

**STATISTIK KEHUTANAN: PENGUKURAN,
PEMODELAN, DAN *UPSCALING* UNTUK
ESTIMASI POTENSI SUMBER DAYA
HUTAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

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

**Disampaikan pada Pengukuhan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 2 November 2023**

**Oleh
Prof. Dr. Ir. Ronggo Sadono, IPM**

Bismillahirrohmannirrohim

Yang saya hormati,

*Ketua, Sekretaris, dan seluruh anggota Majelis Wali Amanat
Universitas Gadjah Mada;*

*Rektor dan para Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada beserta
jajarannya;*

*Ketua dan Sekretaris Senat Akademik beserta seluruh anggota Senat
Akademik Universitas Gadjah Mada;*

*Ketua dan Sekretaris beserta seluruh anggota Dewan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada;*

*Ketua dan Sekretaris beserta seluruh anggota Senat Fakultas
Kehutanan Universitas Gadjah Mada;*

*Para Dekan dan Wakil Dekan Universitas Gadjah Mada dan seluruh
dosen, tenaga kependidikan, mahasiswa dan mahasiswi, serta
alumni Universitas Gadjah Mada;*

*Bapak dan ibu, para sahabat, keluarga, dan semua yang hadir, baik
secara luring maupun daring, yang telah menyempatkan waktu
untuk hadir dan mendengarkan pidato saya pada hari ini.*

*Assalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh, salam
sejahtera untuk kita semua. Rasa syukur kita panjatkan kepada Allah
SWT., Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang yang masih
memberi kita kesempatan bersilaturahmi pada hari ini. Suatu
kehormatan besar bahwa pada hari ini saya diperkenankan untuk
menyampaikan pidato pengukuhan sebagai Guru Besar dalam bidang
Statistik Kehutanan di Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.*

Perkenankan saya dalam pidato ini menyampaikan judul: Statistik Kehutanan: Pengukuran, Pemodelan, dan Upscaling untuk Estimasi Potensi Sumber Daya Hutan. Tema ini terkait dengan peran dan posisi bidang ilmu Statistik Kehutanan yang saya geluti sebagai alat bantu dalam menyajikan informasi potensi sumber daya ekosistem hutan, dan perkembangan dan kemajuannya serta capaiannya sampai saat ini, serta di bagian akhir disampaikan penerapan penelitian yang saat ini saya kembangkan yang muaranya pada publikasi. Secara spesifik, pidato ini mengupas mulai dari pengukuran, pemodelan dan *upscaling* dari potensi sumber daya ekosistem hutan, meliputi volume, biomassa dan karbon, dan potensi energi dari pepohonan penyusun ekosistem hutan.

Disadari bahwa komponen penyusun ekosistem hutan sangatlah kompleks, namun secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua komponen utama yaitu komponen abiotik dan biotik. Komponen abiotik dapat disebut contohnya seperti bebatuan, mineral, tanah, air, sinar matahari, oksigen, karbon dioksida, kelembaban, suhu, dan curah hujan. Sedangkan komponen biotik secara garis besar adalah dari kelompok tumbuhan (flora), hewan (fauna), dan berbagai mikroorganisme (Geost, 2018; Bagaskara, 2023). Lebih lanjut dapat dicontohkan komponen biotik dari kelompok flora adalah spesies pohon. Pohon merupakan elemen fundamental dalam ekosistem hutan, menawarkan sejumlah besar relung ekologi bagi organisme lain sehingga menciptakan sejumlah besar habitat (Roth-Nebelsick *et al.*, 2021). Spesies pohon juga dapat dieksploitasi untuk beberapa kepentingan manusia seperti material konstruksi rumah, furniture, instrumen musik, dan peralatan olahraga (Kinho *et al.*, 2023). Berdasar kedua alasan di atas, pidato saya fokus pada spesies pohon. Alasan lainnya adalah beberapa komponen ekosistem hutan dipelajari di bidang ilmu lain yang digeluti oleh kolega lain di Fakultas Kehutanan UGM, misalnya komponen fauna dipelajari di Laboratorium Satwa Liar, komponen air dipelajari di Laboratorium Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, selanjutnya komponen tanah dipelajari di Laboratorium Fisiologi dan Tanah Hutan.

Pengukuran

Pengukuran ekosistem sumber daya hutan mencakup obyek terpilih yang diukur, landasan teori dan kemajuan alat ukur yang digunakan, dan kemampuan dan keterampilan personal pengukur. Pada bagian obyek terpilih dari ekosistem hutan dapat dimulai prioritasnya pada komponen pepohonan. Dapat disebutkan pentingnya peran pepohonan saat ini pada kemampuannya mengkonversi karbon di udara menjadi biomassa yang kemudian disimpan dalam organ berkayu terutama di akar, batang, cabang dan ranting, dan sebagian kecil lainnya di dedaunan (*foliage*). Kemampuannya menyimpan karbon tersebut diyakini bahwa pepohonan mempunyai kontribusi yang penting pada mitigasi perubahan iklim, suatu isu sentral yang sedang mengemuka hingga saat ini (Ernyasih, 2023).

Pengukuran pepohonan lebih mudah dilakukan pada organ di atas permukaan tanah, meliputi batang dan tajuk pohon, yaitu keseluruhan bagian cabang, ranting dan dedaunan yang bertumpu pada batang. Disamping obyeknya yang mudah diamati, pada proses pengukurannya tidak akan mengganggu hidup dari obyek tersebut. Sebaliknya, pada pengukuran organ di bawah tanah, yaitu akar, pengukuran harus dilakukan dengan cara destruktif obyek dan seterusnya menggali tanah sampai bagian akar dapat dikenali dan diamati semuanya. Pengukuran semacam ini tentu lebih sulit dan akan mematikan pepohonan sampel yang diamati yang tidak mungkin dikembalikan kepada keadaan semula. Dengan demikian, pengukuran bagian pepohonan di atas permukaan tanah tanpa harus mematikan pepohonan didorong untuk dikembangkan dan ditingkatkan akurasinya supaya tidak mengusik konstelasi pepohonan di dalam ekosistem hutan.

Pengukuran karakteristik individu pohon meliputi kondisi tempat tumbuh, spesies, kondisi pepohonan sekitarnya, diameter batang, tinggi batang bebas cabang, tinggi pohon total, dan dimensi tajuk merupakan informasi penting yang harus dikumpulkan pada metode non-destruktif. Pada kasus harus dilakukan metode destruktif terhadap sampel pohon, berat basah tiap bagian pohon harus segera ditimbang di lapangan dan dicatat. Langkah selanjutnya diambil sampel tiap-tiap bagian pohon untuk dibawa ke laboratorium, dilakukan pengeringan, baik untuk keperluan kandungan biomassa, simpanan karbon, estimasi energinya, maupun perhitungan berat jenis pohon. Proses pengeringan tiap-tiap subsampel yang sudah diberi identitas dari tiap sampel pohonnya dilakukan di Oven (misalnya BINDER FD-240 Forced Convection Drying Oven) yang memadai ukurannya pada temperatur tertentu dan durasi tertentu sesuai dengan prosedur yang digunakan untuk spesies pohon yang diteliti (Laosuwan *et al.*, 2023). Akumulasi biomassa tiap komponen pohon selanjutnya dihitung dengan mengalikan rasio antara berat kering dan berat basah tiap-tiap sampel dari tiap komponen pohon dengan total berat basah tiap komponen pohon yang dicatat di lapangan (Nyamukuru *et al.*, 2023). Sebagai misal untuk komponen batang dapat dituliskan dalam persamaan:

$$\text{Biomassa batang} = (\text{berat kering sampel batang} / \text{berat basah sampel batang}) \times \text{Berat basah batang}$$

Sampel selanjutnya digunakan untuk perhitungan simpanan

karbon dan nilai kalor setelah selesai proses perhitungan biomassa. Sampel dicacah menjadi serpihan dan dipilah menjadi dua bagian yang sama tiap komponen pohon dan berat kering masing masing bagian dicatat. Kandungan karbon selanjutnya dianalisis dengan *elemental analysis method* (Sato *et al.*, 2014), sedangkan nilai kalor dikuantifikasi menggunakan bomb calorimeter method (Ju *et al.*, 2016). Rasio karbon dari setiap komponen selanjutnya dikalikan dengan biomasanya untuk mendapatkan total simpanan karbon pada tiap komponen pohon, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan simpanan karbon tiap pohon sampel, sedangkan produksi energi tiap komponen pohon dihitung dengan mengalikan nilai kalor tiap komponen pohon dengan akumulasi biomasanya. Penjumlahan dari produksi energi tiap komponen pohon akan diperoleh potensi energi dari tiap sampel pohon. Sementara itu, untuk perhitungan berat jenis kayu pohon sampel, diambil sampel dengan ukuran tertentu di bagian batang tertentu dan dicatat berat basahya, kemudian dikeringkan di Oven pada suhu tertentu, misalnya antara 101 sampai 105 derajat sampai mencapai berat kering tanur. Berat jenis kayu selanjutnya diperoleh dari perbandingan antara berat kering tanur dengan berat basahya.

Bapak Ibu dan Hadirin yang terhormat,

Perkembangan instrumen pengukuran memungkinkan pelaksanaan pengukuran lebih cepat dan akurat, serta lebih banyak atribut data yang bisa diperoleh, dan didukung transfer data antar perangkat. Tersedianya *digital professional – computer caliper* misalnya, memungkinkan pengumpulan data tidak hanya diameter batang, tetapi juga koordinat pohon yang diukur karena terhubung dengan jaringan satelit, dan juga pencatatan dapat disimpan di media penyimpan untuk kemudian ditransfer ke piranti pengolahan data dengan sambungan USB, bluetooth, IR, dan bahkan bisa disambungkan langsung dengan internet ([Haglöf DP II+ Computer Caliper w/Radio Enter Button, 18” | Forestry Suppliers, Inc. \(forestry-suppliers.com\)](#), diakses 17 September 2023).

Demikian juga, instrumen pengukuran tinggi pohon tersedia piranti berdasar teori trigonometri yang sangat canggih, semisal Vertex Laser Geo ([Haglof Vertex Laser Geo 360 Degree Pkg - Forestry Tools](#), diakses 2 Agustus 2023). Tentu saja terdapat relasi yang erat antara harga alat canggih tersebut dengan tingkat akurasiya. Pengukuran

atribut tajuk, misal proyeksi tajuk dapat dilakukan dengan *vertical sighting method* secara manual (Preuhsler, 1979) ataupun menggunakan metode perspektif tinggi (Röhle, 1986) dikombinasikan dengan piranti *crown mirror* (Wiki, 2011). Pengukuran atribut tajuk ini semakin penting karena di bagian tajuk ini bertanggungjawab pada proses fotosintesis (Pretzsch *et al.*, 2015). Tajuk dan sekumpulan tajuk yang membentuk kanopi yang selanjutnya karakteristik tajuk dan kanopi ini dapat ditangkap melalui metode penginderaan jauh.

Tuntutan hasil pengukuran yang akurat dapat diusahakan melalui pendidikan dan pelatihan personalia yang berkelindaan dengan pengukuran. Diberikan pemahaman teori dari sisi pendidikan tentang karakteristik obyek dan teknik pemilihan obyek yang akan diukur, penguasaan teknis penggunaan alat pengukuran diberikan pelatihan yang memadai dan kemudian dilakukan praktek pengukuran langsung di lapangan. Untuk suatu keperluan tertentu, misalnya pengelolaan hutan secara lestari, maka tenaga personal yang yang ditugaskan untuk pengukuran atribut pohon harus mempunyai sertifikat kompetensi sebagai tenaga teknis melaksanakan inventarisasi tegakan hutan (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2022 tentang Profesi dan Kompetensi Tenaga Teknis Pengelolaan Hutan, tanggal 20 Juli 2022). Sementara itu, para mahasiswa bidang Kehutanan jenjang S-1, lazimnya diberikan di mata kuliah Pengukuran Sumber Daya Hutan atau Biometrika Hutan baik teori maupun praktikum. Selepas menyelesaikan mata kuliah tersebut, mahasiswa dapat melakukan pengukuran atribut pohon yang tepat dan mendapatkan hasil pengukuran yang akurat dari alat pengukuran yang tersedia. Hasil pengukuran lapangan yang akurat dari pohon sampel selanjutnya dapat digunakan untuk penyusunan model penduga yang dapat digunakan untuk menaksir potensi sumber daya hutan.

Pemodelan

Bapak Ibu dan Hadirin yang terhormat,

Pepohonan penyusun hutan tidak lazim diukur seluruh atributnya untuk seluruh luas areal karena alasan waktu dan biaya. Bahkan untuk luas satu plot pun hanya diukur pada atribut penting yang praktis namun dapat digunakan untuk menduga informasi yang dibutuhkan, misalnya

volume pohon, biomassa dan karbon, dan potensi energinya. Variabel penting tersebut, yakni diameter setinggi dada, diperlakukan sebagai prediktor tunggal untuk menggambarkan variabel respon yang diteliti yaitu volume pohon bebas cabang ataupun volume pohon total. Untuk mendapatkan data volume pohon, prosedur dahulu harus melakukan penebangan sampel. Namun dengan semakin dikenalnya alat Spiegel Relaskop (Bitterlich, 2023) maka data volume pohon tidak harus lagi diperoleh dengan menebang pohon sampel. Alat ini memungkinkan digunakan untuk pengukuran diameter batang pada berbagai ketinggian pohon. Dengan menghitung volume seksi batang dan menjumlahkannya, akan diperoleh volume batang bebas cabang ataupun volume batang total. Selanjutnya, sudah menjadi pengetahuan umum bahwa diameter setinggi dada mempunyai kemampuan yang baik di dalam memprediksi volume pohon dengan bentuk persamaan mengikuti model power. Model yang demikian dikenal dengan istilah model volume pohon, yang sangat berguna untuk menaksir besarnya volume pohon dengan hanya diketahui diameter dadanya saja.

Model volume pohon yang praktis, tidak secara otomatis diterima oleh seluruh ilmuwan di bidang Biometrika Hutan. Meskipun praktis, ada yang beranggapan bahwa akurasi dapat ditingkatkan dengan menambahkan prediktor berupa tinggi batang bebas cabang ataupun tinggi pohon total. Argumen yang dikemukakan adalah meskipun hanya menambah sedikit akurasi, namun dengan diperoleh dan disajikannya informasi tinggi pohon dapat memperkaya deskripsi pepohonan yang dihadapi, serta dapat digunakan untuk visualisasi deskripsi sebaran vertikal pepohonan. Bagi yang mencukupkan prediktor diameter setinggi dada, menambah prediktor tinggi tidak memberikan peningkatan akurasi yang signifikan sehingga akan membebani biaya pengukuran tinggi. Dengan kata lain, peningkatan akurasi yang diperoleh tidak sebanding dengan tingginya biaya dan lamanya waktu pengukuran tinggi pohon di lapangan. Saya dan tim di Laboratorium Komputer dan Biometrika condong pada alasan praktis apalagi penambahan prediktor tinggi tidak memberikan peningkatan tingkat kecocokan model yang signifikan setelah melalui analisis *extra sums of squares* (ESS) (Hector *et al.*, 2010) atau *Akaike Information Criterion* (AIC), di mana AIC ini dapat menampilkan hasil yang konsisten dan *robust* di dalam pemilihan model (Pho *et al.*, 2019).

ESS pada dasarnya adalah suatu ukuran pengurangan marginal dari *sum of square error* ketika ada satu prediktor tambahan dilibatkan ke dalam model (Jing-Ting and Li-Chun, 2016). Konkritnya jika ditambahkan prediktor tinggi pohon di dalam model volume pohon, yang sudah ada prediktor diameter setinggi dada di dalamnya, ternyata tidak menurunkan nilai *sum of square error* secara signifikan atau ESS sama dengan nol maka prediktor tinggi tidak ada artinya di dalam model sehingga dapat dikeluarkan dari model. Sementara itu, penggunaan AIC adalah membandingkan dua model dengan jumlah prediktor yang berbeda (Sönmez *et al.*, 2023). Kriteria ini berperan di satu sisi dalam mengatasi *overfitting*, karena pada dasarnya penambahan prediktor dapat meningkatkan nilai kecocokan model. Di sisi lain juga berperan di dalam mengatasi *information loss* karena kurangnya jumlah prediktor yang dilibatkan dalam model. Model volume pohon dengan prediktor tunggal, yaitu diameter setinggi saja dibandingkan dengan model volume pohon dengan prediktor ganda, yaitu diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Jika dengan menambahkan prediktor tinggi pohon tidak menurunkan nilai AIC, keterlibatan tinggi pohon di dalam model tidak berpengaruh. Dengan demikian, prediktor tinggi ini dapat dikeluarkan dari model.

Langkah selanjutnya agar model volume pohon layak digunakan adalah melakukan validasi model. Biasanya dilakukan pemisahan sampel menjadi dua bagian dalam hal tersedia data sampel yang banyak. Sebagian besar sekitar 70% untuk membangun model dan 30% sisanya digunakan untuk validasi model. Pemisahan jumlah sampel menjadi dua bagian saat ini dapat dilakukan ketika sudah terkumpul seluruh data. Berbeda dari prosedur terdahulu, pemisahan kedua sampel ini harus sudah dilakukan sejak merancang pengambilan sampelnya. Pemisahan data (*splitting data*) menjadi dua bagian dapat dilakukan dengan mudah menggunakan software R, meskipun dapat juga dilakukan dengan software statistik yang lain misalnya SPSS. Secara garis besar, model volume pohon layak digunakan jika lolos proses validasi misalnya menggunakan kriteria *normalized root mean squared error* (NRMSE). Jika nilai NRMSE kurang dari 10%, kelayakan model mencapai level “*excellent*”, sementara apabila nilai NRMSE terdapat dalam rentang antara 10 sampai dengan 20%, kelayakan model dapat

dikatakan sebagai “good”.

Alternatif metode apabila hanya tersedia jumlah sampel yang terbatas karena prosedurnya harus menebang pohon sampel, validasi model dapat dilakukan dengan metode *leave-one-out cross validation* (LOOCV) (Altanzagas *et al.*, 2019; Tetemke *et al.*, 2019). Metode ini prosedurnya iteratif, yaitu memerlukan perhitungan berulang ulang sejumlah data pengamatan. Setiap kali perhitungan menyisakan satu pengamatan sebagai validasi model, oleh karena disebut dengan *leave-one-out*, dan sebagian besar lainnya untuk membangun model. Tiap kali tahapan akan diperoleh nilai *mean squared error* (MSE_i) yang diperoleh dari validasi model yang terbentuk. Demikian seterusnya, hingga seluruh data berfungsi sebagai validasi model. Nilai MSE kemudian dirata-rata. Apabila nilainya rendah, dapat disimpulkan bahwa model layak digunakan. Metode ini jika dilakukan secara manual, meskipun dibantu dengan komputer sekalipun, akan memakan waktu lama. Namun dengan tersedianya software R atau Python, prosedur perhitungan tersebut dapat dipersingkat dan diperoleh model yang *reliable and unbiased estimate*.

Bapak, Ibu, hadirin yang saya hormati,

Model seperti dijelaskan di atas, tidak hanya digunakan untuk menduga volume pepohonan, namun saat ini berkembang penggunaannya untuk juga menduga kandungan biomassa dan karbon. Estimasi biomassa dan karbon hutan menjadi perhatian penting para ilmuwan biometrika hutan pada saat ini. Secara umum, diketahui bahwa pepohonan hutan dapat mengonversi karbon di atmosfer melalui proses fotosintesis dan hasilnya disimpan sebagian besar di dalam organ berkayu, seperti akar, batang, cabang, ranting, dan sebagian kecil lainnya di dedaunan. Dengan keberadaan pepohonan di dalam ekosistem hutan melalui skema *forestry and other land use-FoLU NET carbon Sink*, ekosistem hutan diakui peran pentingnya di dalam mengatasi persoalan *global warming* melalui kemampuannya menyimpan biomassa dan karbon. Mengingat peran pentingnya tersebut, tuntutan estimasi biomassa dan simpanan karbon yang akurat menjadi keniscayaan. Para peneliti mengembangkan suatu model penduga biomassa dan simpanan karbon pepohonan penyusun ekosistem hutan yang dimulai dari pengukuran secara destruktif dari

sejumlah sampel yang terbatas dan hati hati supaya tidak mengusik, mengganggu, atau merusak kostelasi pepohonan yang masih hidup dan tinggal di lahan hutan (Sadono *et al.*, 2021a; Wang *et al.*, 2023).

Biomassa suatu tegakan hutan dapat dihitung dengan memanfaatkan tersedianya *Biomass Expansion Factor* (BEF), yaitu suatu rasio antara total biomassa pepohonan dengan diameter batang setinggi dada di atas 10 cm, yang dinyatakan dalam Mg/m^3 dengan volume tegakan, yang dinyatakan dalam m^3/ha . BEF ini sensitif terhadap umur tegakan, sehingga penggunaan yang tidak tepat akan menghasilkan taksiran yang bias. Selain itu, BEF tidak banyak tersedia untuk suatu tegakan hutan tertentu sehingga penggunaan BEF jarang dilakukan dan diminati oleh para peneliti di bidang biometrika hutan di Indonesia. Semisal dipunyai BEF yang khusus untuk suatu tegakan hutan di Indonesia, taksiran biomassa akan mudah didapatkan dengan mengalikan nilai BEF ini dengan taksiran volumenya, di mana taksiran volume tegakan ini sudah tidak asing diestimasi di Indonesia (Setiahadi, 2021).

Kandungan biomassa dan simpanan karbon pada suatu pohon selanjutnya dapat diestimasi menggunakan model penduga yang disebut dengan persamaan alometrik, yaitu suatu fungsi matematika yang menunjukkan hubungan antara bagian pohon, bisa diameter setinggi dada dan atau tinggi pohon dengan kandungan biomassa dan atau simpanan karbon dari pohon tersebut. Kandungan biomassa dapat digunakan untuk menentukan simpanan karbon yang secara teoritik mempunyai nilai konversi antara 0,47 menurut 2006 IPCC Guidelines (Eggleston *et al.*, 2006) dan 0,5 (Brown, 1997; Losi *et al.*, 2003). Selanjutnya persamaan alometrik, baik biomassa maupun simpanan karbon biasanya digunakan untuk menduga bagian pepohonan yang berada di atas permukaan tanah (*above ground*), yaitu batang, cabang, ranting, dan dedaunan. Sementara perkembangan alometrik untuk di bawah permukaan tanah (*below ground*) khususnya perakaran tidak sepesat yang di atas permukaan tanah karena memerlukan sumber daya yang lebih banyak untuk mendapatkan data biomassa dan simpanan karbonnya. Model alometrik sendiri umumnya mengikuti fungsi power yang dapat dituliskan sebagai (Zapata-Cuartas *et al.*, 2012):

$$W = a \times D^b$$

Dimana W adalah berat kering atau biomassa (kg), dan D adalah diameter pohon yang diukur pada setinggi dada (cm), sedangkan a dan b keduanya adalah parameter model.

Persamaan alometrik di atas permukaan tanah yang dibangun seharusnya sudah memperhitungkan dengan tuntutan saat ini, yaitu *site-specific* dan *species specific*. Rekomendasi dari beberapa pengembangan model alometrik yang telah dilakukan menyatakan bahwa persamaan alometrik dipengaruhi oleh kondisi tapak (*site*) dan spesies target, yang berarti berbeda *site* bisa berbeda persamaan dan berbeda spesies berbeda persamaannya pula. Pengembangan model alometrik selanjutnya bisa hanya dengan prediktor tunggal, yaitu diameter setinggi dada saja, atau kombinasi dari diameter setinggi dada dengan tinggi pohon. Wang *et al.* (2023) mencatat ada sejumlah 817 model alometrik di atas permukaan tanah yang melibatkan hanya diameter setinggi dada saja dan sejumlah 612 model alometrik yang sebagian besar di atas permukaan tanah yang melibatkan diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Data tersebut dikumpulkan dari seluruh belahan dunia, meliputi hutan tanaman maupun hutan alam dari beberapa spesies pepohonan.

Beberapa peneliti juga mengembangkan alometrik dengan melibatkan prediktor luas proyeksi tajuk, diantaranya untuk tujuh spesies campuran agroforestry di Afrika Timur (Feyisa *et al.*, 2018); gabungan 13 spesies di bagian Utara Ethiopia (Tetemke *et al.*, 2019). *Croton sonderianus* Müll. Arg. di Angicos, Rio Grande do Norte, Brasil (Dombroski and Pinto, 2019), Huang *et al.* (2022) di China, dan Nyamukuru *et al.* (2023) di ekosistem padang rumput Africa. Sementara itu, beberapa penelitian melibatkan berat jenis kayu sebagai prediktor seperti yang dilakukan juga oleh Huang *et al.* (2022) di perkampungan Qiaomu, daerah Timur Laut Qingyang, Provinsi Anhui, China. Kemudian Romero *et al.* (2022) melakukan penelitian di daerah barat daya Amazonia, Delcourt and Veraverbeke (2022) di hutan (*Larix cajanderi*) Timur Laut Sibera, dan Liu *et al.* (2023) di Bawangling Forest Region, pulau Hainan, China.

Ibu, Bapak, dan para hadirin yang saya muliakan,

Pepohonan penyusun ekosistem hutan, di samping mempunyai

peran penting di dalam menyimpan karbon, beberapa spesies di antaranya mempunyai peran penting di dalam program energi baru dan terbarukan. Disadari saat ini terjadi keprihatinan dunia bahwa cadangan bahan bakar minyak dari fosil semakin menipis dan banyak negara berusaha mengembangkan sumber energi penggantinya ke energi baru dan terbarukan. Ada beberapa spesies pohon yang kayunya mempunyai nilai kalor yang tinggi. Namun, sayangnya spesies pohon tersebut kayunya masih diprioritaskan untuk kayu konstruksi, misalnya pohon jati dan mahoni. Indonesia mengembangkan spesies yang mempunyai kalor tinggi namun tidak berkompetisi penggunaannya untuk kayu konstruksi, misalnya Kaliandra (*Caliandra calothyrsus* Meisn). Nilai kalor kaliandra cukup tinggi, yaitu sekitar 4.500-4.900 kkal/kg. Namun, Kaliandra ini dimanfaatkan seluruh organ berkayu di atas tanah, sehingga tidak lagi berfungsi sebagai penyimpan karbon lagi. Dari kenyataan tersebut, ada yang dimanfaatkan dari bagian pohonnya, misalnya biji pohon Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) sebagai biodiesel, sehingga fungsi penyimpan karbonnya tetap dapat dipertahankan. Saya dan tim di laboratorium meneliti potensi energi dari spesies Eucalyptus (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake) yang tumbuh secara alami di Nusa Tenggara Timur. Persamaan alometrik dikembangkan untuk menduga nilai kalor sebagai dasar dari potensi energi spesies ini. Seperti halnya pada persamaan alometrik pada biomassa dan karbon, beberapa persamaan dikembangkan untuk menaksir nilai kalor organ pohon di atas permukaan tanah, baik per komponennya: batang, cabang dan ranting, dan dedaunan, maupun per individu pohonnya (Sadono *et al.*, 2021a; Sadono *et al.*, 2022).

Persamaan alometrik yang dikembangkan untuk memprediksi potensi energi di atas permukaan tanah dari species *E. Urophylla* adalah dengan melibatkan prediktor diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Melalui satu prediktor saja, yaitu diameter setinggi dada, diperoleh tingkat kecocokan 93%. Prediktor tinggi pohon selanjutnya dilibatkan melalui kombinasi dengan diameter dan dapat meningkatkan tingkat kecocokan model menjadi 95,2%. Dari hasil evaluasi menggunakan ESS, penambahan prediktor tinggi berperan signifikan, sehingga persamaan alometrik terbaik yang diajukan adalah kombinasi dari prediktor diameter setinggi dada dan tinggi pohon. Demikian juga dengan validasi model menggunakan LOOCV karena jumlah sampel pohonnya sedikit, yaitu 25 pohon. Hasilnya menunjukkan bahwa model

dengan persamaan:

$$\text{Ln } \hat{Y} = \text{Ln } a + b \cdot \text{Ln } D + c \cdot \text{Ln } H$$

di mana \hat{Y} adalah taksiran energi, D dan H masing-masing diameter dan tinggi pohon, merupakan model terbaik yang dapat digunakan untuk menaksir potensi energi pada level individu pohon (Sadono *et al.*, 2022).

Penggunaan model model alometrik yang dikembangkan untuk ekosistem hutan tertentu dapat dilakukan dengan penempatan plot *sampling*, baik ukuran plot yang tetap (Marimpan *et al.*, 2022), ataupun jumlah pohonnya yang tetap (Sadono *et al.*, 2020). Dari kedua cara tersebut dapat diketahui kerapatan jumlah pohon tiap plotnya. Nilai pendugaan volume, biomassa dan karbon, dan potensi energi selanjutnya dapat diklasifikasikan berdasarkan kerapatan pohon dalam tiga level, yaitu kerapatan rendah, sedang, dan tinggi (Marimpan *et al.*, 2010; Sadono *et al.*, 2020). Informasi kerapatan ini berperan penting dalam kaitannya dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh di dalam mengungkap kondisi obyek yang terdapat di permukaan bumi, khususnya ekosistem hutan.

Upscaling

Ibu, Bapak, dan hadirin Yth,

Pengukuran plot di lapangan diyakini dapat menghasilkan nilai estimasi yang akurat. Namun, pelaksanaan pada areal yang luas akan sangat membutuhkan waktu lama yang berkonsekuensi pada pembiayaan. Belum lagi diketahui misalnya bahwa plot pengukuran di areal hutan kadangkala sulit dijangkau karena keterbatasan akses atau medannya sulit. Masih ditambah lagi, misalnya areal hutan terdapat binatang buas, seperti harimau, yang dapat mengganggu keselamatan tim pengukur atau binatang lain yang dapat menyebabkan terganggunya kesehatan personalia pengukur, misal nyamuk malaria. Oleh sebab itu, kombinasi pengukuran lapangan dari sejumlah plot *training*, yaitu dilakukan pengukuran plot di lapangan, dan plot *testing*, yaitu sebagian dari plot *training* yang diduga parameternya dengan menggunakan teknologi pengenderaan jauh sebagai validasi, akan mempercepat pelaksanaan pekerjaan untuk mendapatkan nilai estimasi parameter yang ingin diketahui, misalnya volume, biomassa, karbon, dan potensi

energi.

Teknologi penginderaan jauh memungkinkan untuk menangkap (*captured*) spektral yang dipantulkan obyek di permukaan bumi. Tergantung dari resolusi citranya, semakin tinggi resolusi spasialnya semakin detail obyek di muka bumi yang bisa ditangkap dan dikenali. Untuk keperluan deteksi obyek yang menuntut akurasi tinggi seharusnya menggunakan kategori citra satelit beresolusi tinggi, misalnya Sentinel-2A ataupun 2B yang mempunyai resolusi spasial pada band *multispectral* 10 x 10 m. Namun, perlu diperhatikan bahwa tidak selalu tersedia citra satelit yang diinginkan dari suatu areal target mengingat seringkali citranya tertutup awan dalam porsi yang besar sehingga citra tidak memungkinkan untuk diproses dengan software pengolahan citra, seperti ArcGIS atau QGIS. Keadaan ini dapat dimaklumi terutama di wilayah Indonesia yang terletak di daerah tropis seringkali citra tidak bisa bebas dari awan sama sekali. Jika tersedia citra di areal target, citra dapat diproses melalui koreksi geometrik, radiometrik, dan lain-lain untuk mendapatkan visualisasi areal target dengan baik.

Saya dan tim menggunakan citra Sentinel-2B akuisi 10 September 2022 untuk menyajikan informasi potensi simpanan karbon di Cagar Alam Mutis Timau, Nusa Tenggara Timur. Citra satelit Sentinel dapat diakses secara gratis di laman <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> atau di [Copernicus Data Space Ecosystem | Europe's eyes on Earth](#). Kawasan tersebut didominasi spesies *E. Urophylla* secara alami. Pengukuran lapangan telah dilaksanakan oleh peneliti lain yang memberikan informasi berupa simpanan karbon total, baik di bawah maupun di atas permukaan tanah. Klasifikasi tutupan tegakan ditentukan berdasarkan citra Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) tahun 2020 menjadi kerapatan rendah, sedang, dan tinggi dengan nilai taksiran simpanan karbon total per hektarnya adalah 149.65, 194.27, dan 283.73 Mg C (Marimpan *et al.*, 2022). Hasil taksiran tersebut diperoleh berdasarkan pengukuran per plot, dan tiap pohon di dalam plot diduga simpanan karbonnya menggunakan persamaan alometrik dengan prediktor tunggal berupa diameter setinggi dada yang telah dikembangkan sebelumnya (Marimpan dan Purwanto, 2010). Dari citra Sentinel 2B selanjutnya diproses dan diklasifikasi kerapatan tegakannya berdasarkan nilai

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Hasil olah citra dapat mengidentifikasi bahwa tegakan *E. urophylla* mempunyai nilai NDVI di atas 0,7, sedangkan nilai NDVI tertinggi secara teoritik adalah 1.0. Rentang antara 0,7 dan 1.0 kemudian dipilah menjadi tiga kelas yang merepresentasikan kerapatan rendah, sedang, dan tinggi. Hasil perhitungan luas masing-masing kelas kerapatan adalah 3.857,48 ha, 5.150,26 ha, dan 96,81 ha dengan luas total *E. urophylla* adalah 9.084,56 ha dari total luas area 12,306.43 ha. Dengan nilai taksiran karbon total per kelas per hektar sebelumnya, dapat dihitung taksiran karbon total untuk kelas kerapatan rendah, sedang, dan tinggi sebesar masing-masing 577.273,38; 996.655,61; dan 27.467,90 ton C. Total taksiran simpanan karbon untuk seluruh luas total *E. urophylla* di Cagar Alam Mutis Timau sebesar 1,601,396.89 tons C (Sadono *et al.*, 2023). Taksiran angka tersebut adalah status pada bulan September tahun 2022. Pemantauan taksiran dapat dilakukan dalam rentang waktu tahunan untuk mendapatkan perubahan simpanan karbon totalnya.

Merespon tuntutan kedetailan dan keakurasian di dalam pengenalan obyek tanaman *E. urophylla* di Provinsi Nusa Tenggara Timur, penelitian menggunakan citra satelit Pléiades-1B dengan resolusi spasial sangat tinggi yaitu 2 x 2 m. Citra satelit ini dapat diperoleh dengan skema pengadaan melalui penyedia jasa citra satelit, misal Geo-Circle Indonesia (<https://www.geo-circle.com/>). Tanggal akuisisi citra yang digunakan adalah pada 10 September 2021. Sementara itu, pengukuran lapangan menggunakan metode jumlah sampel pohon tetap (*N-tree sampling methods*) mengacu pada Silva *et al.* (2017) telah dimulai di tahun 2020, yang menghasilkan informasi berupa kerapatan pohon, perhitungan biomassa, dan simpanan karbon (Sadono *et al.*, 2020). Penelitian yang diuraikan tersebut didanai dengan skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) Universitas Gadjah Mada tahun 2020 sd 2022. Dari proses citra Pleiades menggunakan NDVI diperoleh deteksi tanaman *E. urophylla* dikenali pada nilai NDVI lebih dari 0,7. Rentang nilai terendah dan tertinggi dibuat klasifikasi kepadatan tanaman menjadi rendah, sedang, dan tinggi. Menggunakan data hasil pengukuran lapangan yang diklasifikasikan simpanan karbon pada kerapatan rendah, sedang dan tinggi, dan hasil perhitungan luas hasil pengolahan citra Pléiades-1B

dari kelas kerapatan rendah, sedang, dan tinggi, maka dapat *diupscaling* simpanan karbon untuk masing-masing luas kerapatan dan luas total areal yang diteliti. Metode upscaling ini analog dengan yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya. (Hasil tidak disampaikan secara detail karena manuskrip sedang dalam proses review di jurnal target).

Penelitian lanjutan di tahun ke-3 PDUPT atau tahun 2022 bertujuan untuk mengestimasi potensi energi hutan tanaman *E. urophylla* di Nusa Tenggara Timur. Penelitian ini menggabungkan hasil penelitian sebelumnya, yaitu dari informasi kerapatan tanaman dikonversi menjadi kerapatan rendah, sedang, dan tinggi dengan jumlah pohon masing-masing kelas kerapatan adalah 69, 182, dan 295 pohon per ha (Sadono *et al.*, 2020). Kemudian dari sampel 25 pohon yang mewakili dimensi tanaman *E. urophylla* dan diestimasi potensi energinya diperoleh rata-rata potensi energi per pohon di atas permukaan tanah yang diperkirakan 2.357,9 MJ (Sadono *et al.*, 2021b). Citra Pléiades-1B selanjutnya diproses menggunakan QGIS untuk menyajikan sebaran NDVI. Hasil perhitungan NDVI pada tanaman *E. urophylla* dikelaskan berdasarkan rentang nilai NDVI menjadi tiga kelas untuk merepresentasikan kelas kerapatan rendah, sedang dan tinggi. Dari luas tanaman 27 ha dapat diidentifikasi luas tanaman *E. urophylla* adalah 22.7 ha. Hasil perhitungan luas dari masing masing kelas kerapatan menggunakan rentang nilai NDVI adalah 6,8 ha, 12,9 ha, dan 3.0 ha untuk kelas kerapatan rendah, sedang, dan tinggi. Taksiran potensi energi untuk tiap luas kerapatan rendah, sedang, dan tinggi adalah 1.103.432,33 MJ; 5.522.999,19 MJ; dan 2.120.715,04 MJ, sedangkan taksiran potensi energi untuk seluruh luas tanaman *E. urophylla* adalah 8.747.146,57 MJ (Sadono *et al.*, 2023).

Demikianlah kegiatan penelitian terakhir saya dan tim yang mengambil tema estimasi volume pohon, kandungan biomassa dan simpanan karbon, dan potensi energi dari species *E. urophylla* yang tumbuh secara alami daerah ekosistem kering di Nusa Tenggara Timur. Penelitian tersebut lekat dengan milestone yang meliputi pengukuran lapangan, pemodelan hasil pengukuran lapangan, dan *upscaling* dari beberapa hasil pengukuran dan pemodelan sebelumnya. Hasil penelitian telah dipublikasikan pada beberapa jurnal internasional sebagai wujud peran dari bidang ilmu Statistik Kehutanan, yaitu di Journal of Degraded and Mining Lands Management (Scopus Q3), Jurnal Manajemen Hutan Tropika (Scopus Q3), dan Biodiversitas

(Scopus Q3).

Bapak dan Ibu yang saya hormati,

Pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam bidang Statistik Kehutanan ini tidak terlepas dari peran dan kontribusi dari berbagai pihak yang telah memberikan dorongan semangat, kekuatan, dan empati pada saya selama lebih dari 30 tahun sebagai dosen di Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Tonggak penting dimulai dengan penerbitan surat pengantar usul guru besar oleh Ketua Departemen Manajemen Hutan UGM, pada tanggal 1 Juli 2020 dengan surat bernomor 13/MH/VII/2020. Tidak hanya secara surat formal, beliau juga memberikan dorongan semangat melalui media sosial, WhattsApp, dengan menuliskan kalimat motivasi, “Bismillah, ich druecke die Daumen”. Terima kasih, Prof. Dr. Ahmad Maryudi, S.Hut, M.For.

Kontribusi penting berikutnya diperankan oleh jajaran Dekanat Fakultas Kehutanan periode 2016-2021. Pada tahapan ini usulan guru besar saya diproses kelengkapan administrasi dan kecukupan angka kredit dan pada akhirnya disetujui untuk selanjutnya dikirim ke Senat Fakultas. Usulan guru besar saya kemudian diproses di Senat Fakultas Kehutanan periode 2016-2021 untuk dicermati dan diteliti kelengkapan akademik dan non-akademik. Sampai dengan berakhirnya kepengurusan dekanat dan Senat Fakultas Kehutanan, status usulan guru besar saya belum bisa disetujui dan masih diperlukan beberapa kelengkapan persyaratan yang harus dipenuhi. Terima kasih tak terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya disampaikan kepada Dekanat Fakultas Kehutanan periode 2016-2021 dan Senat Fakultas Kehutanan periode 2016-2021 yang telah menginisiasi dan memproses usulan guru besar saya.

Pada tahapan ini saya mendapatkan nasehat penting dari salah satu kolega anggota Senat Fakultas Kehutanan periode 2016-2021 sebagai penguat untuk terus berusaha berjuang dengan usulan guru besar. Nasehat yang diberikan melalui WhattsApp tertanggal 20 Februari 2021 yang isinya penuh dengan dorongan dan motivasi untuk terus melangkah, meskipun jalan masih panjang karena pasti akan sampai ke tujuan. Semoga nasehat tersebut menjadi amal saleh yang

diterima Allah SWT. Pada fase ini pula, saya mendapat bantuan yang sangat penting dan berarti untuk kelengkapan persyaratan dari Wakil Dekan Bidang Penelitian, Pengabdian Kepada Masyarakat dan Kerjasama periode 2016-2021. Danke sehr, Herr Dr. rer. silv. Muhammad Ali Imron, S.Hut., M.Sc.

Perjalanan usulan guru besar saya, selanjutnya dikawal Ketua Departemen Manajemen Hutan periode 2021-2026 bersama dengan Dekanat Fakultas Kehutanan periode 2021-2026. Pada tahapan ini, dokumen usulan guru besar saya mendapat fasilitasi dari Direktorat Sumber Daya Manusia (DSDM) UGM untuk verifikasi kelengkapan dokumen pendukung. Setelah dinyatakan lengkap, dilanjutkan dengan proses persetujuan dari Tim Validasi Fakultas Kehutanan. Pada periode Desember 2022 sampai Januari 2023, Tim Validasi Fakultas Kehutanan memproses dan menyetujui usulan guru besar 850 dengan Bidang Ilmu Statistik Kehutanan. Terima kasih, tim Validasi Fakultas Kehutanan UGM.

Usulan guru besar saya selanjutnya dikirim oleh Dekanat Fakultas Kehutanan ke Senat Fakultas Kehutanan periode 2021-2026 untuk mendapatkan persetujuan. Pada tahap ini, peran Ketua Senat Fakultas UGM, Prof. Dr. Ir. San Afri Awang, M.Sc. sangat menonjol dalam mendorong usulan guru besar saya. Tonggak penting itu ditandai dengan persetujuan Pengajuan Kenaikan Jabatan Akademik/Pangkat ke Guru Besar 850 dengan bidang ilmu Statistik Kehutanan pada tanggal 23 Januari 2023. Terima kasih Ketua dan seluruh anggota Senat Fakultas Kehutanan periode 2021-2016. Dengan demikian, berkas usulan sudah lengkap dan siap diajukan untuk kenaikan jabatan akademik/pangkat dosen ke tingkat universitas. Terima kasih kepada seluruh tim Dekanat Fakultas Kehutanan dan seluruh jajarannya.

Berkas usulan diverifikasi administrasi di universitas oleh DSDM-UGM mulai tanggal 27 Januari 2023 dan dinyatakan lengkap. Berkas selanjutnya dikirim ke Senat Akademik Universitas tanggal 30 Januari 2023 untuk mendapatkan persetujuan. Setelah mendapatkan persetujuan Senat Akademik Universitas, berkas dikirim oleh Rektor Universitas Gadjah Mada ke Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dengan surat tertanggal 14 April 2023 bernomor 4106/UN1.P.IV/DSDM/KP.04.04/2023. Terima kasih kepada Rektor

UGM beserta jajaranya dan Senat Akademik UGM atas kelancaran perjalanan usulan guru besar saya selama di universitas.

Usulan guru besar diverifikasi administrasi di Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi tanggal 23 April 2023. Setelah melewati proses ini, usulan dijadwalkan penilaian pada periode 3 sampai 12 Mei 2023. Hasil penilaian dapat diselesaikan oleh tim penilai pada tanggal 13 Mei 2023. Setelah hasil penilaian dinyatakan dapat dilanjutkan, diteruskan dengan proses penandatanganan dokumen Penetapan Angka Kredit (PAK) oleh plt. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dan PAK terbit pada tanggal 12 Juni 2023. Selang sepuluh hari kemudian, selanjutnya terbit Surat Keputusan Kenaikan Jabatan Akademik/Fungsional Dosen yang ditandatangani oleh Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia. Terima kasih kepada bapak plt. Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi dan bapak Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas kelancaran proses usulan guru besar saya.

Usulan guru besar saya tidak mungkin dapat diwujudkan tanpa kontribusi dari kolega, sahabat, dan mahasiswa bimbingan program Sarjana, Master maupun Doktor yang berkolaborasi sinergis dalam menghasilkan karya ilmiah yang dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi. Terima kasih yang tulus saya sampaikan kepada semuanya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang tetap terus semangat berjuang bersama di dalam publikasi karya ilmiah

Selama berjuang usul guru besar sejak tahun 2020, saya mendapat dukungan dari para teman teman Pembina Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) Universitas Gadjah Mada tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023. Kebersamaan dan semangat di dalam melaksanakan tugas mengawal kontingen PKM UGM sampai berlaga di Pekan Ilmiah Mahasiswa tiap tahun merupakan momen yang membahagiakan dan kebahagiaan tersebut menjadikan suasana batin selama usulan guru besar saya diproses terasa lebih ringan. Terima kasih kepada semua teman teman Pembina PKM UGM tahun 2020, 2021, 2022, dan 2023 yang tidak bisa saya sebut satu per satu.

Kepada Rektor UGM periode 2022–2027 Prof. dr. Ova Emilia, M. Med.Ed., Sp. OG(K), Ph.D., Dekan Fakultas Kehutanan periode 2021–2026 Ir. Sigit Sunarta, S.Hut., M.P., M.Sc., Ph.D., IPU, para Wakil Dekan Ir. Dwiko Budi Permadi, S.Hut., M.Sc., Ph.D., IPU, Dr. Kaharuddin, S.Hut., M.Si., Prof. Ir. Widiyatno, S.Hut., M.Sc., Ph.D., IPM. atas dorongan dan dukungannya terhadap semua proses pengukuhan ini dihaturkan sangat terima kasih. Apresiasi saya yang setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Guru Besar Fakultas Kehutanan UGM yang telah banyak memberikan saran dan koreksi atas naskah pidato guru besar saya, khususnya kepada Guru Besar di Departemen Manajemen Hutan: Prof. Dr. San Afri Awang, M.Sc, dan reviewer naskah pidato oleh para Guru Besar UGM, yaitu Prof. Dr. M. Baiquni, M.A. dan Prof. Dr. rer.nat. Dedi Rosadi. S.Si., M.Sc. Masukan para reviewer sangat tajam dan menginspirasi. Sebisa mungkin telah dielaborasi untuk perbaikan dan penyempurnaan naskah pidato sesuai dengan pembatasan cakupan.

Kepada para senior di Laboratorium Komputer dan Biometrika, almarhum Dr. Ir. Setyono Sastrosumarto, Dr. Ir. Agus Setyarso, M.Sc., almarhum Ir. Budi Murdawa, M.Sc. dan para kolega Djoko Soeprijadi, S.Hut., M.Cs, Ari Susanti, S.Hut., M.Sc., Ph.D., Pandu Yudha Adi Putra Wirabuana, S.Hut., M.Sc. serta tenaga kependidikan mas Jahja Bambang Subekti yang senantiasa berbagi kehangatan dalam kekeluargaan disampaikan terima kasih yang mendalam. Juga kepada Ketua dan Sekretaris Departemen Manajemen Hutan periode 2016-2021, Ketua Departemen Manajemen Hutan periode 2021-2026 serta seluruh dosen dan tendik yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu dihaturkan terima kasih yang tulus atas bantuan, kebaikan, dan kebersamaannya.

Saya merasa bahagia memiliki keluarga yang sangat mendukung untuk mencapai cita cita. Ibu dan ayah saya, Ibu Siti Nafsiyah, almarhum Bapak Broto Adisastro, atas kasih sayang dan pengasuhannya yang luar biasa, juga ibu dan bapak Mertua Ibu Siti Hazimah dan Bapak Prof. Dr. Abdul Gafur Daniamiseno, M.Sc. atas perhatian dan kebersamaannya yang penuh kasih sayang pada cucu-cucunya. Ucapan terima kasih secara khusus saya tujukan kepada istri tercinta Laily Johanah, S.Pd. yang selalu bersama, mengalah dalam karir, setia kebersamai dalam suka dan duka selama lebih dari 30

tahun. Ucapan terima kasih juga kepada kedua anak, Endiarjati Dewandaru Sadono, S.E., M.Ec.Dev. dan Freisiane Rachmalia Sadono, S.K.G. yang menjadi penyemangat beribadah melalui pengabdian sebagai akademisi.

Kepada seluruh kakak kandung saya, Mbak Haryati dengan suami Mas Kapten (Purn) Soeprpto (alm.), Mbak Sri Harukini dengan suami Mas Ign. Gatot Sunadi (alm), Mbak AM Sri Wulani dengan suami Mas Aiptu (Purn) FX. Hadi Maryono (alm), Mas Purboyo, S.H. (alm) dengan istri Mbak Sri Yusmini, S.Pd. Mbak Sri Hartini, S.Pd. dengan suami Mas Drs. Kuntowo Syakur, M.Pd., Mbak Siti Suharlin dengan suami Mas Abdul Ghoni Yurohman (alm), dan Mas Suryanto, S.H. dengan istri Mbak Wahyuni, A.Md. dan seluruh keluarganya masing-masing, terima kasih atas persaudaraan dan saling pengertiannya sejak kita masih anak-anak, beranjak dewasa, dan hingga saat ini seluruh kakak sudah menjadi kakek dan nenek. Demikian juga kepada keluarga adik ipar semata wayang, Dwi Nuryan Dani, S.P. beserta suami Dediek Soeharmadji, S.P. terima kasih kebersamaan berbakti kepada kedua orang tua.

Demikian pidato ini, saya sampaikan. Terima kasih banyak atas kesabaran dan perhatian semua hadirin. Mohon maaf yang sebesar besarnya atas segala kesalahan dan kekurangan. Akhir kata, semoga kita semua selalu dalam perlindungan Tuhan yang Maha Esa, Maha Pengasih dan Penyayang.

*Wabillahi taufik wal hidayah,
wassalamu'alaikum wa rahmatullahi wa barakatuh.*

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin

DAFTAR PUSTAKA

- Altanzagas, B., Luo, Y., Altansukh, B., Dorjsuren, C., Fang, J. and Hu, H. 2019. Allometric equations for estimating the above-ground biomass of five forest tree species in Khangai, Mongolia. *Forests* 10(8): 1–17, doi:10.3390/f10080661.
- Bagaskara. 2023. Ekosistem Hutan: Pengertian, Jenis, Ciri, Komponen, dan Manfaat. Diakses 15 September 2023 dari <https://mutucertification.com/ekosistem-hutan-jenis-manfaat/>.
- Bitterlich, Dr, W. 2023. The Spiegel Relaskop. Diakses 2 Agustus 2023 dari [Spiegel-Relaskop-English | Silvanus AT](https://www.spiegel-relaskop.com/).
- Brown, S.1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer*. (FAO Forestry Paper - 134). FAO, Rome.
- Delcourt, C. J. F. and Veraverbeke, S. 2022. Allometric equations and wood density parameters for estimating aboveground and woody debris biomass in Cajander larch (*Larix cajanderi*) forests of northeast Siberia. *Biogenesis* 19: 4499–4520, doi:10.5194/bg-19-4499-2022.
- Dombroski, J. L. D. and Pinto, J. R. S. 2019. Crown Area as a Parameter for Biomass Estimation of *Croton sonderianus* Müll. Arg. *Floresta e Ambiente* 26(4): e20150247, doi:10.1590/2179-8087.024715.
- Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. 2006. "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories." Japan. Diakses 13 September 2023 dari <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Ernyasih. 2023. Contribution of Trees to Human Survival. Diakses 16 Agustus 2023 dari <https://umj.ac.id/opini-1/kontribusi-pohon-untuk-kelangsungan-hidup-manusia>.
- Feyisa, K., Beyene, S., Megersa, B., Said, M. Y., Jan, L. and Angassa, A. 2018. Allometric equations for predicting above-ground biomass of selected woody species to estimate carbon in East African rangelands. *Agroforestry Systems* 92: 599–621,

doi:10.1007/s10457-016-9997-9.

- Forestry tools. Haglof Digitech DP II+ Computer Caliper. Diakses 17 September 2023 dari <https://www.forestry-suppliers.com/p/59748/45270/haglof%20C3%B6f-digitech-dp-ii+-computer-caliper>.
- Forestry tools. Haglof Vertex Laser Geo 360 Degree Pkg. Diakses 2 Agustus 2023 dari <https://www.forestrytools.com.au/products/haglof-vertex-laser-geo-360-degree-pkg>.
- Geost, F. 2018. Ekosistem Hutan dan Komponen Penyusunnya. Diakses 15 September 2023 dari <https://www.geologinesia.com/2018/06/ekosistem-hutan-dan-komponen-penyusunnya.html>.
- Hector, A., Von Felten, S. and Schmid, B. 2010. Analysis of variance with unbalanced data: an update for ecology & evolution. *Journal of Animal Ecology* 79(2): 308–316, doi:10.1111/j.1365-2656.2009.01634.x.
- Huang, C., Feng, C., Ma, Y., Liu, H., Wang, Z., Yang, S., Wang, W., Fu, S. and Chen, H. Y. H. 2022. Allometric models for aboveground biomass of six common subtropical shrubs and small trees. *Journal of Forestry Research* 33: 1317–1328, doi:10.1007/s11676-021-01411-y.
- Jing-Ting, L. and Li-Chun, J. 2016. Compatible tree volume equations and heteroscedasticity for Dahurian larch in different region of Daxing'anling. *Forest Research* 29(3): 317–323.
- Ju, Y. M., Ahn, B. J. and Lee, J. 2016. Comparative analysis of gross calorific value by determination method of lignocellulosic biomass using a bomb calorimeter. *Journal of The Korean Wood Science and Technology* 44: 864–871, doi:10.5658/WOOD.2016.44.6.864.
- Kinho, J., Arini, D. I. D. and Kafiar, Y. 2023. Local wisdom in conserving *Magnolia sulawesiana* the endemic and endangered tree species in Sulawesi, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1192(1): 012010, doi:10.1088/1755-1315/1192/1/012010.

- Laosuwan, T., Uttaruk, Y., Sangpradid, S., Butthep, C., Leammanee, S. 2023. The Carbon Sequestration Potential of Silky Oak (*Grevillea robusta* A.Cunn. ex R.Br.), a High-Value Economic Wood in Thailand. *Forests* (14), 1824, doi:10.3390/f14091824.
- Liu, B., Bu, W. and Zang, R. 2023. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of younger secondary tropical forests. *Global Ecology and Conservation* 41: e02359, doi:10.1016/j.gecco.2022.e02359.
- Losi, C. J., Siccama, T. G., Condit, R. and Morales, J. E. 2003. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. *Forest Ecology and Management* 184 (1–3): 355–368, doi:10.1016/S0378-1127(03)00160-9.
- Marimpan, L. S., Purwanto, R. H., Wardhana, W. and Sumardi. 2022. Carbon storage potential of *Eucalyptus urophylla* at several density levels and forest management types in dry land ecosystems. *Biodiversitas* 23(6): 2830–2837, doi:10.13057/biodiv/d230607.
- Marimpan, L. S. and Purwanto, R. S. 2010. Inventore hutan alam jenis ampupu (*Eucalyptus urophylla*) dalam menghasilkan volume kayu batang, biomassa dan karbon hutan. [Tesis]. Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.
- Nyamukuru, A., Whitney, C., Tabuti, J. R., Esaete, J. and Low, M. . 2023. Allometric models for aboveground biomass estimation of small trees and shrubs in African savanna ecosystems. *Trees, Forests and People* 11: 100377, doi:10.1016/j.tfp.2023.100377.
- Pho, K. H., Ly, S., Lukusa, T. M. 2019. Comparison among Akaike Information Criterion, Bayesian Information Criterion and Vuong's test in Model Selection: A Case Study of Violated Speed Regulation in Taiwan. *Journal of Advanced Engineering and Computation* 3(1): 293–303, doi:10.25073/jaec.201931.220.
- Pretzsch, H., Biber, P., Uhl, E., Dahlhausen, J., Rotzer, T., Caldentey, J., Koike, T., Con, T., Chavanne, A., Seifert, T., Toit, B., Farnden, C. and Pauleit, S. 2015. Crown size and growing space

requirement of common tree species in urban centres, parks, and forests. *Urban Forestry & Urban Greening* 14(3): 466 – 479, doi:10.1016/j.ufug.2015.04.006.

- Preuhsler, T. 1979. Ertragskundliche Merkmale oberbayerischer Bergmischwald Verjüngungsbestände auf kalkalpinen Standorten im Forstamt Kreuth. *Forstl Forschungsber München* 45: 372.
- Röhle, H. 1986. Vergleichende Untersuchungen zur Ermittlung der Genauigkeit bei der Ablotung von Kronenradien mit dem Dachlot und durch senkrechtes Anvisieren des Kronenrandes (Hochblick-Methode). *Forstarchiv* 57(1): 67–71.
- Romero, F. M. B., Jacovine, L. A. G., Torres, C. M. M. E., Ribeiro, S. C., da Rocha, S. J. S. S., Novais, T. N. O., Gaspar, R. O., da Silva, L. F., Vidal, E., Leite, H. G., Staudhammer, C. L. and Fearnside, P. M. 2022. Aboveground biomass allometric models for large trees in southwestern Amazonia. *Trees, Forest and People* 9:100317, doi: 10.1016/j.tfp.2022.100317.
- Roth-Nebelsick, A., Miranda, T., Ebner, M., Konrad, W. and Traiser, C. 2021. From tree to architecture: how functional morphology of arborescence connects plant biology, evolution and physics. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 101: 267–284, doi:10.1007/s12549-020-00466-9.
- Sadono, R., Wardhana, W., Wirabuana, P. Y. A. P. and Idris, F. 2020. Productivity evaluation of *Eucalyptus urophylla* plantation established in dryland ecosystems, East Nusa Tenggara. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 8(1): 2461–2469, doi:10.15243/jdmlm. 2020.081.2461.
- Sadono, R., Wardhana, W., Wirabuana, P. Y. A. P. and Idris, F. 2021a. Allometric equations for estimating aboveground biomass of *Eucalyptus urophylla* ST Blake in East Nusa Tenggara 2021. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 27(1): 24–31, doi:10.7226/JTFM.27.1.24.
- Sadono, R., Wardhana, W., Idris, F. and Wirabuana, P. Y. A. P. 2021b. Carbon storage and energy production of *Eucalyptus urophylla* developed in dryland ecosystems

at East Nusa Tenggara. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 9(1):3107-3114, doi:10.15243/jdmlm.2021.091.3107.

- Sadono, R., Wardhana, W., Idris, F. and Wirabuana, P. Y. A. P. 2022. Allometric Equation for Estimating Energy Production of *Eucalyptus urophylla* in Dryland Ecosystems at East Nusa Tenggara. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 28(1): 32 – 39, doi:10.7226/jtfm.28.1.32.
- Sadono, R., Wardhana, W., Idris, F., Wirabuana, P. Y. A. P. 2023. Developing energy production from *Eucalyptus urophylla* plantation in dryland ecosystems at East Nusa Tenggara, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10(4):4673-4681, doi:10.15243/jdmlm.2023.104.4673.
- Sadono, R., Wardhana, W. and Wirabuana, P. Y. A. P. 2023. Estimating carbon storage of *Eucalyptus urophylla* vegetation in Mutis Timau Nature Reserve, East Nusa Tenggara, Indonesia using remote sensing analysis. *Biodiversitas* 24(4): 1946–1952, doi:10.13057/biodiv/d240402.
- Sato, J. H., Figueiredo, C. C. D., Marchão, R. L., Madari, B. E., Benedito, L. E. C., Busato, J. G. and Souza, D. M. D. 2014. Methods of soil organic carbon determination in Brazilian savannah soils. *Scientia Agricola* 71(4): 302–308, doi:10.1590/0103-9016-2013-0306.
- Setiahadi, R. 2021. Comparison of individual tree aboveground biomass estimation in community forests using allometric equation and expansion factor in Magetan, East Java, Indonesia. *Biodiversitas* 22(9): 3899-3909, doi:10.13057/biodiv/d220936.
- Silva, L. B., Alves, M., Elias, R. B. and Silva L. 2017. Comparison of T-square, point centered quarter, and N-tree sampling methods in *Pittosporum undulatum* Invaded Woodlands. *International Journal of Forestry Research*, vol. 2017, Article ID 2818132, 13 pages, doi:10.1155/2017/2818132.
- Tetemke, B. A., Birhane, E., Rannestad, M. M., Eid, T. 2019. Allometric models for predicting aboveground biomass of

trees in the dry afro-montane forests of Northern Ethiopia. *Forests* 10(12): 1–15, doi:10.3390/F10121114.

- Sönmez, T., Gencal, B. and Çankaya, E. Ç. 2022. Single-and Double-Entry Volume Equations for Turkey Oak (*Quercus cerris* L.) Stands in Bursa Regional Directorate of Forestry. *Forestist* 73(1):51–62, doi:10.5152/forestist.2022.22010.
- Wang, Z., Huang, X., Li, F., Chen, D. and Xu, X. 2023. Global patterns of allometric model parameters prediction. *Scientific Reports* 13: 1550, doi:10.1038/s41598-023-28843-2.
- Wiki. 2011. Diakses 2 Agustus 2023 dari <http://wiki.awf.forst.uni-goettingen.de/wiki/index.php/File:2.6.3-fig24.png>.
- Zapata-Cuartas, M., Sierra, C. A. and Alleman, L. 2012. Probability distribution of allometric coefficients and Bayesian estimation of aboveground tree biomass. *Forest Ecology and Management* 277: 173–179, doi:10.1016/j.foreco.2012.04.030.

BIODATA



Nama Lengkap: Prof. Dr. Ir. Ronggo Sadono

Kelamin : L

Jabatan Fungsional : Guru Besar

NIP : 196412011989031001

NIDN : 0001126406

Tempat/Tanggal Lahir: Ngawi, 1 Desember 1964

E-mail : rsadono@ugm.ac.id

Nomor Telepon/HP : +6281542260247

Alamat Kantor : Departemen Manajemen
Hutan, Jl. Agro No.1, Bulaksumur,
Yogyakarta, 55281

Nomor Telepon/Fax : 0274-548815

Alamat Rumah : Jl. Pamularsih 148C, Sinduharjo, Ngaglik,
Sleman, 55581

Keluarga :

Istri : Laily Johanah, S.Pd.

Anak :

1. Endiarjati Dewandaru Sadono, S.E., M.Ec.Dev.
2. Freisiane Rachmalia Sadono, S.K.G.

Riwayat Pendidikan

Lulus S-3 dari Forstwissenschaftliche Fakultät, Technische Universität Muenchen tahun 2001, melalui program beasiswa DAAD.

Judul Disertasi: “Vorratsentwicklung im permanenten Tieflagenproduktionswald in Kalimantan/Indonesien”

Lulus Sarjana Kehutanan, Fakultas Kehutanan UGM tahun 1988

Pengalaman Menjabat:

Wakil Dekan Bidang Administrasi, Keuangan, dan Sumberdaya Manusia, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada 2008–2012

Aktivitas Kemasyarakatan:

Ketua Komite Sekolah Dasar Islam Terpadu (SDIT) Salsabila 2, Klaseman, Kapanewon Ngaglik, Sleman

Daftar Publikasi 2020–2023 pada jurnal terindeks Scopus sebagai penulis utama

Tahun 2020

1. Ekasari, I., **Sadono, R.**, Marsono, D., & Witono, J.R. (2020). Mapping Multi Stakeholder Roles on Fire Management in Conservation Areas of Kuningan Regency. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26(3), 254–267, doi:10.7226/JTFM.26.3.254
2. **Sadono, R.**, Pujiono, E., & Lestari, L. (2020). Land cover changes and carbon storage before and after community forestry program in Bleberan village, Gunungkidul, Indonesia, 1999–2018. *Forest Science and Technology*, 16(3), 134–144, doi:10.1080/21580103.2020.1801523
3. **Sadono, R.**, Soeprijadi, D., Susanti, A. Matatula, J., Pujiono, E., Idris, F., & Wirabuana, P.Y.A.P. (2020). Local indigenous strategy to rehabilitate and conserve mangrove ecosystem in the southeastern gulf of Kupang, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(3), 1250–1257, doi:10.13057/biodiv/d210353
4. **Sadono, R.**, Soeprijadi, D., Susanti, A., Wirabuana, P.Y.A.P., & Matatula, J. (2020). Short communication: Species composition and growth performance of mangrove forest at the coast of Tanah Merah, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(12), 5800–5804, doi:10.13057/biodiv/d211242
5. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Wirabuana, P.Y.A.P., & Idris, F. (2020). Productivity evaluation of *Eucalyptus urophylla* plantation established in dryland ecosystems, East Nusa Tenggara. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(1), 2461–2469, doi:10.15243/jdmlm.2020.081.2461

6. Wirabuana, P.Y.A.P., **Sadono, R.**, Juniarmo, S., & Idris, F. (2020). Interaction of fertilization and weed control influences on growth, biomass, and carbon in eucalyptus hybrid (*E. pellita* × *E. brassiana*). *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 26(2), 144–154, doi:10.7226/JTFM.26.2.144
7. Wirabuana, P.Y.A.P., Setiahadhi, R., **Sadono, R.**, Lukito, M., Martono, D.S., Matatula, J. (2020). Allometric equations for estimating biomass of community forest tree species in Madiun, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(9), 4291–4300, doi:10.13057/biodiv/d210947

Tahun 2021

1. Ekasari, I., **Sadono, R.**, Marsono, D., & Witono, J.R. (2021). Species composition and richness of viable seed bank after fire events in Mount Ciremai National Park and Kuningan Botanic Gardens, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*, 22(6), 3437–3447, doi:10.13057/biodiv/d220652
2. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Idris, F., & Wirabuana, P.Y.A.P. (2021). Carbon storage and energy production of *Eucalyptus urophylla* developed in dryland ecosystems at East Nusa Tenggara. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 9(1), 3107–3114, doi:10.15243/JDMLM.2021.091.3107
3. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Wirabuana, P.Y.A.P., & Idris, F. (2021). Allometric equations for estimating aboveground biomass of *eucalyptus urophylla* S.T. Blake in East Nusa Tenggara. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 27(1), 24–31, doi:10.7226/JTFM.27.1.24
4. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Wirabuana, P.Y.A.P., & Idris, F. (2021). Soil chemical properties influences on the growth performance of *Eucalyptus urophylla* planted in dryland ecosystems, East Nusa Tenggara. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 8(2), 2635–2642, doi:10.15243/JDMLM.2021.082.2635
5. Stefano, A., Endayani, S., & **Sadono, R.** (2021). Combining the Traditional and Modern Architecture in Taman Samarendah Plan, Samarinda City, East Kalimantan Province, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 11(2), 705–711,

doi:10.18517/ijaseit.11.2.8341

6. Suryanto, P., **Sadono, R.**, Yohanifa, A., Widyawan, M.H., & Alam, T. (2021). Semi-natural regeneration and conservation in agroforestry system models on small-scale farmers. *Biodiversitas*, 22(2), 858–865, doi:10.13057/biodiv/d220240
7. Tohirin, Suryanto, P., & **Sadono, R.** (2021). Vegetation structure, aboveground biomass, and carbon storage of wono, a local forest management in Gunungkidul, Yogyakarta, Indonesia, across three geomorphological zones. *Biodiversitas*, 22(8), 3207–3218, doi:10.13057/biodiv/d220814
8. Wirabuana, P.Y.A.P., Mulyana, B., Meinata, A., Idris, F., & **Sadono, R.** (2021). ALLOMETRIC EQUATIONS FOR ESTIMATING MERCHANTABLE WOOD AND ABOVEGROUND BIOMASS OF COMMUNITY FOREST TREE SPECIES IN JEPARA DISTRICT. *Forestry Ideas*, 27(2), 496–515.
9. Wirabuana, P.Y.A.P., Setiahadhi, R., **Sadono, R.**, Lukito, M., & Martono, D.S. (2021). The influence of stand density and species diversity into timber production and carbon stock in community forest. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 8(1), 13–22, doi:10.20886/IJFR.2021.8.1.13-22

Tahun 2022

1. Endayani, S., **Sadono, R.**, Kusumandari, A., Hartono, & Baiquni, M. (2022). Horizontal and Vertical Geometric Accuracy of Agisoft Photoscan and Pix4D Mapper Softwares at Kebun Raya Universitas Mulawarman in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 12(5), 2132–2139, doi:10.1080/10549811.2022.2123349
2. Kusuma, A.F., **Sadono, R.** & Wardhana, W. (2022). Ten Years Assessment of Shifting Cultivation on Land Cover and Carbon Storage in Timor Island, Indonesia. *Floresta e Ambiente*, 29(4). e20220016, doi:10.1590/2179-8087-FLORAM-2022-0016
3. Pujiono, E., **Sadono, R.**, Hartono, Imron, M.A., & Wirabuana, P.Y.A.P. (2022). Factors Contributing to Forest Degradation in the Mountainous Tropical Forest: A Case Study of the Mutis-Timau

Forest Complex, Indonesia. *Journal of Sustainable Forestry*, 1-20, doi:10.1080/10549811.2022.2123349

4. **Sadono, R.**, Khan, K., Kusuma, A.P., Siregar, D.I., Yuwono, T., Peday, H.F.Z., & Ruhimat, I.S. (2022). LAND COVER AND CARBON STORAGE IN A CERTIFIED SUSTAINABLE COMMUNITY FOREST IN SUMBEREJO VILLAGE, WONOGIRI, CENTRAL JAVA, USING LANDSAT DATA SERIES 2000, 2015 AND 2020. *Agriculture & Forestry*, 68(3). 183–198, doi:10.17707/AgricultForest.68.3.15
5. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Idris, F., & Wirabuana, P.Y.A.P. (2022). Allometric Equation for Estimating Energy Production of Eucalyptus urophylla in Dryland Ecosystems at East Nusa Tenggara. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika*, 28(1), 32–39, doi:10.7226/jtfm.28.1.32
6. Siarudin, M., Awang, S. A., **Sadono, R.**, & Suryanto, P. (2022). The pattern recognition of small-scale privately-owned forest in Ciamis regency, west Java, Indonesia. *Forest and Society*, 6(1), 104-120, doi:10.24259/fs.v6i1.17997
7. Wirabuana, P.Y.A.P., **Sadono, R.**, & Matatula, J. (2022). COMPETITION INFLUENCES TREE DIMENSION, BIOMASS DISTRIBUTION, AND LEAF AREA INDEX OF EUCALYPTUS UROPHYLLA IN DRYLAND ECOSYSTEMS AT EAST NUSA TENGGARA. *Agriculture and Forestry*, 68(1), 191–206, doi:10.17707/AgricultForest.68.1.12

Tahun 2023

1. **Sadono, R.**, Wardhana, W. & Wirabuana, P.Y.A.P. (2023). Estimating carbon storage of Eucalyptus urophylla vegetation in Mutis Timau Nature Reserve, East Nusa Tenggara, Indonesia using remote sensing analysis. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(4). 1946–1952, doi:10.13057/biodiv/d240402
2. **Sadono, R.**, Wardhana, W., Idris, F. & Wirabuana, P.Y.A.P. (2023). Developing energy production from Eucalyptus urophylla plantation in dryland ecosystem at East Nusa Tenggara, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 10(4), 4673–4681, doi:10.15243/jdmlm.2023.104.4673
3. Siarudin, M., Awang, S.A., **Sadono, R.** & Suryanto, P. (2023). Renewable energy from secondary wood products contributes to

local green development: the case of small-scale privately owned forests in Ciamis Regency, Indonesia. *Energy, Sustainability and Society*, 13(4), 4, doi:10.1186/s13705-023-00383-7