

SAGU (*Metroxylon* spp.) DAPAT DIJADIKAN SEBAGAI TANAMAN KONSERVASI SUMBER MATA AIR: LITERATURE REVIEW

Samin Botanri¹

¹Universitas Darussalam Ambon. Jln. Waehakila Puncak Wara, Ambon, Maluku Indonesia.

♥Email: saminunidar82@gmail.com

Article History

Received: 08-04-2026

Revision: 21-04-2026

Accepted: 25-04-2026

Published: 30-04-2026

Abstract. Sagu (*Metroxylon* spp.) is a tropical palm plant that has a high adaptability to wet lands, swamps, and areas with abundant water availability. This article aims to analyze the potential of sago as a water source conservation plant based on various published research findings. The method used is a literature review by examining various scientific articles, books, and relevant documents that discuss the ecological characteristics, root systems, and hydrological roles of sago plants. The study results show that Sago can be categorized as an indicator plant of water sources because its distribution, growth, and productivity are highly dependent on groundwater availability and the stability of the hydrological system. The presence of sago not only indicates the existence of adequate water reserves but also contributes to maintaining the environmental hydrological function through increased infiltration, soil conservation, and catchment area maintenance. The microclimate formed within the sago stand canopy plays an important role in sustaining the water source. A dense canopy lowers air temperature, increases humidity, reduces evaporation, and enhances water infiltration into the soil. Litter and root systems increase groundwater storage capacity and support the recharge of aquifers that serve as water sources. The root system of sago has an extraordinary ability to store water through increased infiltration, formation of soil porosity, stabilization of soil structure, and maintenance of organic matter content. This ability supports the process of aquifer recharge and ensures the sustainability of water sources. Therefore, sago can be viewed as a water conservation plant that not only utilizes water resources but also actively plays a role in creating, maintaining, and protecting water sources.

Keywords: Sago, Adaptability, Microclimate, Water Storage Capacity, Spring Conservation

Abstrak. Sagu (*Metroxylon* spp.) merupakan tanaman palma tropis yang memiliki kemampuan adaptasi tinggi pada lahan basah, rawa, dan kawasan dengan ketersediaan air yang melimpah. Artikel ini bertujuan menganalisis potensi sagu sebagai tanaman konservasi sumber mata air berdasarkan berbagai hasil penelitian yang telah dipublikasikan. Metode yang digunakan adalah *literature review* dengan menelaah berbagai artikel ilmiah, buku, dan dokumen relevan yang membahas karakteristik ekologi, sistem perakaran, serta peran hidrologis tanaman sagu. Hasil kajian menunjukkan bahwa Sagu dapat dikategorikan sebagai tumbuhan indikator sumber air karena distribusi, pertumbuhan, dan produktivitasnya sangat bergantung pada ketersediaan air tanah dan kestabilan sistem hidrologi. Keberadaan sagu tidak hanya menunjukkan adanya cadangan air yang memadai, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga fungsi hidrologi lingkungan melalui peningkatan infiltrasi, konservasi tanah, dan pemeliharaan daerah resapan. Iklim mikro yang terbentuk dalam tajuk tegakan sagu berperan penting dalam menjaga keberlangsungan sumber mata air. Tajuk yang rapat menurunkan suhu udara, meningkatkan kelembapan, mengurangi evaporasi, dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Serasah dan sistem perakaran memperbesar kapasitas penyimpanan air tanah serta mendukung pengisian akuifer yang menjadi sumber mata air. Sistem perakaran sagu memiliki kemampuan luar biasa dalam menyimpan air melalui peningkatan infiltrasi, pembentukan porositas tanah, stabilisasi struktur tanah, serta pemeliharaan kandungan bahan organik. Kemampuan tersebut mendukung proses pengisian akuifer dan menjaga keberlangsungan sumber mata air. Oleh karena itu, sagu dapat dipandang sebagai tanaman konservasi air yang tidak hanya memanfaatkan sumber daya air, tetapi juga berperan aktif dalam menciptakan, mempertahankan, dan melindungi sumber mata air.

Kata Kunci: Sagu, Daya Adaptasi, Iklim Mikro, Kemampuan Menyimpan Air, Konservasi Mata Air

How to Cite: Botanri, S. (2026). Sagu (*Metroxylon* spp.) dapat Dijadikan Sebagai Tanaman Konservasi Sumber Mata Air: Literature Review. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (2), 164-186. <http://doi.org/10.54373/hijm.v4i2.6153>

PENDAHULUAN

Sagu (*Metroxylon spp*) merupakan salah satu jenis tumbuhan palem wilayah tropis yang memiliki nilai ekologis dan ekonomis tinggi di kawasan Asia Tenggara dan Melanesia. Tumbuhan ini secara alami tumbuh di lahan marjinal, lahan rawa, hutan payau, sekitar sumber air dan daerah pesisir dengan tingkat kelembaban tinggi serta drainase yang buruk (Botanri et al., 2011a). Tumbuhan sagu memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem rawa dan lahan basah. Akar-akar serabutnya membantu menahan erosi dan meningkatkan daya serap air tanah, sementara tajuknya menciptakan mikroklimat yang mendukung keanekaragaman hayati di sekitarnya. Adaptasi ekologis sagu terhadap lingkungan ekstrem mencerminkan strategi evolusi yang khas. Tumbuhan ini mampu bertahan dalam kondisi hipoksia akibat genangan air dengan mengembangkan sistem pernapasan melalui lentisel dan struktur akar udara. Selain itu, sagu menunjukkan toleransi terhadap kadar garam dan kemasaman tanah yang tinggi, yang menjadi ciri khas lahan rawa dan gambut (Silitonga et al., 2012). Adaptasi ini memungkinkan sagu untuk tumbuh dan berkembang pada habitat yang tidak mendukung pertumbuhan sebagian besar tanaman budidaya lainnya (Yamamoto & Takeda, 2008).

Sebagai salah satu tumbuhan palem wilayah tropika basah, sagu dikenal sebagai tumbuhan endemik daerah Maluku dan Papua Indonesia, memiliki daya adaptasi yang termasuk dalam kategori sedang (*meso tolerance*) sampai daya adaptasi kuat (*eury tolerance*). Dengan daya adaptasi yang tinggi ini, tumbuhan sagu dapat ditemukan tumbuh pada berbagai kondisi habitat, mulai dari lahan kering sampai dengan lahan basah atau tergenang (Botanri et al., 2022). Habitat lahan basah terdiri dari beberapa kategori, yakni lahan tergenang permanen air tawar, lahan tergenang semi permanen air tawar, dan lahan tergenang semi permanen air payau. Kondisi lahan tergenang permanen air tawar dapat ditemui pada habitat kolam dan sisi pinggir kiri kanan sungai. Pada kondisi lahan semi permanen air tawar dapat ditemukan jika terjadi hujan. Sedangkan kondisi lahan tergenang semi permanen air payau terdapat pada wilayah pesisir pantai, dan genangannya hanya bersifat sementara yaitu ketika air laut pasang.

Di Provinsi Maluku dan beberapa daerah lain di wilayah Indonesia Timur, tumbuhan sagu dijadikan sebagai petunjuk perbedaan sumber mata air, dengan kata lain tumbuhan ini seringkali dipakai sebagai bioindikator yang mengarahkan bahwa jika terdapat tumbuhan sagu tentu pasti ada air. Pengetahuan ini berkembang melalui pengalaman empiris masyarakat yang mengamati hubungan antara lokasi tumbuh sagu dan keberadaan mata air. Dalam banyak kasus, lokasi hutan sagu memang berasosiasi dengan daerah tangkapan air yang memiliki debit relatif stabil sepanjang tahun. Dalam ekologi tumbuhan, bioindikator merupakan organisme

yang keberadaan, pertumbuhan, struktur populasi, maupun karakter fisiologinya dapat digunakan untuk menunjukkan kondisi lingkungan tertentu. Dalam konteks tersebut, sagu memiliki potensi besar sebagai tanaman bioindikator karena distribusinya sangat dipengaruhi oleh faktor hidrologi, sifat tanah, kualitas air, dan kondisi iklim mikro. Keberadaan sagu kadang kala mencerminkan karakteristik lingkungan tertentu yang relatif stabil dan khas. Organisme bioindikator biasanya memiliki toleransi ekologis tertentu sehingga kehadiran atau ketidakhadirannya dapat memberikan informasi mengenai kondisi habitat. Sagu memenuhi kriteria tersebut karena memiliki preferensi habitat yang spesifik terhadap lingkungan yang kaya air dan memiliki kondisi tanah tertentu. Oleh sebab itu, keberadaan populasi sagu dapat dijadikan indikator ekologis dalam menilai kualitas ekosistem rawa maupun sumber mata air. Parmar et al. (2016) menyatakan bahwa pemanfaatan organisme hidup seperti tumbuhan, plankton dan hewan dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator untuk memantau perkembangan kondisi ekosistem alami di lingkungan.

Dalam ekosistem sagu, sistem kanopi yang menutupi sebagian besar permukaan tanah menciptakan kondisi iklim mikro yang menjamin kelembaban udara di bawah tajuk tetap tinggi. Kehilangan air dari dalam tajuk tumbuhan sagu pada umumnya rendah, hal ini dikarenakan air yang menguap di dalam tajuk terjebak di dalamnya karena kanopi tumbuhan sagu sangat rapat, kondisi ini yang kemudian menyebabkan kelembaban udara di dalam tajuk tumbuhan sagu meningkat (Botanri dan Kamsurya, 20026). Hal ini disebabkan karena sinaran surya yang masuk ke dalam tajuk tegakan sagu sangat rendah. Kondisi kelembaban udara yang tinggi ini menggambarkan kandungan air di udara sangat tinggi, akibatnya kandungan air di dalam tanah tetap terjaga yang kemudian mengalir ke permukaan tanah dalam bentuk mata air tetap terjaga. Vasconcelos dan Sacht (2020) menyatakan bahwa vegetasi hutan dapat berperan dalam mempengaruhi iklim mikro. Dengan adanya tutupan kanopi berpengaruh terhadap penurunan suhu harian maksimum dan minimum serta mempersempit kisaran suhu harian. Dengan turunnya suhu harian, maka kehilangan air dari dalam tajuk mengalami pengurangan. Suhu udara yang rendah dapat menghambat penguapan air dari dalam tajuk, akibatnya jumlah air di permukaan tanah tetap terpelihara, kondisi air inilah yang kemudian menjadi sumber mata air.

Tumbuhan sagu memiliki nilai ekologis sangat penting dalam menjaga keseimbangan tata air lingkungan. Di kawasan Indonesia timur, khususnya Maluku dan Papua, sagu telah lama dikenal bukan hanya sebagai sumber pangan tradisional, tetapi juga sebagai tanaman konservasi yang mampu mempertahankan keberadaan sumber mata air. Kemampuan sagu tumbuh pada berbagai kondisi lahan dengan muka air tanah tinggi menjadikan tanaman ini

sangat berperan dalam sistem hidrologi kawasan tropis basah. Secara ekologis, sagu mampu menyerap, menyimpan, dan mengatur distribusi air dalam tanah sehingga keberadaan tegakan sagu sering dikaitkan dengan kestabilan debit mata air sepanjang tahun (Flach, 1997). Dalam ekosistem hidrologi, kawasan hutan sagu berfungsi sebagai daerah resapan air alami. Air hujan yang jatuh di kawasan vegetasi sagu akan tertahan oleh tajuk vegetasi, kemudian meresap perlahan ke dalam tanah melalui pori-pori tanah yang terbentuk akibat aktivitas akar dan organisme tanah. Proses infiltrasi tersebut membantu mengisi akuifer air tanah yang menjadi sumber utama mata air. Oleh sebab itu, kawasan sagu sering ditemukan berasosiasi dengan keberadaan mata air permanen di berbagai wilayah tropis basah (Notohadiprawiro & Louhenapessy, 1993). Suryana (2007) menyebutkan bahwa tumbuhan sagu mempunyai daya adaptasi yang tinggi pada daerah rawa-rawa dan lahan marginal yang tidak memungkinkan pertumbuhan optimal bagi tanaman pangan dan tanaman perkebunan, sehingga sagu dapat berperan sebagai tanaman konservasi. Tumbuhan sagu yang tumbuh disekitar mata air dapat berperan dalam melindungi dan melestarikan kelangsungan sumber mata air

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *literature review* atau studi kepustakaan untuk mengkaji potensi tumbuhan sagu (*Metroxylon spp.*) sebagai tanaman konservasi sumber mata air. Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, meliputi artikel jurnal nasional dan internasional, buku, prosiding seminar, laporan penelitian, serta dokumen ilmiah lain yang relevan dengan ekologi sagu, adaptasi lingkungan, sistem perakaran, bioindikator sumber air, iklim mikro, dan konservasi sumber daya air. Pengumpulan literatur dilakukan melalui penelusuran berbagai basis data ilmiah seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, dan sumber pustaka lainnya menggunakan kata kunci *sagu (Metroxylon spp.)*, *water conservation*, *spring conservation*, *hydrology*, *root system*, *microclimate*, dan *bioindicator*. Literatur yang dipilih merupakan publikasi yang memiliki keterkaitan langsung dengan tujuan penelitian dan membahas peran ekologis sagu dalam menjaga fungsi hidrologi lingkungan. Analisis data dilakukan secara deskriptif-kualitatif melalui tahapan identifikasi, seleksi, pengelompokan, dan sintesis informasi dari berbagai sumber pustaka. Data yang terkumpul kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi hubungan antara karakteristik ekologis sagu, kemampuan adaptasi lingkungan, fungsi sistem perakaran, pembentukan iklim mikro, serta perannya dalam menjaga keberlangsungan sumber mata air. Hasil sintesis literatur digunakan untuk menyusun kesimpulan mengenai potensi sagu sebagai tanaman konservasi sumber daya air di wilayah tropis.

HASIL DAN DISKUSI

Daya Adaptasi Tumbuhan Sagu

Tumbuhan sagu memiliki kemampuan adaptasi lingkungan sangat tinggi dibandingkan sebagian besar tanaman penghasil karbohidrat lainnya. Kemampuan adaptasi tersebut menjadikan sagu sebagai tanaman penting dalam sistem pertanian tropika basah, terutama di wilayah Maluku, Papua, dan kawasan Asia Tenggara lainnya. Adaptasi ekologis yang luas ini merupakan hasil interaksi antara karakter morfologi, fisiologi, anatomi, dan strategi reproduksi yang berkembang selama proses evolusi tanaman tersebut (Moshawih et al., 2025).

Secara biogeografis pusat distribusi utama tanaman sagu berada di kawasan Malesia, dengan konsentrasi populasi alami terbesar ditemukan di pulau Papua, Kepulauan Maluku, Sumatra bagian timur, serta sebagian wilayah semenanjung Malaysia dan Papua Nugini. Karakteristik habitat asli sagu dicirikan oleh kondisi jenuh air yang konstan, topografi rendah, kelembaban udara yang tinggi, serta fluktuasi pasang-surut air tawar maupun payau. Di lingkungan yang bagi sebagian besar tanaman terestrial dianggap ekstrem akibat cekaman anoksia, tanaman sagu justru mampu menunjukkan performa pertumbuhan yang optimal dan menghasilkan rendemen pati empulur yang melimpah (Bintoro, 2008). Menurut Moshawih et al. (2025) dikatakan bahwa dengan sebaran tumbuhan sagu yang begitu luas menunjukkan bahwa sagu memiliki kemampuan menyesuaikan diri terhadap variasi iklim, topografi, dan kondisi tanah yang cukup besar. Sagu ditemukan tumbuh mulai dari daerah pesisir hingga ketinggian lebih dari 700 meter di atas permukaan laut, meskipun pertumbuhan optimum umumnya terjadi pada dataran rendah yang lembab dan tergenang. Kemampuan luar biasa tumbuhan sagu untuk bertahan, tumbuh, berkembang, dan bereproduksi pada berbagai kondisi lingkungan marginal merupakan hasil dari proses adaptasi evolusioner yang berlangsung dalam waktu sangat panjang (Flach, 1997). Adaptasi tersebut tidak terjadi secara kebetulan, tetapi merupakan manifestasi dari sistem respons biologis yang kompleks dan terintegrasi yang melibatkan perubahan pada tingkat morfologi, anatomi, fisiologi, biokimia, hingga genetik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sagu mampu tumbuh pada lahan rawa, tanah gambut, daerah pasang surut, lahan masam, hingga wilayah yang mengalami fluktuasi ketersediaan air, kondisi yang umumnya menjadi faktor pembatas bagi banyak spesies tanaman budidaya lainnya (Ehara et al., 2018).

Pada tingkat morfologi, tumbuhan sagu memiliki struktur perakaran yang sangat khas dan berfungsi sebagai alat adaptasi utama terhadap kondisi tanah yang jenuh air. Sistem akar adventif yang berkembang luas memungkinkan tanaman memperoleh oksigen dan unsur hara meskipun berada pada substrat yang miskin aerasi (Jong, 2018). Akar-akar tersebut mampu

membentuk jaringan yang rapat sehingga meningkatkan stabilitas tanaman pada tanah rawa yang lunak dan sering mengalami perubahan muka air. Selain itu, pembentukan akar baru secara terus-menerus memungkinkan sagu menggantikan akar yang mengalami kerusakan akibat kondisi anaerobik berkepanjangan (Bintoro et al., 2018).

Adaptasi morfologi sagu lainnya terlihat pada batang sagu yang besar dan kokoh. Batang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan pati dalam jumlah sangat besar, yang dapat mencapai lebih dari 200 kg pati per pohon pada beberapa jenis yang telah dikenal potensial. Cadangan energi tersebut memberikan keuntungan ekologis yang besar karena memungkinkan tanaman tetap bertahan ketika terjadi gangguan lingkungan seperti banjir berkepanjangan, kekeringan musiman, atau keterbatasan unsur hara. Ehara et al. (2018) menyatakan bahwa penyimpanan pati dalam jumlah besar juga menjadi strategi reproduktif yang mendukung pembentukan bunga dan buah pada fase generatif.

Terkait dengan sifat daun, Melling et al. (2005) dan Konuma (2018) menyatakan bahwa daun sagu menunjukkan karakteristik adaptif yang penting. Pelepah daun yang tebal dan kuat mampu menopang helaian daun berukuran besar sehingga efisiensi penangkapan cahaya matahari tetap tinggi meskipun tumbuh dalam komunitas vegetasi yang rapat. Marschner (2012) dan Taiz et al. (2015) menyatakan bahwa lapisan kutikula yang relatif tebal membantu mengurangi kehilangan air melalui transpirasi, sementara susunan stomata yang efisien memungkinkan tanaman mengatur pertukaran gas sesuai kondisi lingkungan. Karakteristik tersebut menjadikan sagu mampu mempertahankan aktivitas fotosintesis pada kondisi kelembapan yang sangat tinggi maupun ketika mengalami cekaman kekeringan sementara.

Pada tingkat anatomi, menurut Armstrong et al. (1994) dan Bintoro et al. (2018) dikatakan bahwa sagu memiliki jaringan aerenkim yang berkembang baik pada akar dan bagian pangkal batang. Jaringan ini berfungsi sebagai saluran transportasi oksigen dari bagian tanaman yang berada di atas permukaan tanah menuju jaringan akar yang terendam air. Colmer (2003) menyatakan bahwa keberadaan aerenkim memungkinkan respirasi akar tetap berlangsung pada kondisi tanah anaerobik yang umumnya menyebabkan kematian akar pada banyak spesies tanaman lain. Mekanisme ini merupakan salah satu faktor utama yang menjelaskan kemampuan sagu mendominasi ekosistem rawa tropis.

Selain adaptasi struktural, sagu juga memiliki mekanisme fisiologis yang sangat efisien dalam menghadapi stres lingkungan. Menurut Abbas et al. (2009) dikatakan bahwa tumbuhan sagu mampu mengatur keseimbangan air melalui kontrol stomata yang responsif terhadap perubahan kelembapan dan ketersediaan air tanah. Ketika terjadi peningkatan tekanan lingkungan, stomata dapat menutup untuk mengurangi kehilangan air, sementara proses

fotosintesis tetap berlangsung melalui efisiensi penggunaan air yang tinggi. Kemampuan ini memungkinkan sagu tetap produktif pada daerah yang mengalami fluktuasi hidrologi ekstrem.

Dalam menghadapi kondisi tanah masam dan miskin unsur hara, sistem fisiologi akar sagu mampu meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa akar sagu memiliki kemampuan berasosiasi dengan mikroorganisme tanah yang membantu proses mineralisasi bahan organik serta meningkatkan ketersediaan unsur nitrogen dan fosfor. Adaptasi tersebut memungkinkan tanaman bertahan pada lahan gambut dan rawa yang memiliki tingkat kesuburan alami relatif rendah (Melling et al., 2005). Pada tingkat biokimia, sagu menunjukkan kemampuan menghasilkan berbagai senyawa metabolit yang berperan dalam toleransi terhadap cekaman lingkungan. Akumulasi senyawa osmoprotektan seperti prolin dan gula terlarut membantu menjaga tekanan osmotik sel ketika tanaman mengalami stres kekeringan atau salinitas. Senyawa tersebut berfungsi mempertahankan stabilitas membran sel dan aktivitas enzim sehingga metabolisme tanaman tetap berlangsung secara normal (Taiz et al., 2018; Konuma, 2018).

Kemampuan adaptasi sagu pada habitat rawa terutama didukung oleh sistem perakaran yang khas. Pada kondisi tanah tergenang, akar sagu mengalami modifikasi pertumbuhan dengan membentuk akar adventif yang berkembang dekat permukaan tanah atau air. Modifikasi ini memungkinkan akar memperoleh oksigen yang cukup meskipun lingkungan tanah mengalami kondisi anaerob akibat genangan berkepanjangan. Adaptasi tersebut merupakan salah satu faktor utama yang memungkinkan sagu tumbuh baik pada rawa permanen maupun rawa musiman (Ehara et al., 2018). Penelitian ekologi di Pulau Seram menunjukkan bahwa dalam kondisi genangan, sistem perakaran sagu mengalami perubahan arah pertumbuhan menuju lapisan tanah yang lebih kaya oksigen. Jumlah akar yang berkembang di bagian permukaan meningkat secara signifikan sehingga proses respirasi akar tetap berlangsung secara normal. Strategi ini menunjukkan adanya kemampuan plastisitas morfologi yang tinggi pada tumbuhan sagu. (Botanri et al., 2017). Selain adaptasi akar, batang sagu juga berperan penting dalam menghadapi kondisi lingkungan ekstrem. Batang sagu tersusun oleh jaringan parenkim yang mampu menyimpan air dan pati dalam jumlah besar. Cadangan tersebut berfungsi sebagai sumber energi selama tanaman mengalami tekanan lingkungan seperti kekeringan sementara, banjir, maupun fluktuasi ketersediaan unsur hara. Kapasitas penyimpanan pati yang besar menjadikan sagu lebih tahan terhadap perubahan kondisi lingkungan dibandingkan tanaman pangan tahunan lainnya (Singhal et al., 2008).

Selain itu Gill & Tuteja (2010) dan Taiz et al. (2018) menyatakan bahwa sistem antioksidan dalam jaringan sagu berperan penting dalam melindungi sel dari kerusakan akibat spesies oksigen reaktif (Reactive Oxygen Species/ROS) yang meningkat selama kondisi stres. Enzim seperti superoksida dismutase, katalase, dan peroksidase bekerja secara sinergis untuk menetralkan radikal bebas sehingga mencegah kerusakan protein, lipid, dan DNA. Mekanisme pertahanan biokimia ini menjadi faktor penting dalam menjaga stabilitas fisiologis tanaman selama menghadapi tekanan lingkungan yang berkepanjangan.

Menurut Flach (1997) dan Jong (2018) dikatakan bahwa kemampuan adaptasi sagu juga tercermin pada strategi reproduksinya. Produksi anakan atau sucker dalam jumlah banyak memungkinkan regenerasi populasi berlangsung secara berkelanjutan meskipun individu induk mengalami gangguan atau mati setelah berbunga. Sistem reproduksi vegetatif tersebut meningkatkan peluang kelangsungan hidup populasi pada habitat yang sering mengalami perubahan lingkungan. Dalam ekosistem alami, rumpun sagu dapat mempertahankan keberadaannya selama puluhan hingga ratusan tahun melalui pergantian generasi anakan secara terus-menerus.

Dari perspektif genetika, keragaman genetik yang tinggi pada populasi sagu di wilayah Asia Tenggara dan Melanesia memberikan dasar biologis yang kuat bagi kemampuan adaptasinya. Abbas et al. (2009) dan Ehara et al. (2018) menyatakan bahwa variasi genetik memungkinkan munculnya berbagai tipe sagu yang memiliki toleransi berbeda terhadap genangan, salinitas, tingkat keasaman tanah, maupun kondisi iklim tertentu. Keragaman tersebut merupakan hasil seleksi alam yang berlangsung selama ribuan tahun dan menjadi sumber daya genetik yang sangat berharga untuk pengembangan varietas unggul di masa depan. Inkronisasi antara siklus hidup sagu dengan dinamika lingkungan juga menunjukkan bentuk adaptasi ekologis yang sangat kompleks. Pertumbuhan vegetatif berlangsung dalam periode panjang yang memungkinkan akumulasi pati secara maksimal sebelum memasuki fase reproduktif. Strategi ini memastikan bahwa tanaman memiliki cadangan energi yang cukup untuk mendukung pembentukan bunga, buah, dan regenerasi populasi. Dengan demikian, keberhasilan reproduksi tidak hanya bergantung pada kondisi lingkungan sesaat, tetapi juga pada kemampuan tanaman mengelola sumber daya internal selama bertahun-tahun (Flach, 1997; Konuma, 2018).

Secara keseluruhan, daya adaptasi tumbuhan sagu merupakan hasil integrasi antara adaptasi morfologi, anatomi, fisiologi, biokimia, genetika, dan strategi reproduksi yang bekerja secara sinergis. Sistem adaptasi yang kompleks tersebut memungkinkan sagu menjadi salah satu spesies palma tropis paling tangguh di dunia, mampu bertahan pada berbagai habitat

marginal yang kurang sesuai bagi tanaman pangan lainnya. Kemampuan ini menjadikan sagu tidak hanya penting sebagai sumber pangan dan energi, tetapi juga sebagai komponen utama dalam konservasi ekosistem rawa tropis serta pengembangan pertanian berkelanjutan pada lahan-lahan marginal. Memahami seluruh dimensi daya adaptasi sagu secara komprehensif menjadi kunci fundamental dalam merancang strategi budidaya berkelanjutan serta pemanfaatan lahan basah tropis secara bijaksana. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sagu dapat tumbuh dengan baik pada tanah yang memiliki pH rendah, kandungan bahan organik tinggi, drainase buruk, serta kondisi genangan yang berlangsung sepanjang tahun. Kemampuan ini menjadikan sagu sebagai salah satu tanaman yang potensial untuk pemanfaatan lahan marginal dan lahan rawa yang belum termanfaatkan secara optimal (Botanri et al., 2011b).

Sagu sebagai Tumbuhan Indikator Sumber Air

Di berbagai wilayah Indonesia, khususnya di Papua, Maluku, Sulawesi, dan sebagian Kalimantan, keberadaan rumpun sagu sering dijadikan petunjuk alami oleh masyarakat lokal untuk mengidentifikasi lokasi yang memiliki ketersediaan air tanah tinggi atau sumber mata air yang relatif stabil sepanjang tahun. Hubungan ekologis yang kuat antara sagu dan kondisi hidrologi lingkungan menjadikan tumbuhan ini dapat berfungsi sebagai indikator biologis (bioindikator) keberadaan sumber air di suatu kawasan (Flach, 1997; Bintoro et al., 2018). Secara ekologis, sagu merupakan tumbuhan yang tumbuh optimal pada daerah dengan kelembapan tanah tinggi dan muka air tanah yang relatif dangkal. Ehara et al. (2018) menyatakan bahwa habitat alami tumbuhan sagu umumnya ditemukan pada rawa air tawar, daerah aluvial, cekungan lembah, dataran banjir, dan kawasan yang memperoleh suplai air secara terus-menerus dari aliran bawah permukaan. Kondisi tersebut menyebabkan distribusi alami sagu sering berkorelasi dengan keberadaan cadangan air tanah yang melimpah. Oleh karena itu, keberadaan tegakan sagu sering digunakan sebagai indikator alami bahwa suatu lokasi memiliki sistem hidrologi yang masih berfungsi dengan baik.

Menurut Jong (2018) dikatakan bahwa kemampuan sagu untuk tumbuh pada lahan yang jenuh air berkaitan erat dengan adaptasi morfologi dan fisiologinya. Sistem akar adventif yang berkembang luas memungkinkan tanaman memperoleh oksigen dan unsur hara meskipun sebagian besar akar berada pada kondisi tanah yang tergenang. Akar tersebut juga mampu mengikuti perubahan muka air tanah sehingga tanaman tetap memperoleh pasokan air yang cukup sepanjang siklus hidupnya. Karakteristik ini menyebabkan sagu lebih banyak ditemukan

pada wilayah yang memiliki ketersediaan air permanen dibandingkan daerah yang mengalami kekeringan berkepanjangan.

Dalam konteks hidrologi lanskap, keberadaan sagu sering menunjukkan lokasi dengan sistem resapan air yang baik. Air hujan yang meresap ke dalam tanah akan tersimpan dalam lapisan akuifer dangkal dan kemudian dimanfaatkan oleh akar sagu. Oleh karena itu, pertumbuhan rumpun sagu yang sehat dan produktif sering menjadi indikasi bahwa daerah tersebut memiliki kapasitas penyimpanan air yang tinggi. Sebaliknya, penurunan kesehatan tegakan sagu dapat menjadi tanda terjadinya gangguan hidrologi seperti penurunan muka air tanah, kerusakan daerah tangkapan air, atau perubahan penggunaan lahan yang mengurangi kemampuan infiltrasi tanah (Bintoro et al., 2018a).

Masyarakat adat di Maluku dan Papua telah lama memanfaatkan keberadaan sagu sebagai penunjuk lokasi sumber air. Dalam praktik tradisional, kawasan yang memiliki populasi sagu alami umumnya dianggap sebagai daerah yang aman untuk pengembangan permukiman karena ketersediaan air relatif terjamin sepanjang tahun. Pengetahuan lokal ini berkembang berdasarkan pengalaman empiris selama berabad-abad yang menunjukkan bahwa mata air, sungai kecil, dan aliran air bawah tanah sering ditemukan di sekitar habitat sagu (Matanubun et al., 2015). Keberadaan sagu juga berhubungan erat dengan proses pembentukan dan pemeliharaan daerah tangkapan air. Tajuk daun yang lebar berfungsi mengurangi energi kinetik butir hujan sehingga menekan erosi permukaan tanah. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah secara perlahan akan meresap ke dalam profil tanah dan meningkatkan pengisian kembali cadangan air tanah. Dengan demikian, keberadaan sagu tidak hanya menunjukkan adanya sumber air, tetapi juga berkontribusi aktif dalam menjaga keberlanjutan sumber air tersebut (Botanri et al., 2024).

Sistem perakaran sagu yang padat memiliki kemampuan meningkatkan porositas tanah. Ruang-ruang pori yang terbentuk akibat aktivitas akar memungkinkan infiltrasi air berlangsung lebih efektif dibandingkan lahan terbuka. Air yang meresap kemudian tersimpan dalam lapisan tanah dan dilepaskan secara perlahan ke lingkungan sekitar. Proses ini membantu mempertahankan debit mata air pada musim kemarau dan mengurangi limpasan permukaan saat musim hujan. Oleh karena itu, keberadaan hutan sagu sering dikaitkan dengan kestabilan rezim hidrologi suatu wilayah (Ehara et al., 2018). Pada ekosistem rawa, sagu berperan sebagai pengatur keseimbangan air. Vegetasi sagu mampu menyerap kelebihan air pada musim penghujan dan menyimpannya dalam biomassa serta lapisan tanah organik di sekitarnya. Pada saat kondisi lingkungan menjadi lebih kering, air tersebut secara bertahap dilepaskan kembali melalui proses evapotranspirasi dan aliran bawah permukaan. Mekanisme ini menjadikan

kawasan sagu berfungsi sebagai reservoir alami yang mendukung keberlangsungan sumber air lokal (Melling et al., 2005).

Hubungan antara sagu dan sumber air juga terlihat dari pola distribusinya dalam bentang alam. Banyak penelitian menunjukkan bahwa tegakan sagu alami cenderung berkembang mengikuti jalur aliran air, daerah cekungan, tepian sungai, dan kawasan dengan kandungan air tanah tinggi. Pola distribusi tersebut memungkinkan sagu digunakan sebagai bioindikator dalam pemetaan kawasan konservasi air dan identifikasi daerah resapan pada wilayah tropis basah (Flach, 1997). Sebagai bioindikator, sagu memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan beberapa indikator fisik karena mampu merefleksikan kondisi lingkungan dalam jangka panjang. Keberadaan tegakan sagu yang tumbuh baik menunjukkan bahwa ketersediaan air telah berlangsung stabil selama bertahun-tahun. Hal ini berbeda dengan genangan musiman yang hanya mencerminkan kondisi hidrologi sementara. Dengan demikian, keberadaan sagu memberikan informasi ekologis yang lebih komprehensif mengenai kualitas dan keberlanjutan sumber air suatu kawasan (Konuma, 2018).

Menurut Abbas et al. (2009) diatakan bahwa perubahan kondisi tegakan sagu juga dapat digunakan sebagai indikator dini terhadap degradasi lingkungan. Penurunan jumlah anakan, berkurangnya produktivitas, atau meningkatnya kematian individu dewasa sering berkaitan dengan perubahan sistem hidrologi akibat pembukaan lahan, penebangan hutan, pembangunan infrastruktur, maupun perubahan iklim. Oleh karena itu, pemantauan kondisi populasi sagu dapat menjadi bagian penting dalam sistem pemantauan kesehatan ekosistem daerah aliran sungai dan kawasan resapan air. Botanri et al. (2024) menyatakan bahwa dalam konteks konservasi, keberadaan sagu memberikan manfaat ganda sebagai indikator sekaligus pelindung sumber air. Tegakan sagu mampu mempertahankan struktur tanah, mengurangi erosi, meningkatkan infiltrasi, dan menjaga kelembapan lingkungan sekitar. Karena itu, konservasi sagu tidak hanya penting untuk menjaga keberlanjutan sumber pangan lokal, tetapi juga untuk melindungi sumber daya air yang menjadi penopang kehidupan masyarakat dan ekosistem.

Di Maluku dan Papua, banyak mata air yang tetap mengalir sepanjang tahun berada pada kawasan yang masih memiliki tutupan sagu alami. Fenomena ini menunjukkan bahwa keberadaan sagu dapat menjadi penanda ekologis yang efektif dalam identifikasi dan perlindungan kawasan sumber air. Dengan meningkatnya tekanan terhadap lahan akibat perubahan penggunaan lahan dan urbanisasi, pemanfaatan sagu sebagai bioindikator sumber air menjadi semakin relevan dalam perencanaan tata ruang dan pengelolaan sumber daya alam berkelanjutan (Matanubun et al., 2015; Ehara et al., 2018). Secara keseluruhan, sagu dapat dikategorikan sebagai tumbuhan indikator sumber air karena distribusi, pertumbuhan, dan

produktivitasnya sangat bergantung pada ketersediaan air tanah dan kestabilan sistem hidrologi. Keberadaan sagu tidak hanya menunjukkan adanya cadangan air yang memadai, tetapi juga berkontribusi dalam menjaga fungsi hidrologi lingkungan melalui peningkatan infiltrasi, konservasi tanah, dan pemeliharaan daerah resapan. Hasil riset Botanri et al. (2024) didapatkan bahwa tumbuhan sagu dapat dijadikan sebagai bioindikator untuk menjelaskan keberadaan sumber mata air. Oleh karena itu, pelestarian ekosistem sagu merupakan salah satu strategi penting dalam konservasi sumber daya air di wilayah tropis Indonesia.

Iklim Mikro dalam Tajuk Tegakan Sagu dan Kaitannya dengan Sumber Mata Air

Iklim mikro merupakan kondisi atmosfer lokal yang terbentuk pada ruang dan skala yang lebih kecil dibandingkan iklim regional. Faktor-faktor seperti suhu udara, kelembapan relatif, intensitas cahaya, kecepatan angin, serta suhu tanah berinteraksi membentuk lingkungan mikro yang khas di bawah suatu vegetasi. Pada ekosistem sagu, tajuk yang tersusun rapat mampu mengubah kondisi lingkungan di bawahnya sehingga berbeda dengan wilayah terbuka di sekitarnya. Perubahan tersebut meliputi penurunan suhu udara, peningkatan kelembapan relatif, pengurangan intensitas cahaya matahari, serta penurunan kecepatan angin. Faktor-faktor ini secara bersama-sama menciptakan lingkungan yang mendukung konservasi air dan keberlanjutan sumber mata air (Geiger et al., 2009).

Tegakan sagu umumnya memiliki tajuk yang lebar dengan panjang daun mencapai 6–10 meter dan tersusun membentuk lapisan penutup yang efektif. Struktur tajuk tersebut berfungsi sebagai penghalang radiasi matahari langsung yang mencapai permukaan tanah. Sebagian besar energi matahari diserap, dipantulkan, atau disebarkan oleh daun sebelum mencapai lapisan bawah vegetasi. Akibatnya, suhu udara di bawah tajuk sagu cenderung lebih rendah dibandingkan area terbuka, terutama pada siang hari ketika intensitas radiasi matahari berada pada tingkat maksimum (Flach, 1997; Bintoro et al., 2018b). Hasil penelitian Botanri et al. (2011b) ditemukan bahwa intensitas sinaran surya yang masuk ke tajuk tumbuhan sagu hanya sekitar 12.4 % dengan suhu udara sekitar 22,69 - 23,94°C dan kelembapan udara mencapai 91,13 %.

Penurunan suhu udara di bawah tegakan sagu merupakan salah satu karakteristik utama iklim mikro yang terbentuk. Kanopi yang rapat mampu mengurangi akumulasi panas pada permukaan tanah sehingga fluktuasi suhu harian menjadi lebih kecil. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang lebih stabil bagi organisme tanah maupun vegetasi bawah. Stabilitas suhu tersebut sangat penting di daerah tropis karena mampu mengurangi stres panas pada tanaman dan meningkatkan efisiensi berbagai proses fisiologis seperti fotosintesis dan respirasi

(Monteith & Unsworth, 2013). Selain memengaruhi suhu, tajuk sagu juga meningkatkan kelembapan udara di lingkungan sekitarnya. Proses transpirasi dari daun-daun sagu menghasilkan uap air yang dilepaskan ke atmosfer bawah tajuk. Karena sirkulasi udara di bawah kanopi relatif terbatas, uap air tersebut terakumulasi sehingga meningkatkan kelembapan relatif udara. Pada banyak kawasan sagu alami, kelembapan udara di bawah tajuk dapat mencapai lebih dari 80%, terutama pada pagi dan sore hari. Kondisi ini menciptakan lingkungan yang mendukung aktivitas mikroorganisme serta mempercepat dekomposisi bahan organik (Geiger et al., 2009; Melling et al., 2005).

Kelembapan tinggi yang terbentuk di bawah tegakan sagu juga berperan penting dalam menjaga keseimbangan air tanah. Udara yang lembap mengurangi laju evaporasi dari permukaan tanah sehingga kehilangan air ke atmosfer menjadi lebih kecil. Akibatnya, kandungan air tanah dapat dipertahankan lebih lama, terutama pada musim kemarau. Fenomena ini menjelaskan mengapa kawasan yang didominasi sagu sering memiliki kondisi tanah yang tetap lembap meskipun curah hujan mengalami penurunan sementara (Konuma, 2018). Intensitas cahaya yang masuk ke lantai hutan sagu mengalami penurunan yang cukup signifikan akibat intersepsi tajuk. Sebagian besar radiasi matahari diserap oleh daun untuk proses fotosintesis, sedangkan sisanya diteruskan dalam bentuk cahaya tersebar (*diffuse radiation*). Kondisi pencahayaan seperti ini menciptakan lingkungan yang sesuai bagi berbagai spesies tumbuhan toleran naungan yang tumbuh pada lapisan bawah vegetasi. Oleh karena itu, tegakan sagu sering mendukung terbentuknya komunitas tumbuhan bawah yang khas dan memiliki tingkat keanekaragaman tertentu (Rich et al., 1993; Bintoro et al., 2018b).

Peran tajuk sagu dalam mengatur cahaya juga berkaitan dengan efisiensi penggunaan energi oleh ekosistem. Daun-daun sagu yang tersusun secara spiral memungkinkan penyerapan radiasi matahari berlangsung secara optimal tanpa menyebabkan peningkatan suhu yang berlebihan pada lingkungan bawah tajuk. Mekanisme ini membantu menjaga keseimbangan antara kebutuhan energi untuk fotosintesis dan perlindungan terhadap tekanan panas yang dapat mengganggu fungsi fisiologis tanaman (Taiz et al., 2018). Kecepatan angin di bawah tegakan sagu umumnya lebih rendah dibandingkan area terbuka. Tajuk yang rapat berfungsi sebagai penghalang fisik yang mengurangi pergerakan massa udara. Penurunan kecepatan angin ini memiliki beberapa implikasi ekologis penting, antara lain mengurangi kehilangan air melalui *evapotranspirasi*, menjaga kestabilan suhu dan kelembapan udara, serta melindungi vegetasi bawah dari kerusakan mekanis akibat hembusan angin yang kuat. Dalam konteks konservasi tanah, berkurangnya kecepatan angin juga membantu mengurangi erosi pada permukaan tanah (Geiger et al., 2009).

Kondisi iklim mikro yang terbentuk di bawah tegakan sagu turut memengaruhi suhu tanah. Lapisan serasah yang berasal dari pelepah, daun, dan bagian tanaman yang gugur berfungsi sebagai mulsa alami yang melindungi permukaan tanah dari paparan langsung sinar matahari. Serasah tersebut mampu mengurangi fluktuasi suhu tanah dan mempertahankan kelembapan tanah dalam jangka waktu yang lebih lama. Lingkungan tanah yang stabil ini sangat mendukung aktivitas organisme dekomposer dan proses siklus unsur hara (Brady & Weil, 2017). Akumulasi bahan organik di bawah tegakan sagu menghasilkan kondisi tanah yang kaya karbon dan memiliki kapasitas menahan air yang tinggi. Bahan organik berperan meningkatkan agregasi tanah, memperbesar porositas, dan memperbaiki struktur tanah secara keseluruhan. Interaksi antara tanah yang kaya bahan organik dan iklim mikro yang lembap menciptakan lingkungan yang ideal bagi proses mineralisasi unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman sagu maupun vegetasi lainnya (Melling et al., 2005).

Iklim mikro yang terbentuk dalam tegakan sagu juga berpengaruh terhadap keanekaragaman hayati. Banyak jenis serangga, burung, reptil, amfibi, dan mikroorganisme memanfaatkan kondisi suhu dan kelembapan yang stabil sebagai habitat hidup. Tegakan sagu sering berfungsi sebagai tempat berlindung bagi berbagai fauna yang sensitif terhadap perubahan suhu ekstrem. Dengan demikian, iklim mikro yang terbentuk tidak hanya mendukung pertumbuhan tanaman, tetapi juga menjaga keseimbangan ekosistem secara keseluruhan (Matanubun et al., 2015). Dalam aspek hidrologi, iklim mikro tegakan sagu berperan dalam meningkatkan konservasi air. Tajuk yang rapat mampu mengintersepsi curah hujan sehingga air tidak langsung menghantam permukaan tanah. Sebagian air tertahan pada daun dan pelepah sebelum akhirnya menetes secara perlahan ke tanah. Proses ini mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Akibatnya, cadangan air tanah dapat dipertahankan lebih baik dibandingkan kawasan yang tidak memiliki tutupan vegetasi rapat (Asdak, 2023).

Kemampuan tegakan sagu dalam membentuk iklim mikro yang stabil menjadikan tanaman ini penting dalam mitigasi dampak perubahan iklim. Lingkungan yang lebih sejuk dan lembap dapat mengurangi efek peningkatan suhu lokal akibat pemanasan global. Selain itu, kemampuan sagu menyimpan karbon dalam biomassa dan bahan organik tanah turut berkontribusi dalam pengurangan konsentrasi karbon di atmosfer. Oleh karena itu, konservasi ekosistem sagu memiliki manfaat ekologis yang melampaui fungsi ekonominya sebagai sumber pangan (Ehara et al., 2018). Di wilayah Maluku dan Papua, masyarakat lokal telah lama menyadari bahwa kawasan sagu memberikan suasana lingkungan yang lebih sejuk dibandingkan lahan terbuka di sekitarnya. Pengetahuan tradisional tersebut sejalan dengan

hasil penelitian ilmiah yang menunjukkan bahwa tegakan sagu mampu menciptakan kondisi iklim mikro yang khas melalui interaksi antara tajuk, tanah, air, dan atmosfer. Kondisi ini menjadi salah satu alasan mengapa kawasan sagu sering berfungsi sebagai penyangga ekologis yang penting dalam menjaga keseimbangan lingkungan setempat (Matanubun et al., 2015). Salah satu karakteristik utama iklim mikro di bawah tegakan sagu adalah suhu udara yang lebih rendah dibandingkan lahan terbuka. Tajuk sagu menghalangi sebagian besar radiasi matahari yang mencapai permukaan tanah sehingga akumulasi panas berkurang. Kondisi yang lebih sejuk ini menyebabkan laju evaporasi dari permukaan tanah menjadi lebih rendah. Berkurangnya kehilangan air melalui penguapan memungkinkan lebih banyak air tersimpan di dalam tanah dan berkontribusi terhadap pengisian cadangan air tanah yang menjadi sumber bagi mata air di sekitarnya (Monteith & Unsworth, 2013).

Selain menurunkan suhu, tajuk sagu juga meningkatkan kelembapan udara melalui proses transpirasi. Air yang diserap akar dari dalam tanah dilepaskan ke atmosfer melalui stomata daun dalam bentuk uap air. Karena ruang di bawah kanopi relatif terlindung dari pergerakan angin yang kuat, uap air tersebut terakumulasi sehingga menciptakan kelembapan relatif yang tinggi. Kondisi ini mengurangi defisit tekanan uap air antara tanah dan atmosfer sehingga kehilangan air dari tanah dapat ditekan. Dengan demikian, kelembapan tanah tetap terjaga dan mendukung keberlangsungan aliran air bawah tanah yang memasok mata air (Taiz et al., 2018; Konuma, 2018).

Tajuk sagu juga berfungsi sebagai lapisan intersepsi hujan yang sangat efektif. Ketika hujan turun, sebagian air tertahan pada daun dan pelepah sebelum mencapai permukaan tanah. Air tersebut kemudian menetes secara perlahan sehingga energi kinetik tetesan hujan berkurang. Proses ini mencegah pemadatan tanah dan mengurangi erosi permukaan. Tanah yang tidak mengalami pemadatan memiliki kapasitas infiltrasi yang lebih tinggi sehingga lebih banyak air yang dapat meresap ke dalam tanah dan mengisi akuifer dangkal yang menjadi sumber mata air (Asdak, 2023). Keberadaan serasah yang melimpah di bawah tegakan sagu semakin memperkuat fungsi hidrologi tersebut. Daun, pelepah, dan bagian tanaman yang gugur membentuk lapisan organik yang menutupi permukaan tanah. Lapisan serasah ini berfungsi sebagai mulsa alami yang mampu menyerap dan menahan air hujan sebelum meresapkannya secara perlahan ke dalam tanah. Selain itu, serasah mengurangi evaporasi langsung dari permukaan tanah dan menjaga kelembapan tanah tetap stabil sepanjang tahun (Brady & Weil, 2017).

Sistem perakaran sagu memiliki kontribusi yang sangat besar terhadap pembentukan dan pemeliharaan sumber mata air. Akar-akar adventif yang berkembang luas menciptakan banyak pori makro di dalam tanah. Pori-pori tersebut menjadi jalur utama pergerakan air dari permukaan menuju lapisan tanah yang lebih dalam. Semakin tinggi porositas tanah, semakin besar kemampuan tanah menyimpan air dan mengisi kembali cadangan air tanah. Proses ini sangat penting dalam menjaga debit mata air, terutama pada musim kemarau ketika pasokan air dari hujan berkurang (Jong, 2018; Bintoro et al., 2018). Hubungan antara tegakan sagu dan sumber mata air dapat diamati pada pola distribusi alami tanaman ini. Di berbagai wilayah Maluku dan Papua, tegakan sagu sering ditemukan di sekitar lembah, daerah cekungan, kaki lereng, dan sepanjang alur sungai kecil yang memiliki pasokan air tanah tinggi. Lokasi-lokasi tersebut umumnya juga menjadi tempat munculnya mata air alami. Keberadaan sagu dalam jumlah besar sering dijadikan indikator bahwa kawasan tersebut memiliki sistem hidrologi yang baik dan cadangan air tanah yang cukup besar (Matanubun et al., 2015).

Iklim mikro yang terbentuk di bawah tegakan sagu juga berperan dalam menjaga kestabilan suhu tanah. Permukaan tanah yang terlindung dari sinar matahari langsung mengalami fluktuasi suhu yang lebih kecil dibandingkan lahan terbuka. Stabilitas suhu tanah membantu mempertahankan aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam dekomposisi bahan organik dan pembentukan struktur tanah yang baik. Struktur tanah yang stabil memiliki kapasitas infiltrasi dan retensi air yang lebih tinggi sehingga mendukung pembentukan cadangan air tanah yang berkelanjutan (Brady & Weil, 2017). Pada kawasan sumber mata air, keberadaan sagu sering berfungsi sebagai vegetasi pelindung. Tajuk yang rapat mampu menjaga kelembapan lingkungan sekitar mata air sehingga debit air lebih stabil sepanjang tahun. Selain itu, akar sagu membantu memperkuat struktur tanah di sekitar mata air dan mengurangi risiko longsor atau erosi yang dapat merusak sistem hidrologi setempat. Oleh karena itu, masyarakat tradisional di Maluku sering mempertahankan tegakan sagu di sekitar sumber mata air sebagai bentuk konservasi berbasis kearifan lokal (Matanubun et al., 2015).

Penelitian pada berbagai ekosistem rawa tropis menunjukkan bahwa kawasan yang masih memiliki tutupan vegetasi alami, termasuk sagu, umumnya memiliki kapasitas penyimpanan air yang lebih tinggi dibandingkan kawasan yang telah mengalami degradasi. Ketika tegakan sagu ditebang atau digantikan oleh penggunaan lahan lain, kondisi iklim mikro berubah secara drastis. Suhu meningkat, kelembapan menurun, evaporasi bertambah, dan infiltrasi air berkurang. Akibatnya, pengisian air tanah menjadi lebih rendah dan debit mata air cenderung mengalami penurunan (Melling et al., 2005; Konuma, 2018). Dalam konteks perubahan iklim global, fungsi iklim mikro tegakan sagu menjadi semakin penting. Peningkatan suhu udara dan

perubahan pola curah hujan dapat mengancam keberlangsungan sumber daya air. Tegakan sagu yang mampu menciptakan lingkungan lebih sejuk dan lembap berfungsi sebagai penyangga ekologis yang membantu mengurangi dampak perubahan iklim terhadap sistem hidrologi lokal. Dengan mempertahankan tutupan sagu, kapasitas daerah resapan air dapat tetap terjaga sehingga keberlanjutan mata air lebih terjamin (Ehara et al., 2018).

Keberadaan sagu di sekitar sumber mata air juga memiliki nilai sosial dan ekonomi yang tinggi. Selain menyediakan pati sebagai sumber pangan, tegakan sagu berfungsi menjaga ketersediaan air yang dibutuhkan masyarakat untuk konsumsi, pertanian, dan kebutuhan domestik lainnya. Dengan demikian, manfaat ekologis dan manfaat ekonomi dari sagu saling berkaitan dan memperkuat pentingnya konservasi ekosistem sagu di wilayah tropis basah Indonesia (Bintoro et al., 2018a). Secara keseluruhan, iklim mikro yang terbentuk dalam tajuk tegakan sagu berperan penting dalam menjaga keberlangsungan sumber mata air. Tajuk yang rapat menurunkan suhu udara, meningkatkan kelembapan, mengurangi evaporasi, dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Serasah dan sistem perakaran memperbesar kapasitas penyimpanan air tanah serta mendukung pengisian akuifer yang menjadi sumber mata air. Oleh karena itu, tegakan sagu dapat dipandang sebagai komponen kunci dalam konservasi sumber daya air, sekaligus sebagai indikator ekologis keberadaan kawasan yang memiliki cadangan air tanah yang baik.

Kemampuan Sistem Perakaran Sagu dalam Menyimpan Air

Tumbuhan sagu merupakan salah satu spesies palma tropis yang memiliki hubungan ekologis sangat erat dengan ketersediaan air. Di berbagai wilayah Indonesia, terutama di Maluku dan Papua, tegakan sagu sering ditemukan pada daerah yang memiliki muka air tanah dangkal, rawa air tawar, daerah aluvial, cekungan lembah, dan kawasan yang berdekatan dengan sumber mata air. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem perakaran sagu memiliki kemampuan yang sangat baik dalam memanfaatkan, menyimpan, dan mengelola air sehingga mendukung keberlangsungan fungsi hidrologi lingkungan. Oleh karena itu, sagu tidak hanya berfungsi sebagai tanaman penghasil pati, tetapi juga sebagai komponen penting dalam konservasi sumber daya air dan pemeliharaan sumber mata air alami (Ehara et al., 2018).

Sistem perakaran sagu terdiri atas akar serabut adventif yang tumbuh dari pangkal batang dan berkembang membentuk jaringan akar yang sangat luas. Berbeda dengan tanaman yang memiliki akar tunggang, akar sagu menyebar secara horizontal maupun vertikal sehingga mampu mengeksplorasi volume tanah yang besar. Pola penyebaran ini memungkinkan tanaman menyerap air dari berbagai lapisan tanah dan mempertahankan ketersediaan air bagi

kebutuhan fisiologisnya sepanjang tahun. Kemampuan tersebut menjadi salah satu faktor yang menjelaskan keberhasilan sagu tumbuh pada lingkungan yang mengalami fluktuasi hidrologi (Jong, 2018).

Akar sagu berperan penting dalam meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah. Ketika air hujan jatuh ke permukaan tanah, jaringan akar yang rapat menciptakan banyak saluran alami yang memudahkan air meresap ke dalam tanah. Air yang masuk melalui pori-pori tersebut kemudian tersimpan dalam lapisan tanah dan sebagian bergerak menuju akuifer dangkal. Semakin besar infiltrasi yang terjadi, semakin tinggi pula cadangan air tanah yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman dan menjadi sumber bagi mata air di sekitarnya (Asdak, 2023). Kemampuan sistem perakaran sagu dalam meningkatkan infiltrasi berkaitan erat dengan pembentukan struktur tanah yang baik. Aktivitas akar menyebabkan terbentuknya agregat tanah yang stabil dan meningkatkan porositas tanah. Tanah yang memiliki porositas tinggi mampu menyimpan lebih banyak air dibandingkan tanah yang padat. Selain itu, struktur tanah yang baik memungkinkan pergerakan air berlangsung secara perlahan sehingga kehilangan air akibat limpasan permukaan dapat diminimalkan. Dengan demikian, keberadaan akar sagu berkontribusi langsung terhadap peningkatan kapasitas penyimpanan air tanah (Brady & Weil, 2017).

Pada habitat rawa dan lahan gambut, sistem perakaran sagu menunjukkan adaptasi yang sangat khas. Akar-akar sagu mampu berkembang pada tanah yang jenuh air dan memiliki kandungan oksigen rendah. Keberadaan jaringan aerenkim memungkinkan oksigen dari bagian tanaman di atas permukaan tanah ditransportasikan menuju akar yang terendam. Adaptasi ini memungkinkan akar tetap aktif menyerap air dan unsur hara meskipun berada dalam kondisi anaerobik. Kemampuan tersebut menjadikan sagu sebagai salah satu tanaman yang sangat efektif dalam memanfaatkan cadangan air pada lahan basah tropis (Armstrong et al., 1994; Bintoro et al., 2018b). Sistem akar sagu juga berperan dalam mempertahankan kelembapan tanah melalui interaksinya dengan bahan organik. Tegakan sagu menghasilkan serasah dalam jumlah besar berupa daun, pelepah, dan bagian tanaman lainnya yang gugur ke permukaan tanah. Serasah tersebut mengalami dekomposisi dan membentuk lapisan bahan organik yang mampu menyerap serta menyimpan air dalam jumlah besar. Kombinasi antara sistem akar dan bahan organik menciptakan lingkungan tanah yang memiliki kapasitas retensi air tinggi, sehingga cadangan air tetap tersedia bahkan pada periode curah hujan rendah (Melling et al., 2005).

Hubungan antara sistem perakaran sagu dan sumber mata air terlihat jelas pada proses pengisian kembali air tanah (*groundwater recharge*). Air hujan yang meresap melalui tanah akan bergerak menuju lapisan akuifer dan tersimpan sebagai cadangan air bawah tanah. Cadangan ini kemudian dilepaskan secara perlahan melalui mata air yang muncul di permukaan. Dengan meningkatkan infiltrasi dan penyimpanan air, akar sagu membantu menjaga kontinuitas proses pengisian akuifer sehingga debit mata air dapat tetap stabil sepanjang tahun (Asdak, 2023). Di berbagai wilayah Maluku, masyarakat lokal telah lama mengamati bahwa mata air sering ditemukan di sekitar kawasan yang masih memiliki tegakan sagu alami. Fenomena tersebut tidak hanya berkaitan dengan kebutuhan air yang tinggi bagi pertumbuhan sagu, tetapi juga karena sistem perakarannya mampu mempertahankan fungsi hidrologi kawasan. Oleh sebab itu, keberadaan sagu sering digunakan sebagai indikator alami lokasi yang memiliki cadangan air tanah melimpah dan potensi sumber mata air yang baik (Matanubun et al., 2015).

Kemampuan akar sagu dalam menjaga sumber mata air juga berhubungan dengan kemampuannya mengurangi erosi tanah. Jaringan akar yang rapat mengikat partikel tanah sehingga mencegah terjadinya pengikisan akibat aliran permukaan. Stabilitas tanah yang terjaga memungkinkan proses infiltrasi berlangsung lebih efektif dan mencegah sedimentasi pada daerah resapan air. Dengan demikian, kualitas dan kuantitas air yang memasok mata air dapat dipertahankan dalam jangka panjang (Brady & Weil, 2017). Selain itu, sistem perakaran sagu membantu mempertahankan keseimbangan hidrologi melalui pengaturan aliran air dalam tanah. Sebagian air yang tersimpan di dalam tanah diserap oleh akar untuk mendukung proses fisiologi tanaman, sedangkan sebagian lainnya tetap tersimpan sebagai cadangan air bawah tanah. Mekanisme ini menciptakan keseimbangan antara penggunaan air oleh tanaman dan kebutuhan hidrologi ekosistem. Oleh karena itu, kawasan sagu umumnya memiliki kondisi kelembapan tanah yang lebih stabil dibandingkan lahan yang telah mengalami konversi menjadi area pertanian intensif atau permukiman (Ehara et al., 2018).

Peran sistem akar sagu dalam mendukung sumber mata air semakin penting pada era perubahan iklim. Perubahan pola curah hujan yang menyebabkan musim kering lebih panjang berpotensi mengurangi ketersediaan air tanah. Dalam kondisi tersebut, ekosistem sagu berfungsi sebagai penyangga hidrologi yang mampu menyimpan air selama musim hujan dan melepaskannya secara perlahan selama musim kemarau. Kemampuan ini membantu mempertahankan debit mata air dan mengurangi risiko kekeringan bagi masyarakat sekitar (Konuma, 2018). Pada kawasan pulau-pulau kecil seperti di Maluku, fungsi hidrologi sagu memiliki nilai strategis yang sangat tinggi. Pulau kecil umumnya memiliki cadangan air tanah

terbatas dan sangat bergantung pada daerah resapan untuk menjaga ketersediaan air tawar. Tegakan sagu yang tumbuh di sekitar daerah tangkapan air berkontribusi dalam meningkatkan infiltrasi, mengurangi limpasan permukaan, serta memperkuat pengisian akuifer. Oleh karena itu, pelestarian sagu menjadi bagian penting dari upaya konservasi sumber mata air pada pulau-pulau kecil (Botanri et al., 2024).

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa kawasan yang masih memiliki tutupan sagu alami cenderung memiliki kualitas lingkungan yang lebih baik dibandingkan kawasan yang telah mengalami degradasi. Hilangnya vegetasi sagu sering diikuti oleh peningkatan suhu tanah, penurunan kelembapan, berkurangnya infiltrasi, dan menurunnya debit mata air. Sebaliknya, kawasan dengan tegakan sagu yang terjaga menunjukkan kapasitas penyimpanan air yang lebih tinggi dan ketahanan yang lebih baik terhadap fluktuasi iklim (Botanri et al., 2022). Secara keseluruhan, sistem perakaran sagu memiliki kemampuan luar biasa dalam menyimpan air melalui peningkatan infiltrasi, pembentukan porositas tanah, stabilisasi struktur tanah, serta pemeliharaan kandungan bahan organik. Kemampuan tersebut mendukung proses pengisian akuifer dan menjaga keberlangsungan sumber mata air. Oleh karena itu, sagu dapat dipandang sebagai tanaman konservasi air yang tidak hanya memanfaatkan sumber daya air, tetapi juga berperan aktif dalam menciptakan, mempertahankan, dan melindungi sumber mata air yang menjadi penopang kehidupan masyarakat dan ekosistem tropis

KESIMPULAN

Tumbuhan sagu memiliki berbagai keunggulan dalam menyimpan air, meliputi daya adaptasi yang kuat untuk tumbuh sampai pada lahan marginal, sistem perakaran dalam menyimpan air dalam jumlah yang tinggi dan mendorong infiltrasi air hujan masuk ke dalam tanah yang besar, sifat kanopi tajuk yang padat dan tercipta iklim mikro yang bagus dalam menekan laju evaporasi dan mempertahankan kelembaban udara tetap tinggi, kondisi poulasi yang padat dengan jumlah anakan yang tinggi, dan keberadaan sagu sebagai bioindikator, jika terdapat sagu pasti ada air. Dalam konteks itu, maka tumbuhan sagu dapat dijadikan sebagai tanaman konservasi sumber mata air. Oleh karena itu dalam upaya untuk mempertahankan sumber mata air, maka disarankan untuk tetap mempertahankan tumbuhan sagu di area sekitar sumber mata air, jika jumlah populasinya menurun atau berkurang, seyogyanya dilakukan usaha-usaha peremajaan dan atau upaya pengkayaan populasinya, agar supaya sumber mata air tetap terpelihara untuk kepentingan jangka panjang

REFERENSI

- Abbas, B., Renwarin, Y., Bintoro, M. H., Sudradjat, & Surahman, M. 2009. Genetic diversity of sago palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) in Indonesia based on morphological characteristics and RAPD markers. *Biodiversitas*, 10(4), 168–174.
- Armstrong, W., Brändle, R., & Jackson, M. B. 1994. Mechanisms of flood tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica*, 43(4), 307–358. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1994.tb00756.x>
- Asdak, C. 2023. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* (Edisi Revisi). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Bintoro H.M.H. 2008. *Bercocok Tanam Sagu*. Bogor : IPB Press.
- Bintoro, M. H., Kainuma, K., & Flach, M. 2018a. *The Sago Palm: The Food and Environmental Challenge of the 21st Century*. Kyoto University Press.
- Bintoro, M. H., Ehara, H., & Flach, M. 2018b. *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods*. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9>
- Botanri, S. 2010. Distribusi Spasial, Autekologi, dan Biodiversitas Tumbuhan Sagu (*Metroxylon spp.*) di Pulau Seram, Maluku (Disertasi). IPB (Bogor Agricultural University).
- Botanri S, Setiadi D, Guhardja E, Qayim I, Prasetyo LB. 2011a. Habitat characteristics of sago palm (*Metroxylon spp.*) at the Seram island, Maluku. *Forum Pascasarjana* 34 (1): 33-44.
- Botanri S, Setiadi D, Guhardja E, Qayim I, Prasetyo LB. 2011b. Studi ekologi tumbuhan sagu (*Metroxylon spp.*) dalam komunitas alami di Pulau Seram, Maluku. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman* 8 (3): 135-145.
- Botanri, S., Uluputty, M. R., & Kamsurya, M. Y. 2017. Adaptasi Tanaman Sagu (*Metroxylon spp.*) Pada Lahan Marginal, Potensi Tegakan, dan Produksi Pati Sagu di Pulau Seram Provinsi Maluku. Makalah Disampaikan Pada Seminar Nasional Forum Kerjasama Perguruan Tinggi Pertanian Seluruh Indonesia (FKPTPI) Di Hotel Swissbell Ambon, 16–17.
- Botanri, S., Prasetyo, L.B., Kartono, A.P. & Syahbuddin, H. 2022. Penyebaran Spasial dan Potensi Tanaman Sagu (*Metroxylon spp.*) di Pulau Seram, Maluku. *Journal of Science and Technology*, Volume 3(1) : 55-67.
- Botanri, S., Uluputty, M. R., Kamsurya, M., Habi, M. L., Djumat, J. L., & Kaliky, F. 2024. Utilization of sago plants (*Metroxylon spp.*) as a bioindicator of water springs. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 25(4), 1682–1690. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d250438>
- Botanri, S., Kamsurya, M. 2026. Ekologi Tumbuhan Sagu (*Metroxylon spp.*). Penerbi KBM Indonesia, 249p.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. 2017. *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). New York: Pearson Education.
- Colmer, T. D. 2003. Long-distance transport of gases in plants: A perspective on internal aeration and radial oxygen loss from roots. *Plant, Cell and Environment*, 26(1), 17–36. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2003.00846.x>
- Ehara, H., Toyoda, Y., & Johnson, D. V. (Eds.). 2018. *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods*. Singapore: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9>
- Flach, M. 1997. Sago Palm: *Metroxylon sagu* Rottb. Promoting the Conservation and Use of Underutilized and Neglected Crops. Institute of Plant Genetics Flach M. 1983. *The Sago Palm Metroxylon sagu* Rottb. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nation.

- Geiger, R., Aron, R. H., & Todhunter, P. 2009. *The Climate Near the Ground* (7th ed.). Lanham, Maryland: Rowman & Littlefield Publishers.
- Gill, S. Singh & Tuteja, N. 2010. *Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants*. Plant Physiology and Biochemistry, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Jong, F. S. 2018. The sago palm and its genetic resources. Dalam H. Ehara, Y. Toyoda, & D. V. Johnson (Eds.), *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods* (pp. 31–48). Singapore: Springer.
- Konuma, H. 2018. Ecological adaptability and sustainability of sago palm cultivation. Dalam H. Ehara, Y. Toyoda, & D. V. Johnson (Eds.), *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods* (pp. 49–68). Singapore: Springer.
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). London: Academic Press.
- Matanubun, H., Maturbongs, R. A., Pattiselanno, F., & Bintoro, M. H. 2015. Traditional ecological knowledge and sustainable management of sago palm ecosystems in eastern Indonesia. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 7(4), 15–26.
- Melling, L., Goh, K. J., Beauvais, C., & Hatano, R. 2005. Carbon flow and productivity in tropical peatland ecosystems under sago palm cultivation. *Wetlands Ecology and Management*, 13(5), 451–461.
- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). *Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere* (4th ed.). Amsterdam: Elsevier.
- Moshawih, S., Kong, J. P. T., Goh, B. H., Renganathan, E., Goh, H. P., Goh, K. W., & Ming, L. C. (2025). *Exploring the nutritional, cultural, and industrial significance of Metroxylon sagu*. **Discover Food**, 5, 337. <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00638-6>
- Notohadiprawiro, T., & Louhenapessy, J.E. 1993. Potensi sagu dalam penganekaragaman bahan pangan pokok ditinjau dari persyaratan lahan. Di dalam : *Pemanfaatan dan Pengelolaan Hutan Sagu dalam Rangka Pengembangan Bagian Timur Wilayah Indoensia Khususnya Provinsi Maluku*. Prosiding Simposium Sagu Nasional; Ambon, 12-13 Oktober 1992. Ambon : Fakultas Pertanian Universitas Pattimura. hlm 99-106.
- Suryana A. 2007. Arah dan strategi pengembangan sagu di Indonesia. Makalah disampaikan pada Lokakarya Pengembangan Sagu Indonesia. Batam, 25-26 Juli 2007.
- Parmar TK, Rawtani D, Agrawal YK. 2016. Bioindicator: The natural indicator of environmental pollution. *Front Life Sci* 9 (2): 110-118. DOI: 10.3389/fenvs.2023.1146052.
- Rich, P. M., Clark, D. B., Clark, D. A., & Oberbauer, S. F. 1993. Long-term study of solar radiation regimes in a tropical wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 65(1–2), 107–127. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(93\)90055-O](https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90055-O)
- Silitonga, T. S., Sinaga, M., & Hasibuan, H. 2012. Studi toleransi sagu (*Metroxylon sagu* Rottb.) terhadap pH tanah dan kadar salinitas. *Jurnal Tanaman Tropika*, 13(1), 45–52. <https://doi.org/10.14710/jtt.13.1.45-52>
- Singhal, R. S., Kennedy, J. F., Gopalakrishnan, S. M., Kaczmarek, A., Knill, C. J., & Akmar, P. F. 2008. *Industrial production, processing, and utilization of sago palm-derived products*. *Carbohydrate Polymers*, 72(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.07.043>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. 2015. *Plant physiology and development*. Sinauer Associates, 6th ed., pp. 1–761. ISBN: 9781605352558

- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. 2018. *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Vasconcelos VV, Sacht HM. 2020. Influence of canopy on surface temperature. *RBGF* 13 (7): 3275-3286. DOI: 10.26848/rbgf.v13.07.p3275-3286.
- Yamamoto, Y., & Takeda, K. 2008. Growth characteristics and starch productivity of sago palm in different peatland conditions in Sumatra. *Journal of Peatland Studies*, 2(1), 34–41. <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0289-4>