyat untuk bahan baku mebel. *Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
- Basri, E., Triantoro, R.G.N., Wahyudi.** (2007a). Sifat dan jadwal pengeringan lima jenis kayu Papua Barat. *Jurnal Iptek Kayu Tropis*, 5 (2), 57-62.
- Basri, E., Rulliaty, S., Saefudin.** (2007b). Sifat dan kualitas pengeringan lima jenis kayu dari Kebun Raya Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25 (3), 256-265.
- Basri, E.** (2008). Bagan pengeringan dasar 12 jenis kayu dari Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26 (2), 181–192.
- Basri, E., & Rulliaty, S.** (2008). Peningkatan kualitas kayu cepat tumbuh untuk bahan baku mebel melalui pengeringan. *Buletin Hasil Hutan*, 14 (1), 39-44.

- Basri, E., Saefudin, Rulliaty, S., & Yuniarti, K. (2009).** Drying conditions for 11 potential ramin substitutes. *Journal of Tropical Forest Science*, 21 (4), 328-335.
- Basri, E. (2009).** Kualitas pengeringan kayu jati cepat tumbuh dan jati konvensional. *Buletin Hasil Hutan*, 15 (1), 1-7.
- Basri, E., Krisdianto, & Ozarska, B. (2013a).** Development of simple and affordable drying chamber for small and medium enterprises' (SMEs) furniture in Jepara. *Proceedings of the Symposium Furniture, Timber and Forest Ecosystem Service Value Chains, in Bogor*. Center for International Forestry Research (CIFOR).
- Basri, E., Harris, G., Abdurachman, & Ozarska, B. (2013b).** Basic drying schedules of four plantation-wood species for furniture. *Wood Research Journal*, 4(1), 13–17.
- 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. <https://doi.org/10.20886/jphh.2013.31.2.93-102>.
- Basri, E., Prayitno, T., & Pari, G. (2013c).** Pengaruh umur pohon terhadap sifat dasar dan kualitas pengeringan kayu waru gunung (*Hibiscus macrophyllus roxb.*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 243-253. <https://doi.org/10.20886/jphh.2012.30.4.243-253>.
- Basri, E., Abdurachman, & Dwianto, W. (2014).** Pengaruh pengukusan dan pengempaan panas terhadap beberapa sifat kayu jabon untuk bahan mebel. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 12 (2), 169-177.
- Basri, E., & Balfas J. (2014).** Impregnasi ekstrak jati dan resin pada kayu cepat tumbuh dan karet. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32(4), 283-289.
- Basri, E., Yuniarti, K., Wahyudi, I., Saefudin, Damayanti, R. (2015).** Effects of girdling on wood properties and drying characteristics

of *Acacia mangium*. *Journal of Tropical Forest Science*, 9(4), 498–505.

Basri, E., & Balfas, J. (2015a). Teknologi Stabilisasi Dimensi Kayu. *Seri Paket IPTEK* [Buku]. Penerbit: IPB Press. ISBN: 978-979-3132-68-6.

Basri, E., & Balfas, J. (2015b). Stabilisasi dimensi kayu jati cepat tumbuh dan jabon dengan perlakuan pemadatan secara kimia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), 315-327.

Basri, E., Yuniarti K., & Saefudin. (2019). Basic properties and potential uses of 35 wood species from Moluccas, Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 399 (2019) 012105.

Basri, E., & Pari R. (2019). Moisture content based on drying schedule of seven Indonesian woods species. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 359 (2019) 011002.

Basri, E., Yuniarti, K., Wahyudi, I., & Pari, R. (2020). *Teknologi Pengeringan Kayu* [Buku]. Penerbit: IPB Press. Katalog No. C.01/07/2020. ISBN: 978-623-256-183-0.

Basri, E., Damayanti, R., Darwis, A., Saefudin, & Wahyudi, I. (2021). Anatomical properties of *Hibiscus macrophyllus* and its mature wood development. *IAWA Journal*, 42 (4), 475-485.

Basri, E., & Saefudin. (2021). Improvement on several physical and mechanical properties of Jati Utama Nusantara wood by thermal compression treatment. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(3), 121-128. <https://doi.org/10.20886/jphh.2021.39.3.121-128>.

Basri, E., Yuniarti, K., & Saefudin. (2022a). Thermal compression effect on several properties of 8-year-old waru gunung (*Hibiscus macrophyllus*) wood. *Journal of Tropical Forest Science*, 34(1), 74-82. <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.74>.

Basri, E., Hanifah, N., Martha, R., Rahayu, I.S., Mubarak, M., Darmawan, W., & Gerardin, P. (2022b). Effect of citric acid

and benzophenone tetracarboxylic acid treatments on stability, durability, and surface characteristic of short rotation teak. *Forests* 13(1938),1-15.

Basri, E., Saefudin, Mubarak, M., Darmawan, W., Balfas, J., Adalina, Y., & Hadi, Y.S. (2023). Physicomechanical properties enhancement of fast-growing wood impregnated with wood vinegar animal adhesive. *Journal of the Korean Wood Sci. and Tech.* 51(6), 542-554. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2023.51.6.542>.

Basri, E., Rahayu., E.S., Saefudin, Santoso. A., Sulastiningsih, I.M., Damayanti, R., Martha, R., & Darmawan, W. (2024a). Enhancement on physicomechanical properties of short-rotation teak woods by non-biocide chemical and thermal treatments. *Bioresources*, 19(2), 3290-3305. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.3290-3305>.

Basri, E., Martha, R., Damayanti, R., Rahayu, I.S., Darmawan W., & Gerardin, P. (2024b). Durability and wettability of varnishes on the modified and aged surfaces of short rotation teak wood. *Pigment & Resin Technology*, 53(4). <https://doi.org/10.1108/PRT-09-2022-0110>.

Basri, E., Tobing, G., Saefudin, Kartika, T., Adalina, Y., Rahayu, I.S., Mubarak, M., Darmawan, W., & Gerardin, P. (2025). Transforming inferior short-rotation teak: unleashing superior durability and stability with lactic acid-based bio-treatments. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83, 18. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02190-z>.

Basri, E. (2025). Pengembangan Kayu Jati Rotasi Pendek Termomodifikasi Kimia dan Panas [Disertasi]. Fakultas Kehutanan IPB University. Bogor.

Bergman, R. (2010). *Drying and Control of Moisture Content and Dimensional Changes*. In R.J. Ross (Ed.), *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material* (Centennial edition, p. 508). 100

years of service. U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison.

- Blanchet, P., Kaboorani, A., & Avilla, C.B. (2016). Understanding the effects of drying methods on wood mechanical properties at ultra and cellular levels. *Wood and Fiber Sci*, 48(2), 1-12.
- Cordeiro, L.A., Miranda, Bd., Carneiro, M.E., Missio, A.L., Klock, U., & Cademartori, P.H.G. (2023). The effect of sanding on the wettability and surface quality of imbuia, red oak and pine wood veneers. *Maderas Ciencia Y Tecnol.* 25(21),1–10. <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2023000100421>.
- Djarwanto, Damayanti, R., Balfas, J., Basri, E., *et al.* (2017). *Pengelompokan Jenis Kayu Perdagangan Indonesia*. Badan Litbang Kehutanan. Penerbit: FORDA Press. ISBN: 978 602-6961 23-5.
- Figueiró, C. G., de Cássia Oliveira Carneiro, A., de Freitas Fialho, L., de Magalhães, M. A., de Deus Ribeiro, G. B., & Ferreira, F. B. (2020). Wooddryers: A sustainable alternative for increasedcharcoal production. *Floresta*, 50(1), 943–952. <https://doi.org/10.5380/rf.v50i1.59355>.
- Gasparik, M., Kacik, F., *et al.* (2019). Colour and chemical changes in teak (*Tectona grandis* L.f.) and meranti (*Shorea spp.*) wood after thermal treatment. *Bioresources*, 14, 2667–2683. <https://doi.org/10.15376/biores.14.2.2667-2683>.
- Guler, G., & Dilek, B. (2020). Investigation of high-frequency vacuum drying on physical and mechanical properties of common oak (*Quercus robur*) and common walnut (*Juglans regia*) lumber. *Bioresources*, 15 (4), 7861-7871.
- Hadi, Y.S., & Lestari, A.S.R.D. (2022). Suatu tinjauan pemanfaatan kayu hutan tanaman untuk glulam. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 40(1), 31-36. <https://doi.org/10.20886/jphh.2022.40.1.31–36>.

- Hidayat, W., & Febrianto, F. (2018). Teknologi Modifikasi Kayu Ramah Lingkungan: Modifikasi Panas dan Pengaruhnya terhadap Sifat-sifat Kayu. Corpus ID: 127552971. Penerbit: Pusaka Media. ISBN: 978-602-5947-22-3.
- Hill, C.A.S. (2006). *Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes*. John Wiley and Sons Ltd. West Sussex.
- Hill, C.A.S., Altgen, M., Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood-a review: chemical changes and hygroscopicity. *Journal Matter Science*, 56,6581-6614. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05722-z>.
- IEA (International Energy Agency). (2022). Global Energy Review: CO₂ Emissions in 2021. IEA Publications International Energy Agency. Website: www.iea.org.
- Kemenhut (Kementerian Kehutanan). (2025). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Pengelolaan Hutan Lestari Tahun 2024*. https://phl.kehutan.go.id/media/publikasi/publikasi_file_1741572827.pdf.
- Lodge, T.P., & Hiemenz, P.C. (2020). *Polymer Chemistry*. Ed ke-3. CRC Press. Boca 26.
- Mangurai, S.U.N.M., Hermawan, D., Hadi, Y.S., Sulastiningsih, I.M., Basri E., Abdillah, I.B., Maulana, M.I., Purusatama, B.D., Park, S.Y., Lee, S.H., Febrianto, F., & Kim, N.H. (2022). Effect of densification on the physical and mechanical properties of the inner part of oil palm trunk impregnated with methylene diphenyl diisocyanate. *Scientific Reports*, 12,15350. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19504-x>.
- Martha, R., Basri, E., Setiono, L., Batubara, I., Rahayu, I.S., Gérardin, P., & Darmawan, W. (2021). The effect of heat treatment on the characteristics of the short rotation teak. *Internat. Wood Prod Journal*. <https://doi.org/10.1080/204264451953723>. Published online: 27 July 2021.

- Mubarok, M., Charbonnier, G.C., Azadeh, E., Akong, F.O., Dumarcay, S., Pizzi, A., et al. (2022). Modification of wood by tannin furfuryl alcohol resins-effect on dimensional stability, mechanical properties and decay durability. *Journal Renewable Materials*, 11(2),505–21. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.024872>.
- Mubarok, M., Nafisah, P.M., Santoso, A., Saefudin., **Basri, E.**, Hadi, Y.S., et al. (2025). Physical and mechanical properties of gmelina wood (*Gmelina arborea* Roxb.) modified with furfuryl alcohol-tannin. *Journal of Renewable Materials*, 13(4),1-10. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.057476>.
- Nagraik, P., Shukla, S.R., Kelkar, B.U., & Paul, B.N. (2023). Wood modification with nanoparticles fortified polymeric resins for producing nano-wood composites: a review. *Journal of the Indian Academy of Wood Sci*, 20(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13196-023-00313-2>.
- Neef, J. (2018). Kiln-drying hard wood. Diakses dari https://en.wikisource.org/wiki/Popular_Science_Monthly/Volume_45/July_1894/Kiln-Drying_Hard_wood. 14 Februari 2026.
- Pizzi, A. (2019). Tannins: prospectives and actual industrial applications. *Biomolecules*, 9(8), 1-30. <https://doi.org/10.3390/bio9080344>.
- Rosales, V., Rodríguez-Grau, G., Galarce, C., Montero, C., Alvarado, C., Muñoz L., & Pommier, R. (2023). Feasibility of bonding high-moisture-content wood using nothofagus chilean species. *Forests* 14(12), 2386. <https://doi.org/10.3390/f14122386>.
- Saefudin, **Basri, E.**, & Santoso, A. (2018). *Bahan Alam Pewarna Batik & Tenun*. Penerbit: Forda Press. ISBN: 978 602-6961 29-7.
- Saefudin, **Basri, E.**, & Pari, R. (2023). Relationship between wood properties and drying qualities at three age groups of mindi (*Melia azedarah* l.) tree for furnitur materials. *Wood Research Journal*, 14(1), 1-7.

- Sandberg, D., Kutnar, A., Mantanis, G.I. (2017). Wood modification technologies—a review. *Iforest–Biogeosciences and Forestry*, 10, 895–908. <https://doi.org/10.3832/ifor2380-010>.
- Santoso, A., **Basri, E.**, & Balfas, J. (2020). Kualitas kayu laminasi dengan perekat tannin dari ekstrak kulit kayu mahoni. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38 (3), 151-160. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.3.151-160>.
- Shmulsky, R., & Jones, P.D. (2019). *Forest Products and Wood Science: An introduction*. 7th Edition. Wiley-Blackwell. West Sussex.
- Shukla, S.R. (2019). Evaluation of dimensional stability, surface roughness, colour, flexural properties and decay resistance of thermally modified *Acacia auriculiformis*. *Maderas-Ciencia y Tecnol*, 21,433–446. <https://doi.org/10.4067/S0718221X2019005000401>.
- Sinaga, P.S., Pelloundo'u, M.E., Rammang, N., Sipayung, R.H., Manehat, M. (2024). Perbandingan metode pengawetan asap cair dan perebusan boraks terhadap kualitas 3 jenis bambu. *Journal of Social Science Research* 4(3), 1165-1174. E-ISSN 2807-4238.
- Soerianegara., I, & Lemmens, R.H.M.J. (1995). *Plant Resource of South- East Asia, No 5(1) Major Commercial Timber*. Prosea Foundation. Bogor.
- Sunarti, Supriadi, A., Kencono, A. W., Prasetyo, B. E., Sunaryo, F. K., Kurniadi, C. B., & Aprillia, R. (2017). *Kajian penyediaan dan pemanfaatan migas, batubara, energy baru terbarukan, dan listrik*. Jakarta. Retrieved from <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-kajian-penyediaan-dan-pemanfaatan-energi-2017>.
- Supriadi, A., **Basri, E.**, & Rahmat. (2014). Analisis teknis dan finansial mesin pengering kayu sistem panas tungku untuk usaha kecil. *Prosiding Ekpsose Hasil Penelitian*, (125-134). Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.

- Teacă, C.A., & Tanasă, F. (2020). Wood surface modification—classic and modern approaches in wood chemical treatment by esterification reactions. *Coatings*, 10(629),1-31. <https://doi.org/10.3390/coatings10070629>.
- Terazawa, S. (1965). *Methods for easy determination of kiln drying schedules of wood*. *Japan Wood Industry*, 20, 216-226.
- Tirta, E.B.E. (2025). Terlalu bergantung Amerika, ekspor mebel RI kini merana. CNBC (Consumer News and Business Channel) Indonesia. <https://www.cnbcindonesia.com/research/20250218134130-128-661611563>.
- Tokopedia. (2026). Papan bahan kayu jati asli Perhutani sudah serut halus. <https://www.tokopedia.com/rmebel-3/papan-bahan-kayu-jati-asli-perhutani-sudah-serut-halus?>
- United Nations. (2022). What is renewable energy?. Climate Action. <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy#>
- Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2008). Drying teak in solar collector. *Prosiding Semnas Mapeki XI*. Universitas Palangka Raya.
- Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2009). Drying rasamala with combined heat released from solar energy, fuel-powered stove and heater. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27 (2), 181 –190.
- Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2017). Sifat pengeringan suhu tinggi dan bagan pengeringan dasar 5 jenis kayu kurang dikenal asal Riau. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 6(2), 91–99. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2017.vol6iss2pp91-99>.
- Zelinka, S.L., Altgen, M., Emmerich, L., Guigo, N., Keplinger, T., Kymäläinen, M., et al. (2022). Review of wood modification and wood functionalization technologies. *Forests*, 13(1004),1-46. <https://doi.org/10.3390/f13071004>.

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET DAN INOVASI

Karya Tulis Ilmiah

1.	Buku Nasional	5 buah
2.	Bagian dari Buku Internasional	4 buah
3.	Bagian dari Buku Nasional	1 buah
4.	Jurnal Internasional	27 buah
5.	Jurnal Nasional	42 buah
6.	Prosiding Internasional	20 buah
7.	Prosiding Nasional	38 buah

Kekayaan Intelektual

8.	Paten Nasional	-
	a. Tersertifikasi	4 buah
	b. Terdaftar	11 buah
9.	Hak Cipta	6 buah

Publikasi Lainnya

1. Atlas kayu/Bambu/Vademecum
2. Majalah Semi Ilmiah
3. *Policy Brief*

Desain Industri

6 buah

DAFTAR CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

Buku Nasional

1. **Basri, E.**, & Rahmat. (2001). *Petunjuk Teknis Pembuatan Kilang Pengeringan Kayu Kombinasi Energi Surya dan Tungku*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan. (Edisi cetak ulang).
2. **Basri, E.**, & Balfas, J. (2015). *Teknologi Stabilisasi Dimensi Kayu*. Seri Paket IPTEK. Bogor: IPB Press. ISBN: 978-979-3132-68-6.
3. Djarwanto, Damayanti, R., Balfas, J., **Basri, E.**, *et al.* (2017). *Pengelompokan Jenis Kayu Perdagangan Indonesia*. Penerbit: FORDA Press. ISBN: 978 602-6961 23-5.
4. Saefudin, **Basri, E.**, Santoso, A. (2018). *Bahan Alam Pewarna Batik & Tenun*. Penerbit: Forda Press. ISBN: 978 602-6961 29-7.
5. **Basri, E.**, Yuniarti, K., Wahyudi, I., & Pari, R. (2020). *Teknologi Pengeringan Kayu*. Penerbit: IPB Press. ISBN: 978 623-256 183-0.

Bagian Buku Internasional

6. Yano, H., & *et al.* (2005).) *Total Utilization of Acacia mangium*. Internasional Cooperations and Overseas Activities. Indonesian JSPS Core University Program.
7. Saefudin, & **Basri, E.** (2023). *Effect of Fixatives on Color Performance of Bark Extract from Three Tropical Wetland Species for Dyeing the Fabrics*. Cutting Edge Research in Biology Vol. 6, Chap. 10. BP Internasional.

8. Saefudin, **Basri, E.**, & Setyowati, N. (2023). *Current Perspectives in Agriculture and Food Science*. Vol. 6. Chap. 7. BP Internasional.
9. Saefudin, **Basri, E.** (2025). *Exploration of Renewable Natural Pigments for Coloring Batik Fabrics*. Chemistry and Biochemistry: Research Progress Vol 4. Chap. 8. BP Internasional.

Bagian Buku Nasional

10. **Basri E.**, & Abdurahman. (2019). *Sifat Kayu Trema (Trema orientalis) dan Teknologi Peningkatan Kualitasnya untuk Bahan Mebel*. Penerbit: IPB Press. ISBN: 978 602-440 973-9.

Jurnal Internasional

11. **Basri, E.** (2001). Drying schedules for small-diameter logs from Jambi and their proper utilization for wooden craft products. *Forestry Research Journal*, 2(1), 23 – 27.
12. **Basri, E.**, Hadjib, N., & Saefudin. (2005). Basic properties in relation to drying properties of three wood species from Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 2 (1), 49-56.
13. **Basri, E.**, Saefudin, Rulliaty, S., & Yuniarti K. (2009). Drying conditions for 11 potential ramin substitutes. *Journal of Tropical Forest Science*, 21(4), 328-335.
14. **Basri, E.**, Harris, G., Abdurachman, & Ozarska, B. (2013). Basic drying schedules of four plantation-wood species for furniture. *Wood Research Journal*, 4(1), 13–17.
15. **Basri, E.**, Yuniarti, K., & Wahyudi, I., Saefudin, Damayanti, R. (2015). Effects of girdling on wood properties and drying characteristics of *Acacia mangium*. *Journal of Tropical Forest*

Science, 9(4), 498–505.

16. Saefudin, **Basri, E.**, & Sukito, E. (2018). Antioxidant activity and toxicity effect of eleven types of bark extracts Acquired from Euphorbiaceae. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 5(2), 133-146. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2018.5.2.133-146>.
17. Arsyad, W.O.M., **Basri, E.**, Hendra, D., & Trisatya, D.R. (2019). Termite resistance of impregnated jabon wood (*Anthocephalus cadamba* Miq.) with combined impregnant agents. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 47(4), 451-458. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2019.47.4.451>.
18. Augustina, S., Wahyudi, I., Darmawan, I.W., Malik, J., **Basri, E.**, & Kojima, Y. (2020). Specific gravity and dimensional stability of boron-densified wood on three lesser-used species from Indonesia. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 48 (4), 458-471. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.4.458>.
19. Martha, R., **Basri, E.**, Setiono, L., Batubara, I., Rahayu, I.S., Gérardin, P., & Darmawan, W. (2021). The effect of heat treatment on the characteristics of the short rotation teak. *International Wood Products Journal*. <https://doi.org/10.1080/204264451953723>. Published online: 27 July 2021.
20. **Basri, E.**, Damayanti, R., Darwis, A., Saefudin, & Wahyudi, I. (2021). Anatomical properties of *Hibiscus macrophyllus* and its mature wood development. *IAWA Journal*, 42 (4), 475-485. doi: 10.1163/22941932-bja10067.
21. Hadi, Y.S., Hermawan, D., Sulastiningsih, I.M., **Basri, E.**, Pari, G., Pari, R., & Abdillah, I.B. (2021). Color change and physical-mechanical properties of polystyrene- impregnated glulam from three tropical fast growing wood species. *Forests*, 12 (10), 1-14. <https://doi.org/10.3390/f12101420>.

22. **Basri, E.**, Yuniarti, K., & Saefudin. (2022). Thermal compression effect on several properties of 8-year-old waru gunung (*Hibiscus macrophyllus*) wood. *Journal of Tropical Forest Science*, 34(1), 74-82. <https://doi.org/10.26525/jtfs2022.34.1.74>.
23. Mangurai, S.U.N.M., Hermawan, D., Hadi, Y.S., Sulastiningsih, I.M., **Basri, E.**, Maulana, M.I., Purusatama B.D., *et al.* (2022). Effect of densification on the physical and mechanical properties of the inner part of oil palm trunk impregnated with methylene diphenyl diisocyanate. *Scientific Reports*, 12, 15350. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-19504-x>
24. **Basri, E.**, Hanifah, N., Martha, R., Rahayu, I.S., Mubarak, M., Darmawan, W., & Gerardin, P. (2022). Effect of citric acid and benzophenone tetracarboxylic acid treatments on stability, durability, and surface characteristic of short rotation teak. *Forests*, 13(1938),1-15. <https://doi.org/10.3390/f13111938>.
25. Malik, J., Santoso, A., Sulastiningsih., I.M., Trisatya, D.R., **Basri, E.**, Saefudin, *et al.* (2022). Study on wood houses as carbon storage to support climate stabilization: Study in four residences around Jakarta Municipal city. *Forests*, 13(1016):1-11. <https://doi.org/10.3390/f13071016>.
26. **Basri, E.**, Saefudin, Mubarak, M., Darmawan, W., Balfas, J., Adalina, Y., & Hadi, Y.S. (2023). Physicomechanical properties enhancement of fast-growing wood impregnated with wood vinegar animal adhesive. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 51(6), 542-554. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2023.51.6.542>.
27. Saefudin, & **Basri, E.** (2023). Utilization of tannin as renewable natural pigment in the culture of Indonesian batik fabrics: A review. *Journal of Positive School Psychology*, 7(4), 338-354.
28. Saefudin, **Basri, E.**, & Pari, R. (2023). Relationship between wood properties and drying qualities at three age groups of mindi (*Melia azedarah*) tree for furnitur materials. *Wood*

29. **Basri, E.**, Martha, R., Damayanti, R., Rahayu, I.S., Darmawan, W., & Gerardin, P. (2024). Durability and wettability of varnishes on the modified and aged surfaces of short rotation teak wood. *Pigment & Resin Technology*, 53(4), 464-474. <https://doi.org/10.1108/PRT-09-2022-0110>.
30. **Basri, E.**, Rahayu, E.S., Saefudin, Santoso, A., Sulastiningsih, I.M., Damayanti, R., Martha, R., & Darmawan, W. (2024.) Enhancement on physicommechanical properties of short-rotation teak woods by non-biocide chemical and thermal treatments. *Bioresources*, 19(2), 3290-3305. <https://doi.org/10.15376/biores.19.2.3290-3305>.
31. Amanah, S., Martha, R., **Basri, E.**, Mubarak, M., Rahayu, I.S., Alipraja, I., Darmawan, W., Gerardin, P., Emmerich, L., & Militz, H. (2024). The effect of weathering on surface characteristics of chemically modified scots pine (*Pinus sylvestris*) wood. *Wood Research*, 69 (4), 611-624. <https://doi.org/10.37763/wr.1336-4561/69.4.611624>.
32. Mubarak, M., Nafisah, P.M., Santoso, A., Saefudin, **Basri, E.**, Hadi, Y.S., et al. (2025). Physical and mechanical properties of gmelina wood (*Gmelina arborea* Roxb.) modified with furfuryl alcohol-tannin. *Journal of Renewable Materials*, 13(4), 1-10. <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.057476>.
33. **Basri, E.**, Tobing, G., Saefudin, Kartika, T., Adalina, Y., Rahayu, I.S., Mubarak, M., Darmawan, W., & Gerardin, P. (2025). Transforming inferior short-rotation teak: unleashing superior durability and stability with lactic acid-based bio-treatments. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83, 18. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02190-z>.
34. Kartikawati, A., **Basri, E.**, Malik, J., Santoso, A., Maulana, M.I., Wibowo, E.S., Kusumah, S.S., & Lubis, M.A.R.

(2025). Technological advancement in development of super hydrophobic coatings for high-performance wood composites: A review. *Progress in Organic Coatings* 203 (109160), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2025.109160>.

- 35.. Saputra, N.A., Pari, G., Priyono, S., **Basri, E.**, Saefudin, Djarwanto, & Haryadi, B. (2025). Superheated steam assisted nanoarchitectonics of red calliandra-delivered activated carbon for supercapacitor application. *Journal of the Indian Chemical Society*, 102(101894), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jics.2025.101894>.
36. Saefudin & **Basri, E.** (2025). Characteristics of substances extracted from leaves and barks of matoa (*Pometia pinnata* L.) plants as renewable natural pigments for coloring batik fabric. *Scientific Culture*, 11(4), 2300-2314. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11425278>.
37. Adalina, Y., Gholam, G.M., Pratama, B.P., Andrianto, D., Rizqiani, K.D., Sawitri, R., Kusmiati, Pari, R., Saefudin, **Basri, E.**, & Waluyo, T.K. (2026). Comparative study of *Apis mellifera* and *Heterotrigona itama* honeys from different Indonesian regions on bioactivities, quantitative phenolic profiles, and in silico target engagement. *European Food Research and Technology*, 252,160. <https://doi.org/10.1007/s00217-026-05091-y>.

Jurnal Nasional

38. Rachman, O., & **Basri, E.** (1986). Potensi dan kemungkinan pemanfaatan kayu kelapa di Indonesia. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*, III (2).
39. **Basri, E.**, & Kartasujana, S. (1987). Perilaku pengeringan rotan manau (*Calamus manan* MIQ) dan rotan semambu (*Calamus scipionum* Lour). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 4 (1), 12-16.

40. **Basri, E., & Kartasujana, S. (1987).** Pengaruh penggorengan dan cara pengeringan terhadap sifat rotan balukbuk (*Calamus burckianus*) dan rotan seuti (*Calamus ornatus*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 4 (1), 68-71.
41. **Basri, E. (1990).** Bagan pengeringan beberapa jenis kayu hutan tanaman industri. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 6 (7), 447-451.
42. **Basri, E. (1992).** Sifat pengeringan beberapa jenis kayu hutan tanaman industri (HTI). *Jurnal Sifat dan Kegunaan Jenis Kayu Hutan Tanaman Industri*, 1, 1-4.
43. **Basri, E., & Hidayat, S. (1993).** Pengeringan alami dan buatan sepuluh jenis kayu Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 11 (3), 122-127.
44. **Basri, E., & Hidayat, S. (1993).** Pengaruh asal dan umur pohon terhadap sifat pengeringan kayu sengon. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 11 (4), 129-133.
45. **Saefudin, & Basri, E. (1995).** *Gmelina arborea* Roxb sebagai komponen konservasi lahan marginal: Studi kasus di Oemasi, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Kehutanan*, X(1),1-5.
46. **Basri, E., & Hidayat, S. (1996).** Penyerapan air kayu pinus (*Pinus merkusii*) dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*) setelah pengeringan. *Info Hasil Hutan*, III (1), 8-14.
47. **Saefudin, & Basri, E. (1998).** Legum tumbuh cepat untuk rehabilitasi lahan kritis DAS Cisadane Hulu. *Majalah Duta Rimba* 21/Tahun XXIII/Juli/1998.
48. **Basri, E., Rachman, O., & Supriadi, A. (1998).** Pengupasan dan pemolesan rotan dalam keadaan basah dan kering. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 15 (8).
49. **Basri, E., Choong, E.T., Sofyan, K., & Roliadi, H. (1999).**

Dryability classification of twenty-five timber species of Indonesia. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, XII (2), 21-28.

50. **Basri, E.** (2000). Teknik pengeringan empat jenis kayu diameter kecil asal hutan tanaman. *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, 17 (4), 199-2008.
51. **Basri, E., Rohadi, D., & Priadi, T.** (2004). The alleviation of discoloration in teak (*Tectona grandis*) wood through drying and chemical treatments. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 2 (1), 57-61.
52. **Basri, E., & Hadjib, N.** (2004). Hubungan sifat dasar dan sifat pengeringan lima jenis kayu andalan Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 22 (3), 155-166.
53. **Basri, E., & Saefudin.** (2004). Pengaruh umur dan posisi letak ruas pada batang terhadap sifat pengeringan tiga jenis bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 22 (3), 123-134.
54. **Basri, E.** (2005). Bagan pengeringan dasar 16 jenis kayu Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23 (1), 15 –22.
55. **Basri, E.** 2005. Mutu kayu mangium dalam beberapa metode pengeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 23 (2), 117 –126.
56. **Basri, E., & Supriadi, A.** (2006). Uji coba mesin pengering kayu kombinasi tenaga surya dan panas dari tungku Tipe I (SC+TI). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24 (5), 437-448.
57. **Basri, E., & Saefudin.** (2006). Sifat kembang susut dan kadar air keseimbangan bambu tali pada berbagai umur dan tingkat kekeringan. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 24 (3), 241 –250.
58. **Basri, E., Rulliaty, S., & Saefudin.** (2007). Sifat dan kualitas pengeringan lima jenis kayu dari Kebun Raya Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 25 (3), 256-265.
59. **Basri, E., Triantoro, R.G.N., & Wahyudi.** (2007). Sifat dan jadwal pengeringan lima jenis kayu Papua Barat. *Jurnal Ilmu*

dan Teknologi Kayu Tropis, 5 (2), 57-62.

60. **Basri, E.** (2008). Bagan pengeringan dasar 12 jenis kayu dari Indonesia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26 (2), 181–192.
61. **Basri, E., & Rulliaty, S.** (2008). Pengaruh sifat fisik dan anatomi terhadap sifat pengeringan enam jenis kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26 (3), 253-272.
62. **Basri, E., & Rulliaty, S.** (2008). Peningkatan kualitas kayu cepat tumbuh untuk bahan baku mebel melalui pengeringan. *Buletin Hasil Hutan*, 14 (1), 39-44.
63. Saefudin, **Basri, E., & Hadjib, N.** (2008). Pengaruh umur, posisi batang dan tingkat kekeringan terhadap sifat fisik dan kualitas pengeringan bambu andong. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 26 (4), 289 –298.
64. **Basri, E.** (2009). Kualitas pengeringan kayu jati cepat tumbuh dan jati konvensional. *Buletin Hasil Hutan* 15 (1), 1-7.
65. **Basri, E.** (2009). Pengaruh lama pengukusan terhadap laju pengeringan, penyusutan, dan mutu kayu titi. *Buletin Hasil Hutan*, 15 (1), 23-29.
66. **Basri, E., Kaomini, & Yuniarti, K.** (2009). Kualitas filamen dan benang sutera dari kokon hasil uji coba pengeringan dan penyimpanan menggunakan alat desain P3HH Bogor. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27 (3), 213-222.
67. Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2009). Drying rasamala with combined heat released from solar energy, fuel-powered stove and heater. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 27 (2), 181 –190.
68. **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. [https://doi.org/ 10.20886/jphh.2013.31.2.93-102](https://doi.org/10.20886/jphh.2013.31.2.93-102).
69. **Basri, E., Prayitno, T., & Pari, G.** (2013). Pengaruh umur pohon

terhadap sifat dasar dan kualitas pengeringan kayu waru gunung (*Hibiscus macrophyllus roxb.*). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 30(4), 243-253. [https://doi.org/ 10.20886/jphh.2012.30.4.243-253](https://doi.org/10.20886/jphh.2012.30.4.243-253).

70. **Basri, E.**, Abdurachman, & Dwianto, W. (2014). Pengaruh pengukusan dan pengempaan panas terhadap beberapa sifat kayu jabon untuk bahan mebel. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kayu Tropis*, 12 (2), 169-177.
71. **Basri, E.**, & Balfas, J. (2014). Impregnasi ekstrak jati dan resin pada kayu jati cepat tumbuh dan karet. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 32 (4), 283-289.
72. **Basri, E.**, & Balfas, J. (2015). Stabilisasi dimensi kayu jati cepat tumbuh dan jabon dengan perlakuan pemadatan kimia. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 33(4), 315-327. <https://doi.org/10.20886/jphh.2015.33.4.315-327>.
73. Saefudin, & **Basri, E.** (2016). Potensi antioksidan dan sifat sitotoksis ekstrak kulit kayu sembilan jenis tumbuhan dari Taman Nasional Lore Lindu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 34(2), 137–145. [https://doi.org/ 10.20886/jphh.2016.34.2.137-145](https://doi.org/10.20886/jphh.2016.34.2.137-145).
74. **Basri, E.**, & Pari, R. (2017). Sifat fisis dan pengeringan lima jenis bambu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(1), 1-13. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.1.1-13>.
75. Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2017). Sifat pengeringan suhu tinggi dan bagan pengeringan dasar 5 jenis kayu kurang dikenal asal Riau. *Jurnal Penelitian Kehutan Wallacea*, 6 (2), 91–99. [https://doi.org/ 10.18330/jwallacea.2017.vol6iss2pp91-99](https://doi.org/10.18330/jwallacea.2017.vol6iss2pp91-99).
76. Balfas, J., **Basri, E.**, & Santoso, A. (2018). Efektivitas bahan pengisi kayu pada tiga jenis kayu. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 36 (2), 113-128. [https://doi.org/ 10.20886/jphh.2018.36.2.113-128](https://doi.org/10.20886/jphh.2018.36.2.113-128)

77. Santoso, A., **Basri, E.**, & Balfas, J. (2020). Kualitas kayu laminasi dengan perekat tannin dari ekstrak kulit kayu mahoni. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38 (3), 151-160. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.3.151-160>.
78. **Basri, E.**, & Saefudin. (2021). Improvement on several physical and mechanical properties of Jati Utama Nusantara wood by thermal compression treatment. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 39(3), 121-128. <https://doi.org/10.20886/jphh.2021.39.3.121-128>.
79. Tobing, G., Sofiatrizkiyah, N., **Basri, E.**, Martha, R., Rahayu, I.S., Gerardin, P., & Darmawan, W. (2024). Mikrostruktur dan karakteristik permukaan kayu pinus scots (*Pinus sylvestris* L.) termodifikasi gliserol dan asam sitrat. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 29(4), 554-563. <https://doi.org/10.18343/jipi.29.4.554>.

Prosiding Internasional

80. **Basri, E.** (1994). Research and development on wood drying in Indonesia. *Workshop on Solar Thermal Energy Utilization System*. International Joint R&D Programme of Solar Thermal Energy Utilization System. Jakarta.
81. **Basri, E., Roliadi, H., & Rahmat.** (1998). Drying technique for Kumia (*Manilkara sp*) wood. *Proceedings The Second International Wood Science Seminar*. LIPI – JSPS Core University Program In The Field of Wood Science. Serpong.
82. **Basri, E., Roliadi, H., & Rahmat.** (1999). The effect of pre-steaming and cross-sectional end-coating on drying properties of Indonesian torem (*Manilkara kanosiensis*) wood. *Proceedings the Fourth International Conference on the Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry*. Forest Products Research Centre. England.
83. **Basri, E., Hayashi, K., Hadjib, N., & Roliadi, H.** (2000). The qualities and kiln drying schedules of several wood species from Indonesia. In Sustainable Utilization of Forest Products, Socio-Economical and Ecological Management of Tropical Forests. *Proceedings of the Third International Wood Science Symposium*. Wood Research Institute, Kyoto University. JSPS Core University Program.
84. **Basri, E., Hayashi, K., Masasuke, S., & Nishiyama, H.** (2001). Optimum drying schedule for some fast grown species from Indonesia. *Proceedings of the Seventh International IUFRO Wood Drying Conference*. Forestry and Forest Products Research Institute. Tsukuba, Japan.
85. **Basri, E., Hayashi, K., & Rahmat.** (2002). The combination of shed and kiln drying resulted in good quality of mangium lumbers. *Proceedings of the Fourth International Wood Science Symposium*. LIPI-JSPS Core University Program. Serpong, Indonesia.

86. **Basri, E., Gusmailina, & Priadi.** (2003). The combination of solar and biomass energy in wood drying. Regional Workshop on Drying Technology. *The Third Seminar and Workshop. ASEAN Subcommittee on Non-Conventional Energy Research.* Bogor, Indonesia.
87. **Basri, E.** (2003). The combination of solar and Biomass energy in wood drying. *Workshop and Expose Fundamental Research Scientific Results of Indonesian-Japan Cooperation Program.* LIPI – JSPS Core University Program. Jakarta, Indonesia.
88. **Basri, E., & Yuniarti, K.** (2005). The combination of solar energy and heating stoves sistem for drying wood. *Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium.* LIPI-JSPS Core University Program. Denpasar.
89. **Basri, E., Jasni, & Damayanti, R.** (2011). Trial test on the presevation and steaming of mahoni wood using the designed machine of Forest Products R&D Center. *Proceedings The 2nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society.* LIPI-JSPS Core University Program. Denpasar.
90. **Basri, E., Harris, G.A., Ozarska, B., Malik, J., Damayanti, R., & Hadi, Y.S.** (2012). Wood drying problems and possible solutions for small enterprises of wood furniture industries in Jepara Region. *Proceedings INAFOR 2011: International Conference of Indonesia Forestry Researchers: Strengthening Forest Science and Technology for Better Forestry Development.* Bogor.
91. **Basri, E., & Pari, R.** (2019). Moisture content based on drying schedule of seven Indonesian woods species. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 359 (2019) 011002.
92. **Basri, E., Yuniarti, K., & Saefudin.** (2019). Basic properties and potential uses of 35 wood species from Moluccas, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 399 (2019) 012105.

93. **Basri, E., & Saefudin.** (2020). Waste extracts from plants and their application as natura coloring for fabrics. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 935 (2020) 012001.
94. Hadi, Y.S., Herliyana, E.N., Sulastiningsih, I.M., **Basri, E.,** Pari, R., & Abdillah, I.B. (2021). Physical and mechanical properties of impregnated polystyrene jabon (*Anthocephalus cadamba*) glulam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 891 (2021) 012007.
95. Pasaribu, G., Yuniarti, K., Waluyo, T.K., **Basri, E.,** & Efiyanti, L. (2021). Drying and quality performance of dragon blood's resin (*Daemonorops sp*) exposed to solar and oven drying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 914 (2021) 012058.
96. Yuniarti, K., Efiyanti, L., **Basri, E.,** Pasaribu, G., & Waluyo, T.K. (2022). Intermittent drying of dragon blood's resin. *International Conference on Biomass and Bioenergy* 10342021(2022) 012010.
97. Saefudin, & **Basri, E.** (2022). Effect of fixator on color performance of bark extract from three tropical wetland species for fabric dye. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 976 (2022) 012049.
98. Yuniarti, K., Setiadi, A., **Basri, E.,** Fahriansyah, & Saefudin. (2024). Microwave drying vs hot-steam-air drying of seedless noni fruit: drying performance and post-drying quality. *AIP Conference Proceedings* 2973, 050004 (2024).
99. **Basri, E.,** Saefudin, Malik, J., Balfas, J., Santoso, A., Yuniarti, K., & Darmawan, W. (2024). Physical and mechanical properties of oil palm (*Elaeis guineensis*) wood modified with bio based impregnant. *AIP Conference Proceedings* 2973, 040008 (2024).

Prosiding Nasional

100. **Basri, E.** (1983). Catatan mengenai keterawetan beberapa jenis kayu Indonesia. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Pengawetan Kayu* (213-218). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
101. **Basri, E., & Sutigno, P.** (1983). Kapasitas kilang pengeringan (*drykiln*) dan ketel uap (*boiler*) untuk industri penggergajian dari kayu ramin (*Gonystylus bancanus*). *Prosiding Diskusi Industri Per kayuan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
102. Barly & **Basri, E.** (1990). Peranan pengawetan dan pengeringan kayu dalam industri kayu sekunder. *Prosiding Diskusi Industri Per kayuan*, (89-103). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Jakarta.
103. Hadjib, N., & **Basri, E.** (1990). Sifat fisik, mekanik, dan pengeringan beberapa jenis kayu dari kayu hutan alam dan hutan tanaman. *Prosiding Diskusi Hutan Tanaman Industri*, (691-701). Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
104. **Basri, E.** (1993). Pengeringan nangka (*Artocarpus heterophyllus*) secara sederhana. *Prosiding Pertemuan Teknis Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Jenis-Jenis Pohon Serbaguna*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
105. **Basri, E.** (1993). Efisiensi pengolahan rotan kesur (*Calamus ornatus*) dan rotan tohiti (*Calamus inops*). *Prosiding Seminar Nasional Biologi XI*. Universitas Hasanuddin. Ujung Pandang.
106. **Basri, E.** (1993). Peningkatan kualitas kayu *Pinus oocarpa* melalui pengeringan tenaga matahari. *Prosiding Semnas Biologi XI*. Universitas Hasanuddin. Ujung Pandang.
107. Saefudin & **Basri, E.** (1993). Seleksi tanaman untuk reklamasi DAS Cisadane. *Prosiding Lokakarya Nasional Agroforestry*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan.

108. Barly & **Basri, E.** (1994). Pengawetan dan pengeringan kayu Sungkai (*Peronema canesen* Jack). *Prosiding Diskusi Hasil Penelitian Kayu HTI*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan & Sosial Ekonomi Kehutanan.
109. Rachman, O., Barly, **Basri, E.**, & Dulsalam. (1994). Analisis teknologi industri pengolahan dan pemanfaatan kayu sungkai (*Peronema canescen* Jack). *Prosiding Diskusi Hasil Penelitian Kayu HTI*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan & Sosial Ekonomi Kehutanan.
110. **Basri, E.**, & Rohadi, D. (1995). Prospek pemanfaatan energi surya pada proses pengeringan kayu. *Prosiding Lokakarya Teknologi Tepat Guna Energi Non-Konvensional untuk Pembangunan di Indonesia*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
111. **Basri, E.**, & Jasni. (1995). Peningkatan kualitas tiga jenis bambu melalui kombinasi teknik pengeringan dan pengawetan. *Prosiding Seminar Nasional Biologi XIII*. Universitas Indonesia.
112. **Basri, E.** (1998). Penerapan teknologi pengeringan tepat guna pada industri kayu skala kecil. *Prosiding Seminar Nasional Mapeki I* (117-123). Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
113. **Basri, E.** (2000). Penerapan bagan pengeringan tiga jenis kayu dalam dapur pengering konvensional. *Prosiding Diskusi Peningkatan Kualitas Kayu*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
114. **Basri, E.** (2000). Teknologi pengeringan: Pilihan bagi industri kecil kehutanan. *Prosiding Diskusi Peningkatan Kualitas Kayu*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
115. **Basri, E.**, Alamsyah, E.M., & Rasyid, E. (2000). Ketergantungan kadar air keseimbangan terhadap jenis kayu dan suhu

- lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Mapeki III* (442-447). Fakultas Kehutanan Universitas Winaya Mukti Bandung.
116. **Basri, E., & Yuniarty, K.** (2001). Perkembangan penelitian pengeringan kayu mangium (*Acacia mangium*) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan Bogor. *Prosiding Diskusi Teknologi Pemanfaatan Kayu Budidaya untuk Mendukung Industri Perakayuan yang Berkelanjutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
117. **Basri, E., & Mandang, Y.I.** (2001). Pengeringan kayu: Pentingnya pemahaman sifat-sifat kayu untuk mendukung teknologi pengolahan. *Prosiding Diskusi Teknologi Pemanfaatan Kayu Budidaya untuk Mendukung Industri Perakayuan yang Berkelanjutan* (261-268). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
118. Yuniarti, K., **Basri, E., & Hadjib, N.** (2001). Sifat tusam (*Pinus merkusii* et de Vrise) koakan untuk menunjang kemungkinan pemanfaatannya bagi industri kecil. *Prosiding Seminar Mapeki IV*, (69-75). Universitas Mulawarman.
119. **Basri, E.** (2002). Pengeringan kayu di Indonesia: Permasalahan dan upaya pemecahannya. *Prosiding Workshop Teknologi Pengeringan dan Teknik Pengawetan Kayu*, (53-58). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
120. **Basri, E.** (2002). Sifat dan teknologi pengolahan sederhana kayu mindi (*Melia azedarach* L.) dan kayu manis (*Cinnamomum burmanii* BL). *Prosiding Seminar Hasil Penelitian Teknologi Hasil Hutan* (197-202). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
121. **Basri, E., & Yuniarti, K.** (2002). Sifat pengeringan alami dan suhu tinggi kayu mangir, tisuk dan sukun. *Prosiding Seminar Mapeki V*, (329-333). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.

122. Hadjib, N., **Basri, E.**, & Sutigno, P. (2002). Keadaan penelitian dan pengembangan sifat dasar dan pengolahan kayu serta bahan berlignoselulosa lain. *Prosiding Seminar Mapeki V*, (691-701). Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Hasil Hutan.
123. **Basri, E.**, & Saefudin. (2003). Potensi kayu manis (*Cinnamomum sp*), budidaya dan pemanfaatannya untuk industri perkayuan. *Prosiding Seminar Mapeki VI*. Bukittinggi.
124. Saefudin, & **Basri, E.** (2003). Pemanfaatan manii (*Maesopsis eminii*) dalam sistem konservasi lahan marginal bekas penambangan emas. *Prosiding Seminar Mapeki VI*. Bukittinggi.
125. **Basri, E.**, & Rahmat. (2002). Teknologi pengeringan kayu kombinasi energi surya dengan panas tungku. *Proyek Peningkatan Kemampuan Teknologi Industri Kimia, Agro dan Hasil Hutan*. Departemen Perindustrian dan Perdagangan.
126. **Basri, E.**, & Muslich, M. (2005). Teknologi pengolahan kayu karet. *Proyek Peningkatan Kemampuan Teknologi Industri Kimia, Agro, dan Hasil Hutan*. Departemen Perindustrian.
127. **Basri, E.**, & Yuniarti, K. (2006). Sifat dan bagan pengeringan sepuluh jenis kayu hutan rakyat untuk bahan baku mebel. *Prosiding Seminar Hasil Litbang Hasil Hutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan.
128. **Basri, E.**, & Hadjib, N. (2007). Pengeringan kayu tanaman untuk bahan baku kayu pertukangan. *Seminar Nasional Sistem Penyediaan Kayu Bermutu Konstruksi*, (221-229) Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Bandung.
129. **Basri, E.**, & Saefudin. (2007). Kualitas pengolahan tiga jenis kayu substitusi ramin dari koleksi Kebun Raya Bogor. *Prosiding Seminar Mapeki X*, (222-228). Universitas Tanjungpura.
130. **Basri, E.** (2008). Standar mutu kayu berdasarkan sifat pengeringannya. *Prosiding Seminar Mapeki XI*, (221-229). Universitas Palangka Raya.

131. **Basri, E., & Saefudin.** (2008). Sifat pengeringan cabang tiga jenis kayu kurang dikenal. *Prosiding Seminar Mapeki XI*, (504-508). Universitas Palangka Raya.
132. Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2008). Drying teak in solar collector. *Prosiding Seminar Mapeki XI*, (509-513). Universitas Palangka Raya.
133. Yuniarti, K., & **Basri, E.** (2009). Laju dan mutu pengeringan lima jenis kayu asal Jawa Barat. *Prosiding Seminar Mapeki XII*, (569-576). Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Bandung.
134. **Basri, E., & Saefudin.** (2009). Perbedaan sifat pengeringan dua jenis kayu dari genus *Litsea* dalam dua metode pengeringan. *Prosiding Seminar Mapeki XII*, (577-582). Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman Bandung.
135. **Basri, E., & Saefudin.** (2011). Rasio penyusutan arah tangensial terhadap radial dan kadar air titik jenuh serat tiga jenis cabang. *Prosiding Seminar Mapeki XIII*, (923-928). Sanur-Bali.
136. **Basri, E., & Saefudin.** (2013). Sifat fisik dan bagan pengeringan bambu mayan (*Gigantochloa robusta* Kurz). *Prosiding Seminar Mapeki XIV*. Universitas Hasanuddin.
137. Supriadi, A., **Basri, E., & Rahmat.** (2014). Analisis teknis dan finansial mesin pengering kayu sistem panas tungku untuk usaha kecil. *Prosiding Ekspose Hasil Penelitian*, (125-134). Pusat Penelitian dan Pengembangan Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan.

Kekayaan Intelektual

Paten Tersertifikasi

1. Balfas, J., & **Basri, E.** (2018). Komposisi Bahan untuk Meningkatkan Kekuatan dan Keawetan Kayu yang Mengandung Ekstrak Kayu dan Resin. No. pemberian IDP000053597.
2. **Basri, E.** (2019). Sistem Pengeringan dengan Sumber Panas Sinar Matahari. No. pemberian IDP000060322.
3. **Basri, E., & Saefudin.** (2023). Proses Pembuatan Resin Organik untuk Meningkatkan Kekuatan dan Kestabilan Dimensi Kayu. No. pemberian IDP000085758.
4. **Basri, E., & Balfas, J., & Saefudin.** (2023). Komposisi Bahan untuk Meningkatkan Kekuatan dan Keawetan Kayu yang Mengandung Asap Cair, Resin dan Boraks. No. pemberian IDP000085390st.

Paten Terdaftar

1. Saefudin, **Basri, E.**, Fahriansyah, Yuniarti, K., & Supriadi, A. (2023). Proses Pewarnaan Kain dengan Pewarna Alami dari Ekstrak Kulit Kayu Bakau Minyak (*Rhizophora apiculata* Bl.) dan Ketapang (*Terminalia catappa* L.) serta Komposisi Fiksatornya. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202305303.
2. Darmawan, W., **Basri, E.**, Rahayu, I.S., Saefudin, Damayanti, R., & Mubarak, M. (2024). Formula dan Metode Impregnasi Menggunakan Asam Sitrat-Gliseryl untuk Peningkatan Kualitas Kayu Rotasi pendek. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202411267.
3. Mubarak, M., Saefudin, **Basri, E.**, Bahanawan, A., Pari, R., Santosa, A., *et al.* (2024). Metode Peningkatan Sifat Fisis dan Mekanis Kayu Ringan dengan Teknik Modifikasi Berbasis Furfuril Alkohol-Tanin. Paten Sederhana. Terdaftar di

Kemenkumham No. S00202414196.

4. Santosa, A., **Basri, E.**, Malik, J., Maulana, M.I., Sutiawan, J., Lubis, M.A.R., Kusumah, S.S., Wibowo, S.S., & Kartikawati, A. (2025). Komposisi dan Proses Pembuatan Perekat Non Formalin Berbasis Tanin Karbohidrat-Lateks untuk Pembuatan Kayu Lapis Ramah Lingkungan dengan Proses Kempa Suhu Rendah. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202507118.
5. Saefudin, **Basri, E.**, Pasaribu, G.T.S., Pari, R., & Adalina, Y. (2025). Proses Pewarnaan Kain Berbasis Tanin Kulit Kayu Matoa (*Pometia pinnata* L.). Paten Sederhana. Terdaftar di Kemenkumham No. S00202510414.
6. Adalina, Y., Wijaya, H., Andrianto, D., Pratama, B.P., Kusmiati, Pari, R., Gusti, R.E.P., Rizkiani, K.D., Waluyo, T.K., Novrianti, E., Pasaribu, G.T.A., **Basri, E.**, Sawitri, R., Saefudin, & Warjaatmaja, T. (2025). Formula Madu Bubuk Fungsional dengan Ekstrak Kayu Secang (*Caesalpinia Sappan* L.) serta Bahan Pengikat. Paten. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202513811.
7. Santoso, A., **Basri, E.**, Malik, J., Kusumah, S.S., Lubis, M.A.R., Sutiawan, J., Wibowo, E.S., Maulana, M.I., Savero, A.M., Supianto, M., Purusatama, B.D., Kartikawati, A. (2026). Komposisi dan Proses Pembuatan Perekat Tipe Eksterior untuk Pembuatan Kayu Lapis. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202604259.
8. Lubis, M.A.R., Wibowo, E.S., Kusumah, S.S., Maulana, M.I., Santoso, A., Purusatama, B.D., Malik, J., **Basri, E.**, Sutiawan, J. (2026). Formulasi dan Metode Pembuatan Perekat Bebas Formaldehida Berbasis Tanin Kulit Kayu Acacia Mangium untuk Aplikasi Kayu Lapis dengan Proses Kempa Dingin. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202605519.
9. Wibowo, E.S., Supianto, M., Lubis, M.A.R., Kusumah, S.S., Sutiawan, J., Maulana, M.I., Santoso, A., Purusatama,

- B.D., Malik, J., & **Basri, E.** (2026). Komposisi dan Metode Pembuatan Perekat Alami Berbasis Isolat Protein Kedelai Termodifikasi Glioksal dan Produk yang Dihasilkannya. Terdaftar di Kemenkumham No. P00202604783.
10. **Basri, E.**, Saefudin, Saputra, N.A., Yuniarti, K., Purnomo, D., Santoso, A., Malik, J., & Sulastiningsih, I.M. (2026). Sistem dan Metode Pengukusan serta Pengawetan Bahan Lignoselulosa dengan Reaktor Terpadu Berbasis Energi Hibrid Surya. Terdaftar di Kemenkumham No. S00202605042.
 11. **Basri, E.**, Saefudin, Saputra, N.A., Yuniarti, K., Purnomo, D., & Adalina, Y. (2026). Sistem Pengering Biomassa Berbasis Sirkulasi Fluida Panas Tidak Langsung. Terdaftar di Kemenkumham No. S00202605043.

Hak Cipta

1. **Basri, E** (anggota tim penulis). (2014). Atlas Kayu Indonesia Jilid IV. Hak Cipta P/ID NO.C 00201404901.
2. **Basri, E.**, & Balfas, J. (2016). Seri Paket IPTEK Teknologi Stabilisasi Dimensi Kayu. Hak Cipta P/ID NO. C 00201602511.
3. **Basri, E.** (2016). Pengering Kayu Tenaga Surya sebagai Teknologi Ramah Lingkungan. Pengakuan Kemen LHK. No. Registrasi: 013/TRL/Reg-1/KLHK.
4. **Basri, E** (anggota tim penulis). (2017). Pengelompokan Jenis Kayu Perdagangan Indonesia. Hak Cipta P/ID No. C 00201605816.
5. **Basri, E** (Anggota tim penulis). (2020). Atlas Bambu Indonesia Jilid 1. Hak Cipta P/ID NO.EC 00202068459.
6. **Basri, E.**, Yuniarti, K., Wahyudi, I., & Pari, R. (2020). Pengeringan Kayu: Teknologi dan Bagan Pengeringan. Hak Cipta P/ID No. EC 00202058460.

Desain Industri

1. Alat/system pengeringan kombinasi energi surya dan energi biomas/minyak skala Usaha Kecil Menengah (UKM). Paten Tersertifikasi dari Kemenkumham No. IDP000060322 Tahun 2019.
2. Alat/system sistem dan metode pengukusan serta pengawetan bahan lignoselulosa dengan reaktor terpadu berbasis energi hibrid surya. Terdaftar di Kemenkumham No. S00202605042 Tahun 2026.
3. Alat pengeringan ”Shed” sebelum kayu dikeringkan dalam dapur pengeringan.
4. Alat vakum tekan untuk mengimpregnasi bahan impregnan ke dalam struktur kayu, skala laboratorium.
5. Alat pengeringan kayu dengan energi berbasis biomassa.
6. Alat/system pengering berbasis sirkulasi fluida panas tidak langsung. Terdaftar di Kemenkumham No. S00202605043 Tahun 2026.

DAFTAR PUBLIKASI LAINNYA

1. **Basri, E.** (1987). Rasamala yang terlupakan. *Suara Alam* II (51), 11-14.
2. **Basri, E.** (1989). Bitti, kayu phinisi nusantara. *Suara Alam* IV (39), 1-4.
3. **Basri, E.** (2005). Alat pengering kayu buatan Puslitbanghut: Karya lokal mutu internasional. *Agro Indonesia* I (41).
4. Djarwanto, Damayanti, R., Balfas, J., **Basri, E.**, Jasni, *et al.* (2018). Merevisi Pengelompokan Jenis Kayu Perdagangan Indonesia sebagai Dasar Pengenaan Iuran Kehutanan (Keputusan Menteri Kehutanan Nomor 163/Kpts-II/2003). *Policy Brief* Vol. 12 No. 05 Tahun 2018. Rekomendasi Kebijakan BLI Kehutanan Kepada menteri KLHK.
5. Rulliaty, R., Jasni, Damayanti, R., Sulastiningsih, I.M., **Basri, E.**, *et al.* (2019). *Atlas Bambu Indonesia 1*. Bogor: IPB Press. ISBN: 978 602-440 973-9.
6. Saefudin, **Basri, E.**, & Efendi, R. (2020). Mengembangkan Pewarna Alam Berbasis Limbah Kehutanan untuk Kain Batik dan Tenun. *Policy Brief* 14 (11), 2020. Rekomendasi Kebijakan BLI Kehutanan Kepada menteri KLHK.
7. **Basri, E.** (Anggota Tim Penulis). (2020). *Vademecum Kehutanan Indonesia*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Rep. Indonesia.
8. Muslich, M., Hadjib, N., Damayanti R., **Basri E.**, *et al.* (2021). *Atlas Kayu Indonesia Jilid V*. Bogor: IPB Press. ISBN: 978 623-256 865-5.

9. Damayanti, R., Jasni, Sulastiningsih, I.M., **Basri, E.**, et al. (2021). Atlas Bambu Indonesia II. Bogor: IPB Press. ISBN: 978 623-256 841-9.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. DATA PRIBADI

Nama	: Dr. Ir. Efrida Basri, M.Sc.
Tempat, Tanggal Lahir	: Bukittinggi 24 Februari 1958
Anak ke	: 2 dari 12 bersaudara
Jenis Kelamin	: Perempuan
Nama Ayah Kandung	: Hasan Basri
Nama Ibu Kandung	: Asma Juned
Nama /Suami	: Drs. Saefudin, M.Pd.
Jumlah Anak	: 3 orang
Nama Anak	: Ixora Adisti, S.T., M.Sc. : Gibran Oktabrani (Alm) : Denvi Giovanita, P.Si.
Nama Unit	: Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk
Nama Organisasi	: Nanoteknologi dan Material
Nama Instansi	: Badan Riset dan Inovasi Nasional
Judul Orasi	: Pengembangan Teknologi Pengeringan Energi Surya-Biomassa dan Modifikasi Kayu untuk Meningkatkan Kualitas Kayu Cepat Tumbuh
Ilmu	: Material Sains
Bidang	: Teknologi Hasil Hutan
Kepakaran	: Pengeringan dan Modifikasi Kayu

No. SK Pangkat Terakhir : Keputusan Presiden No. 67/K Tahun 2010 tanggal 12 November 2010

No. SK Peneliti Ahli Utama BRIN : Keputusan Presiden No. 10/M Tahun 2022 tanggal 16 Maret 2022

Tautan Scopus : <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35738508500>

Tautan Google Scholar : <https://scholar.google.com/citations?user=yA0oRJ0AAAAJ&hl=id>

B. PENDIDIKAN FORMAL

No	Jenjang	Nama Sekolah/ PT/ Universitas	Tempat/Kota/ Negara	Tahun Lulus
1.	SD	SDN 5 Ambon	Ambon	1971
2.	SMP	SMP N 3 Ambon	Ambon	1974
3.	SMA	SMA N 2 Ambon	Ambon	1977
4.	S1	Institut Pertanian Bogor	Bogor	1982
5.	S2	Universitas Gadjah Mada	DI.Yogyakarta	2011
6.	S3	Institut Pertanian Bogor	Bogor	2025

C. PENDIDIKAN NONFORMAL

No	Nama Pelatihan/ Pendidikan	Tempat/Kota/ Negara	Tahun
1.	Prajabatan	Kemenhut/Jakarta	1984
2.	Kursus Komputer	IPB/Bogor	1985

3.	Management and Marketing Courses	Sweden-Finland	1991
4.	Penataran Pra-Pasca Sarjana Ilmu-ilmu Pertanian	UGM/DI. Yogyakarta	1993
5.	<i>Research Collaboration</i> (JSPS Program)	Ehime Univ./ Matsuya-ma/Japan	1999-2001
6.	<i>Training Course on Industrialization of Forest Industry for ASEAN Countries</i>	Beijing (RRC)	2005
7.	Studi penelitian Pengolahan Kayu Cepat Tumbuh	Melbourne and Brisbane (Australia)	2014

D. JABATAN STRUKTURAL

No	Jabatan/Pekerjaan	Nama Instansi	Tahun
1.	Tidak ada		

E. JABATAN FUNGSIONAL

No	Jenjang Jabatan	TMT Jabatan
1.	Asisten Peneliti Muda	01-11-1987
2.	Ajun Peneliti Muda	01-08-1989
3.	Ajun Peneliti Madya	01-09-1993
4.	Peneliti Muda	01-12-1996
5.	Peneliti Madya	01-12-2000
6.	Ahli Peneliti Muda	01-10-2004

7.	Ahli Peneliti Madya	01-12-2005
8.	Ahli Peneliti Utama	01-01-2006

F. PENUGASAN KHUSUS NASIONAL / INTERNASIONAL

No	Jabatan/Pekerjaan	Pemberi Tugas	Tahun
1.	<i>Assignment researcher in Workshop on Solar Thermal Energy</i> di Jakarta (Nedo funding)	Badan Litbang Kehutanan	1994
2.	<i>Assignment researcher in Indonesian JSPS Core Univ. Program</i>	LIPI-JSPS	1999-2004
3.	Anggota tim penulis buku “Total Utilization of <i>Acacia mangium</i> ”	Indonesian JSPS Core Univ. Program	1996 dan 2005
4.	Koordinator Rencana Penelitian dan Pengembangan Integratif (RPPI) Rekayasa Alat dan Bahan Penunjang Penelitian untuk UKM	Kepala Badan Litbang Kementerian LHK	2003-2010
5.	Anggota tim penulis Atlas Bambu Indonesia 1	Pusat Litbang Hasil Hutan	2019

6.	Koordinator Pengeringan Kayu, kegiatan “ <i>Improving Added Value and SME Capacity in the Utilisation of Plantation Timber for Furniture Production in Jepara</i> ”	Aciar Project No. FST/2006/117	2010-2014
7.	Anggota Dewan Riset Badan Litbang Kehutanan, Kemen KLHK	Badan Litbang dan Inovasi Kementerian LHK	2013-2017
8.	Ketua Kelompok Peneliti Pemanfaatan Hasil Hutan	Badan Litbang dan Inovasi Kementerian LHK	2014-2018
9.	Ketua tim penulis Teknologi Stabilisasi Dimensi Kayu. Buku Seri Paket IPTEK	Pusat Litbang Hasil Hutan	2015
10.	Anggota tim Kajian untuk Revisi Kepmenhut No. 163/Kpts-II/2003 tentang Pengelompokan Kelas Kayu Perdagangan Indonesia untuk Peningkatan PNB	Badan Litbang dan Inovasi Kementerian LHK	2016
11.	Anggota tim penulis buku Sifat Kayu Trema (<i>Trema orientalis</i>) dan Teknologi Peningkatan Kualitasnya untuk Bahan Mebel	Pusat Litbang Hutan	2019
12.	Anggota pelaksana kegiatan eksternal “Pengolahan Limbah Batang Kelapa Sawit Menjadi Produk Perkayuan (BPDPKS)”	Badan Litbang dan Inovasi Kementerian LHK	2019-2020

13.	Anggota tim pengumpul data dan penulis Vademecum Kehutanan Indonesia	Badan Litbang dan Inovasi Kementerian LHK	2020
14.	Ketua tim penulis Teknologi Pengeringan Kayu. Bogor	Pusat Litbang Hasil Hutan	2020
15.	Anggota pelaksana kegiatan eksternal “ <i>Prototype Panel Sandwich</i> dan Balok Komposit yang Awet, Stabil dan Tahan Api”	Pusat Litbang Hasil Hutan	2020
16.	Anggota pelaksana kegiatan eksternal “Kegiatan Rispro Mandatori Bertema Prioritas Riset Nasional	Pusat Litbang Hasil Hutan	2020-2021
17.	Anggota tim penulis Atlas Kayu Indonesia Jilid V	Pusat Litbang Hasil Hutan	2021
18.	Anggota tim penulis Atlas Bambu Indonesia II	Pusat Litbang Hasil Hutan	2021
19.	Anggota kegiatan eksternal “Modifikasi Kayu Jati Cepat Tumbuh dengan Resin Polipropilen dan Asam Sitrat”	Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB)	2022-2023
20.	Ketua pelaksana kegiatan Pengembangan <i>Superwood</i> dengan Teknik Modifikasi Impregnasi Nanolignin (RP ORNM 2023)	Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk-BRIN	2023

Ketua pelaksana kegiatan				
21.	Outdoor Superwood dengan Kemampuan Superhidrofobik dengan Teknik Infiltrasi Polimer Organik Lignin Termodifikasi (RP ORNM 2024)	Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk-BRIN	2024	
Ketua pelaksana kegiatan				
22.	Modifikasi Kimia Termal Kayu Jati Rotasi Pendek dengan Asam Laktat, Asam Sitrat dan Gliserol	Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk-ORHL	2023	
Ketua pelaksana kegiatan				
23.	Teknik dan Formula Bahan <i>Finishing</i> untuk Permukaan Kayu Jati Rotasi Pendek yang Termodifikasi Kimia Termal	Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk-ORHL	2024	
Anggota kegiatan eksternal				
24.	“Eksplorasi dan Optimalisasi Pemanfaatan Pigmen Alami Sebagai Bahan Pewarna Potensial Kain Batik”	Biomassa dan Bioproduk-BRIN	2023-2025	

G. KEIKUTSERTAAN DALAM KEGIATAN ILMIAH

No	Nama Kegiatan	Peran/Tugas	Penyelenggara (Kota, Negara)	Tahun
1.	Second Intern. Wood Sci. Seminar	Oral presenter	Serpong, Indonesia	1998

2.	Fourth Intern Conf. on the Development of Wood Sci., Wood Techn. and Forestry		Forest Prod. Res. Centre. (England)	1999
3.	Third International Wood Science Symposium		Wood Research Institute (Kyoto, Japan)	2000
4.	Seventh Inter. IUFRO Wood Drying Conf. Conference	Oral presenter	IUFRO Wood Drying (Tsukuba, Japan)	2001
5.	Fourth Intern. Wood Science Symposium	Oral presenter	JSPS (Bogor, Indonesia)	2002
6.	Regional Workshop on Drying Tech. ASEAN Subcommittee on Non- Conventional Energy Research	Oral presenter	ASEAN- Australia Economic Cooperation Program (Bogor, Indonesia)	2003
7.	Semnas Mapeki VI	Oral presenter	MAPEKI (Bukittinggi, Indonesia)	2003

8.	Assignment researcher in Workshop and Expose Fundamental Research Scientific	Oral presenter	LIPI-JSPS Program (Jakarta, Indonesia)	2003
9.	The 6 th International Wood Science Symposium	Oral presenter	LIPI-JSPS Program (Denpasar, Indonesia)	2005
10.	Semnas Mapeki XI	Oral presenter	MAPEKI (Palangkaraya)	2007
11.	The 2 nd International Symposium of Indonesian Wood Research Society	Oral presenter	LIPI-JSPS Program (Denpasar, Indonesia)	
12.	Intern Conf. of Indonesia Forestry Researchers (INAFOR)	Oral presenter	Badan Litbang Kehutanan (Bogor, Indonesia)	2011
13.	IWORS Seminar	Oral presenter	LIPI-JSPS (Makasar)	2013
14.	IWORS Seminar	Oral presenter	LIPI-JSPS (Bandung)	2015

15.	IWORS Seminar	Oral presenter	LIPI-JSPS (Ambon)	2017
16.	IWORS Seminar Kaltim	Oral presenter	LIPI-JSPS (Balikpapan)	2018
17.	INAFOR Seminar	Oral presenter	Badan Litbang Kehutanan (Bogor)	2019
18.	Iconlig Seminar	Oral presenter	BRIN (Bogor)	2022
19.	IWORS Seminar		LIPI-JSPS (Pontianak)	2024

H. KETERLIBATAN DALAM PENGELOLAAN JURNAL ILMIAH

No	Nama Jurnal	Penerbit	Peran/Tugas	Tahun
1.	Tidak pernah			

I. CAPAIAN DALAM BIDANG IPTEK, RISET, DAN INOVASI

1. Karya Tulis Ilmiah

a) Kualifikasi Karya

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Buku Internasional	-
2.	Buku Nasional	5
3.	Bagian dari Buku Internasional	4
4.	Bagian dari Buku Nasional	1

5.	Jurnal Internasional	27
6.	Jurnal Nasional	42
7.	Prosiding Internasional	20
8.	Prosiding Nasional	38
9.	Publikasi Lainnya	8
10.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-

b) Kualifikasi Penulis

No	Kualifikasi Penulis	Jumlah
1.	Penulis Tunggal	24
2.	Bersama Penulis Lainnya	113
Total		137

c) Kualifikasi Bahasa

No	Kualifikasi Bahasa	Jumlah
1.	Bahasa Indonesia	82
2.	Bahasa Inggris	55
3.	Bahasa Lainnya	-
Total		137

2. Kekayaan Intelektual

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Paten Internasional	-
	Terdaftar	-
	Tersertifikasi	-
2.	Paten Nasional	
	Terdaftar	11

	Tersertifikasi	4
3.	Perlindungan Varietas Tanaman (PVT)	-
4.	Rumpun atau Galur Hewan/Ikan/Benih Unggul Tanaman Hutan	-
5.	Hak Cipta	6
6.	Desain Industri	6
7.	Desain dan Tata Letak Sirkuit Terpadu	-

3. Kerjasama bersama Mitra

No	Kualifikasi Karya	Jumlah
1.	Transaksi Lisensi	-

J. PEMBINAAN KADER ILMIAH

Pejabat Fungsional Peneliti atau Perekayasa

No	Nama	Instansi	Peran/Tugas	Tahun
----	------	----------	-------------	-------

Mahasiswa (kurun waktu 5 tahun terakhir)

No	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
1.	Tanti Rahmayanti (Mhs S1)	Fahatan, IPB	Anggota Pembimbing	2020
2.	Made Krisna (Mhs S1)	Fahatan, IPB	Anggota Pembimbing	2021

No	Nama	Perguruan Tinggi/ Universitas	Peran/Tugas	Tahun
3.	Maria Angelina	Fahutan, IPB	Anggota Pembimbing	2026
4.	Turitno Nur Said	Fahutan, IPB	Anggota Pembimbing	2026
5.	Rachel Luckyta Marchela	Fahutan, Unhas	Anggota Pembimbing	2026

Organisasi Profesi Ilmiah

No	Jabatan	Nama Organisasi	Tahun
1.	Anggota.	Masyarakat Peneliti Kayu Indonesia (MAPEKI)	1998– sekarang
2.	Anggota	JSPS Alumni Association of Indonesia (JAAI)	2016– sekarang
3.	Anggota	Perhimpunan Periset Indonesia (PPI)	2022– sekarang

K. Tanda Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Pemberi Penghargaan	Tahun
1.	Satyalancana Karya Satya 20 tahun	Presiden Republik Indonesia	2003
2.	Satyalancana Karya Satya 30 tahun	Presiden Republik Indonesia	2014
3.	Pengakuan Kementerian LHK tentang Desain Pengering Kayu Tenaga Surya sebagai Teknologi Ramah Lingkungan (No. Registrasi 013/ TRL/Reg-1/KLHK)	Menteri KLHK	2016

Di akhir abad 20, industri perkayuan Indonesia menghadapi krisis ketersediaan bahan baku kayu berkualitas tinggi dari hutan alam dan hutan tanaman umur tua, sehingga mendorong pemanfaatan kayu cepat tumbuh dari hutan tanaman. Inovasi seperti pengeringan menggunakan energi surya-biomassa dan modifikasi kayu menjadi solusi untuk meningkatkan kualitas kayu cepat tumbuh. Berdasarkan pengalaman penelitian lebih dari empat puluh tahun, orasi ini menegaskan bahwa implementasi pengolahan kayu cepat tumbuh melalui teknologi pengeringan surya-biomassa yang dikombinasikan dengan modifikasi kayu, memerlukan landasan ilmiah yang kuat dan sangat bergantung pada dukungan pemerintah. Kolaborasi antara akademisi, pemerintah, dan industri, serta penerapan prinsip pembangunan berkelanjutan akan mendorong terwujudnya ekonomi sumber daya yang berkelanjutan dan industri yang ramah lingkungan.

BRIN Publishing
The Legacy of Knowledge

Diterbitkan oleh:

Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kota Jakarta Pusat 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.3690



ISSN 3090-8485



9 773090 848005