

Agroforestri Garut dan Kapulaga Berbasis Sengon untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Hutan
(Sengon-Based Arrowroot and Cardamom in Agroforestry Systems to Increase Forest Land Productivity)

Dona Octavia^{1,2}, Nurheni Wijayanto^{3*}, Sri Wilarso Budi³, Sri Suharti² dan/and Irmanida Batubara⁴

¹Paskasarjana Program Studi Silviculture Tropika, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Jawa Barat, Indonesia, 16680, Telp. 0251-8626806

²Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Jalan Raya Jakarta-Bogor Km.46, Cibinong, Jawa Barat, Indonesia, 16911

³Departemen Silviculture, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Jawa Barat, Indonesia, 16680, Telp. 0251-8621667

⁴Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pusat Studi Biofarmaka Tropika, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Jawa Barat, Indonesia, 16680, Telp. 0251-8624567

*Email: nurheniw@apps.ipb.ac.id

Tanggal diterima: 15 Juni 2023; Tanggal disetujui: 10 Agustus 2023; Tanggal direvisi: 9 Oktober 2023

Abstract

The food crisis and climate change impact have increased the community's living needs. One effort to increase land productivity is through the implementation of agroforestry practices. This study aims to analyze the land productivity of agroforestry through a combination of sengon as the main tree with arrowroot and cardamom crops. The research used a split-plot design in a randomized complete block design. The main plot consists of planting patterns (sengon+arrowroot, sengon+cardamom, sengon+arrowroot+cardamom, monoculture sengon, arrowroot, and cardamom), while the sub-plots consist of doses of bokashi fertilizer (0, 250 and 500 g). Parameters measured included sengon height and diameter, production of arrowroot tubers, and cardamom fruits. The results showed that the three agroforestry cropping patterns produced not significantly different growth of sengon. The agroforestry cropping pattern produced a lower average fresh weight of arrowroot tubers of 6.17 tons ha⁻¹, and cardamom fruit of 0.83 tons ha⁻¹. The monoculture cropping pattern produced an average fresh weight of arrowroot tubers of 9.95 tons ha⁻¹ and cardamom fruits of 1.06 tons ha⁻¹. The land equivalent ratio for the three agroforestry cropping patterns is 2.08 to 2.44. The three agroforestry models can increase the productivity of forest land and prospectively applied in social forestry programs.

Keywords: Falcataria moluccana, Maranta arundinacea, Amomum cardamomum, land equivalent ratio, social forestry.

Abstrak

Krisis pangan dan dampak perubahan iklim telah meningkatkan kebutuhan hidup masyarakat. Salah satu upaya peningkatan produktivitas lahan melalui penerapan praktik agroforestri. Penelitian bertujuan menganalisis produktivitas lahan agroforestri melalui kombinasi tanaman pokok sengon dengan tanaman garut dan kapulaga. Penelitian menggunakan rancangan petak terbagi dalam rancangan acak kelompok. Petak utama berupa pola tanam (sengon+garut, sengon+kapulaga, sengon+garut+kapulaga, monokultur sengon, garut, dan kapulaga), sedangkan anak petak berupa dosis pupuk bokashi (0, 250 dan 500 g). Parameter yang diukur meliputi tinggi dan diameter sengon, produksi umbi garut dan buah kapulaga. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga pola tanam agroforestri menghasilkan pertumbuhan sengon yang tidak berbeda signifikan. Pola tanam agroforestri menghasilkan bobot segar rata-rata umbi garut yang lebih kecil dari pada monokultur yaitu produksi umbi garut 6,17 ton ha⁻¹ dan produksi buah kapulaga 0,83 ton ha⁻¹. Pola tanam monokultur garut menghasilkan umbi 9,95 ton ha⁻¹ dan monokultur kapulaga telah menghasilkan buah kapulaga 1,06 ton ha⁻¹. Nilai kesetaraan lahan ketiga pola tanam agroforestri antara 2,08-2,44. Ketiga model agroforestri tersebut dapat meningkatkan produktivitas lahan hutan dan prospektif diterapkan di program perhutanan sosial.

Kata kunci: *Falcataria moluccana*, *Maranta arundinacea*, *Amomum cardamomum*, nilai kesetaraan lahan, perhutanan sosial.

1. Pendahuluan

Pertambahan penduduk telah meningkatkan kebutuhan pangan masyarakat. Optimalisasi pemanfaatan sumber daya hutan sangat diperlukan. Lebih dari 50% desa yang ada di Indonesia berinteraksi erat dengan hutan di sekitarnya, 46% terletak di tepi kawasan hutan dan 4% berada di dalam kawasan hutan (BPS, 2020). Alih-guna lahan hutan menjadi perkebunan, pertanian atau peruntukkan lainnya berpotensi menimbulkan beragam masalah lingkungan (MOEFRI, 2022).

Perhutanan Sosial (PS) menjadi program penting pemerintah yang memberikan akses legal kepada masyarakat dalam memanfaatkan hutan negara, baik hutan produksi maupun hutan lindung. PS dimandatkan dalam Undang-Undang No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja, yang dapat meningkatkan kontribusi hutan dalam mendukung ketahanan pangan. Pengarusutamaan agroforestri dalam implementasi perhutanan sosial mendukung pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs). Agroforestri menjawab tujuan *SDGs* yaitu tanpa kemiskinan, tanpa kelaparan, penanganan perubahan iklim, dan ekosistem daratan. Agroforestri bisa berdampak positif secara ekologis dan ekonomis yang mampu menyediakan jasa lingkungan, mitigasi perubahan iklim, dan konservasi sumber daya alam (Octavia et al., 2022). Agroforestri menjadi teknik silvikultur dalam menjawab tantangan pengelolaan hutan berkelanjutan. Agroforestri yang berdekatan dengan areal pemukiman, berpotensi menurunkan laju deforestasi, degradasi hutan dan lahan, mengatasi masalah krisis pangan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Tomar et al., 2021). Delapan puluh enam persen komponen agroforestri merupakan sumber pangan berupa buah-buahan, sayuran, biji-bijian, umbi-umbian, rempah-rempah dan ternak (Afentina et al., 2021).

Optimalisasi dan peningkatan produktivitas lahan hutan sangat dibutuhkan sebagai upaya meningkatkan ketahanan pangan. Hal ini dapat dilakukan melalui diversifikasi agroforestri antara kelompok jenis vegetasi cepat tumbuh dengan tanaman pangan, rempah maupun obat. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian terhadap pola agroforestri pohon multiguna dengan tanaman pangan dan rempah.

Salah satu jenis legum cepat tumbuh adalah sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Barneby & J.W. Grimes), sedangkan dari kelompok tanaman pangan dan rempah/obat yang potensial dikembangkan diantaranya adalah garut (*Maranta arundinacea* Linn.) dan kapulaga (*Amomum cardamomum* Willd.). Jenis-jenis tersebut memiliki prospek yang baik karena adaptabilitas yang tinggi dan bernilai ekonomis. Sengon merupakan salah satu jenis tanaman pokok dalam agroforestri yang diminati petani karena merupakan jenis cepat tumbuh, mampu tumbuh pada lahan marjinal, mudah dibudidayakan dan kayu mudah laku dijual serta mampu meningkatkan kesuburan lahan dengan menyediakan hara nitrogen (Hani & Octavia, 2020).

Garut (*M. arundinacea*) merupakan salah satu tanaman pangan fungsional yang potensial dan sumber karbohidrat alternatif dengan indeks glikemik yang rendah dan bebas gluten (Oktafani et al., 2018). Garut bermanfaat untuk kesehatan, antara lain: mengandung prebiotik dan sebagai imunostimulan, menyehatkan saluran pencernaan, dapat menghambat penyakit degeneratif dan mencegah gangguan tumbuh kembang (*stunting*) pada anak (Harmayani et al., 2011).

Kapulaga (*A. cardamomum*) adalah jenis biofarmaka potensial dan bernilai ekonomi. Nilai ekspor kapulaga semakin meningkat hingga mencapai 6.248 ton atau hampir 8 juta dolar AS (Balitbangtan, 2020). Kapulaga disebut ratu rempah

(*Queen of spices*) karena memiliki beragam kegunaan, nilai manfaat serta kebutuhan yang sangat tinggi di seluruh dunia (Nair, 2020). Beberapa penelitian menemukan kandungan *1,8-sineol* pada kapulaga sebagai antivirus, antiinflamasi, antioksidan, dan antimikroba (Batubara et al., 2016). Tanaman kapulaga yang ditanam dengan pola agroforestri dapat meningkatkan metabolit sekunder senyawa *1,8-sineol* pada saat berkurangnya intensitas cahaya akibat adanya naungan.

Salah satu faktor pembatas utama dalam pertumbuhan tanaman di bawah tegakan adalah intensitas cahaya. Kerapatan kanopi menentukan intensitas cahaya yang dapat diterima tanaman di bawah naungan. Intensitas cahaya yang diterima tanaman di bawah naungan berpengaruh terhadap fotosintesis, yang berdampak pada produksi biomassa dan produktivitas hasil pada tanaman yang berada di bawah tegakan (Karubuy et al., 2020). Kapulaga membutuhkan naungan sepanjang hidupnya, toleran terhadap naungan 30-70% (Hani & Octavia, 2020), demikian juga garut yang toleran terhadap naungan berat lebih dari 50% (Oktafani et al., 2018; Octavia, 2023). Pemilihan jenis dengan pembagian sumber daya (*resource sharing*) yang tepat, akan menjadi kunci keberhasilan produksi tanaman di bawah tegakan pada pola tanam agroforestri.

Beberapa studi terhadap peningkatan produktivitas lahan agroforestri dari kombinasi 2 komponen (spesies) pohon sengon dengan tanaman semusim seperti sengon dengan kacang tanah, sengon dengan cabe merah keriting, dan sengon dengan garut memiliki nilai kesetaraan lahan lebih dari satu, yang menunjukkan bahwa produktivitas lahan pada pola tanam agroforestri lebih tinggi daripada monokultur (Swestiani & Purwaningsih, 2013; Rachman & Hani, 2014; Rohandi, 2018). Pemilihan jenis

adalah kunci utama keberhasilan agroforestri. Oleh karena itu, perlu dianalisis kombinasi spesies yang lebih beragam dalam agroforestri berbasis sengon untuk meningkatkan produktivitas lahan hutan dalam rangka mendukung ketahanan pangan dan program perhutanan sosial. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produktivitas lahan agroforestri dengan kombinasi jenis tanaman pokok sengon dengan tanaman garut dan kapulaga.

2. Metodologi

2.1. Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilakukan di areal Hutan Cikabayan Institut Pertanian Bogor, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Lokasi penelitian berada pada koordinat 106⁰42'59 LS dan 6⁰32'49" LU dengan ketinggian 100-200 meter di atas permukaan laut. Penelitian dilaksanakan selama 18 bulan, yaitu mulai Oktober 2021 sampai September 2022, dan pengambilan data lanjutan produktivitas kapulaga dilakukan pada Oktober 2022 sampai April 2023.

Bahan yang digunakan adalah tegakan sengon umur 3 tahun dengan jarak tanam 1,5 m × 1,5 m. Bibit (anakan) kapulaga yang digunakan jenis kapulaga lokal kultivar merah (varietas dewangga) yang memiliki 4-6 helai daun dengan tinggi 70-80 cm. Bibit diperoleh dari penangkaran kapulaga di Pamijahan, Kabupaten Bogor. Tanaman garut yang digunakan adalah kultivar *creol* dari bibit berupa umbi yang berasal dari Jawa Barat yaitu hasil seleksi fenotip dan genotip dari koleksi plasma nutfah (KPN) kebun percobaan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) di Subang, Jawa Barat.

2.2. Metode

2.2.1. Tahapan pelaksanaan

Penyiapan lahan berupa pengolahan/penggemburan tanah

dilakukan dua minggu sebelum penanaman. Selanjutnya, penyiapan lubang tanam dan pemberian pupuk kandang sebagai pupuk dasar. Pupuk kandang diberikan sebanyak 4 kg per lubang tanam kapulaga (30 cm × 30 cm × 30 cm) dan 4 kg per bedeng tanam garut (bedeng 5 m × 1 m dengan tinggi 15-20 cm). Dosis pupuk dasar mengacu kepada standar operasional prosedur budidaya organik kapulaga yaitu pemberian pupuk kandang sebesar 10-20 ton/ha yang setara dengan 5-10 kg per lubang tanam (Kementan, 2019). Pemberian pupuk bokashi sebagai perlakuan sebanyak 0 g (perlakuan kontrol), 250 g, dan 500 g diberikan 3 bulan dan 6 bulan setelah tanam. Pengukuran intensitas naungan tajuk sengon dilakukan sebelum penanaman menggunakan alat *light meter*.

Parameter yang diukur untuk tanaman pokok meliputi diameter setinggi dada dan tinggi total tanaman sengon. Pengukuran tinggi pohon dari pangkal batang hingga pucuk tertinggi menggunakan *haga hypsometer*. Diameter diperoleh melalui konversi data pengukuran keliling pohon menggunakan *phi-band*. Intensitas naungan diukur dengan menggunakan 2 unit *light meter*, masing-masing diletakkan di bawah naungan tajuk sengon dan pada lahan terbuka. Nilainya dibaca secara bersamaan sebanyak 5 ulangan untuk mendapatkan persentase intensitas cahaya matahari melalui perbandingan intensitas cahaya di bawah naungan dengan di areal terbuka (Octavia, 2010). Intensitas naungan diperoleh melalui 100% dikurangi persentase intensitas cahaya. Pengukuran produksi umbi garut dilakukan pada saat panen umur 9 bulan, dan produksi buah kapulaga pada umur 18 bulan dengan menimbang bobot umbi dan buah segar per rumpun pada setiap plot perlakuan. Kegiatan silvikultur dalam praktik agroforestri diterapkan guna perawatan tanaman meliputi

penyiangan/pembersihan gulma dan pendangiran/penggemburan tanah setiap bulan sekali, serta pengendalian hama dan penyakit apabila dijumpai gangguan.

Pengumpulan data pendukung meliputi analisis sifat fisik dan kimia tanah yang berperan penting memengaruhi pertumbuhan tanaman meliputi pH, karbon (C) organik, nitrogen (N), fosforus (P), kapasitas tukar kation (KTK), porositas, dan tekstur tanah dilakukan sebelum penanaman. Unsur hara N dan porositas tanah juga dianalisis setelah 10 bulan penanaman. Pengukuran suhu dan kelembaban dilakukan secara periodik setiap minggu, dan data curah hujan diperoleh dari pusat basis data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) (<https://dataonline.bmkg.go.id>).

2.2.2. Rancangan penelitian

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Petak Terbagi. Pola tanam sebagai petak utama, terdiri atas 6 taraf, yaitu: (1) SG = sengon+garut; (2) SK = sengon+kapulaga; (3) SGK = sengon+garut+kapulaga; (4) MS = monokultur sengon; (5) MG = monokultur garut; (6) MK = monokultur kapulaga. Dosis pupuk bokashi merupakan anak petak, yang terdiri atas 3 taraf (B1 = 0 g, B2 = 250 g, dan B3 = 500 g), dalam 3 blok sebagai replikasi (Mattjik & Sumertajaya, 2013). Rancangan lingkungan menggunakan acak kelompok dengan penanaman langsung di bawah tegakan sengon.

Setiap unit pengamatan berada pada luasan berukuran 3 m x 3 m = 9 m² yang terdiri atas 16 bibit (anakan) kapulaga dan/atau tanaman garut, pada areal agroforestri dikombinasi dengan 4 pohon sengon (Gambar 1). Tegakan sengon memiliki jarak tanam 1,5 m x 1,5 m dan antara dua jalur 1,5 m x 3 m. Total unit pengamatan terdiri dari 144 pohon sengon, 360 bibit (anakan) tanaman kapulaga dan

360 tanaman garut. Rancangan percobaan menghasilkan 18 kombinasi perlakuan dengan 54 plot percobaan.

Metode analisis yang digunakan untuk evaluasi produktivitas lahan pada pola agroforestri dengan pengukuran nilai kesetaraan lahan (NKL) atau *Land Equivalent Ratio* (LER). Nilai LER adalah perbandingan hasil antara tanaman polikultur (agroforestri) terhadap hasil tanaman monokultur pada tingkat manajemen lahan yang sama. Nilai LER lebih besar dari satu menunjukkan bahwa produktivitas lahan agroforestri lebih tinggi daripada monokultur. LER menjadi indikator yang berguna untuk menggambarkan keuntungan produktivitas dalam penerapan agroforestri yang dihitung menggunakan formula sebagai berikut (van Noordwijk et al., 2018):

$$LER = \sum \frac{Y_i^I}{Y_i^M}$$

LER sengon – kapulaga = $S_i/S_m + K_i/K_m$

LER sengon – garut = $S_i/S_m + G_i/G_m$

LER sengon – kapulaga – garut = $S_i/S_m + K_i/K_m + G_i/G_m$

Keterangan (*Remarks*):

YI = Produksi atau pertumbuhan dari area penanaman pola agroforestri (*Yield Intercropping*)

YM = Produksi atau pertumbuhan dari area penanaman pola monokultur di lahan yang sama (*Yield monoculture*)

Si = Pertumbuhan (tinggi dan diameter) sengon dari suatu unit area dengan pola agroforestri (cm) (*Increase in height and diameter of sengon in an area using agroforestry pattern*)

Sm = Pertumbuhan (tinggi dan diameter) sengon dari suatu unit area monokultur di lahan yang sama (cm) (*Increase in height and diameter of sengon in the same area using monoculture pattern*)

Ki = Produksi buah kapulaga dari suatu unit area dengan pola agroforestri (ton/ha) (*Cardamom fruit production from an area using agroforestry pattern*)

Km = Produksi buah kapulaga dari suatu unit

area monokultur di lahan yang sama (ton/ha) (*Cardamom fruit production from the same area using monoculture pattern*)

Gi = Produksi umbi garut dari suatu unit area dengan pola agroforestri (ton/ha) (*Arrowroot tuber production from an area using agroforestry pattern*)

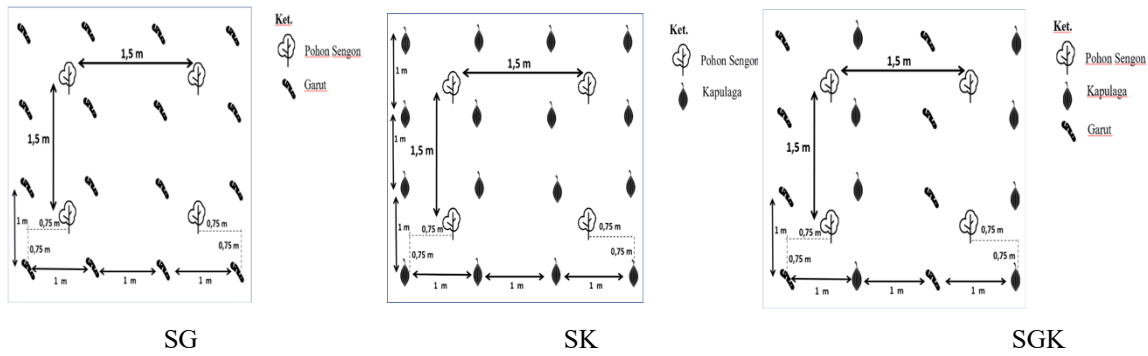
Gm = Produksi umbi garut dari suatu unit area monokultur di lahan yang sama (ton/ha). (*Arrowroot tuber production from the same area using monoculture pattern*).

3.1.1. Pertumbuhan sengon

Pertumbuhan sengon dianalisis berdasarkan pertambahan tinggi dan diameter dalam jangka waktu 10 bulan, untuk setiap perlakuan pola tanam (Tabel 2).

Tabel 2 menunjukkan bahwa pertambahan tinggi dan diameter sengon selama periode pengamatan (10 bulan) tidak berbeda signifikan antara pola tanam agroforestri (*intercropping*) dengan tanaman garut, kapulaga, maupun kombinasi tanaman garut dan kapulaga. Intensitas naungan *F. moluccana* pada umur 3-4 tahun berkisar antara 51,5-82,1%, atau rata-rata sebesar 65,5%. Sengon tumbuh baik di lokasi penelitian pada tanah bertekstur liat dengan kandungan liat berkisar 54-60% dan dengan kondisi lahan yang subur. Hasil analisis status kesuburan tanah disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kondisi pH agak asam hingga asam, nilai kapasitas tukar kation (KTK) kategori sedang, kandungan C-organik tergolong tinggi, P tersedia sedang, N total kategori sedang dan meningkat menjadi 0,34 setelah 10 bulan tanam. Hal ini dapat terjadi karena telah diberikan pupuk organik sebanyak 4 kg per lubang tanam. Porositas tanahnya juga meningkat yang berimplikasi pada berkurangnya kepadatan tanah (*bulk density*).



SG	SK	SGK	MS	MG	MK	SK	SG	SGK	MG	MK	MS	SK	MS	SG	SGK	MK	MG
B1	B2	B3	B2	B3	B1	B1	B2	B3	B2	B3	B1	B1	B2	B3	B2	B3	B1
B2	B3	B2	B1	B1	B3	B2	B3	B2	B1	B1	B3	B2	B3	B2	B1	B1	B3
B3	B1	B1	B3	B2	B2	B3	B1	B1	B3	B2	B2	B3	B1	B1	B3	B2	B2

Blok I

Blok II

Blok III

Keterangan (Remarks): SG = Sengon dengan garut (*Sengon with arrowroot*), SK = Sengon dengan kapulaga (*Sengon with cardamom*), SGK = Sengon dengan garut dan kapulaga (*Sengon with arrowroot and cardamom*), MS = Monokultur sengon (*Sengon monoculture*), MG = Monokultur garut (*Arrowroot monoculture*), MK = Monokultur kapulaga (*Cardamom monoculture*), B1 = 0 g, B2 = 250 g, dan (and) B3 = 500 g

Gambar (Figure) 1. Bentuk pola tanam agroforestri (*Agroforestry planting pattern*)

Tabel (Table) 1. Analisis keragaman pertumbuhan dan produktivitas pada berbagai pola tanam, dosis pupuk, dan interaksinya (*Analysis of variance for growth and productivity in various planting patterns, fertilizer doses, and their interactions*)

Parameter (Parameters)	Perlakuan (Treatments)		
	Pola tanam (Planting pattern)	Dosis pupuk (Fertilizer dose)	Interaksi (Interaction)
Tinggi sengon (<i>Height of sengon</i>)	0,5254 ^{tn}	0,7670 ^{tn}	0,4124 ^{tn}
Diameter sengon (<i>Diameter of sengon</i>)	0,3581 ^{tn}	0,7723 ^{tn}	0,9977 ^{tn}
Produksi umbi garut (<i>Arrowroot tuber yield</i>)	<,0001*	0,5296 ^{tn}	0,1892 ^{tn}
Produksi buah kapulaga (<i>Cardamom fruit yield</i>)	0,0025*	0,1272 ^{tn}	0,1365 ^{tn}

Keterangan (Remarks): * = Berbeda nyata pada taraf 5% (*Significantly different at level of 5%*)
^{tn} = Tidak berbeda nyata pada taraf 5% (*Not significantly different at level of 5%*)

Tabel (Table) 2. Pertambahan tinggi dan diameter sengon selama 10 bulan pada pola tanam agroforestri dan monokultur (*Increase in height and diameter of sengon for 10 months on agroforestry and monoculture patterns*)

Perlakuan (Treatment)	Pertambahan tinggi (m) (Increase in height) (m)	Pertambahan diameter (cm) (Increase in diameter) (cm/)
1. Agroforestri sengon+garut (AF-SG) (Intercropping of sengon+arrowroot)	3,24	2,06
2. Agroforestri sengon+kapulaga (AF-SK) (Intercropping of sengon+cardamom)	3,25	2,15
3. Agroforestri sengon+garut+kapulaga (AF-SGK) (Intercropping of engon+arrowroot+cardamom)	3,40	2,18
4. Monokultur sengon (Monoculture of sengon)	3,07	1,75

Keterangan (Remark): Nilai rata-rata tidak diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu kolom (tidak berbeda nyata, $P > 0,05$) (Mean values are not followed by different letters within a column (not significantly different, $P > 0.05$). Nilai rata-rata yang dicetak tebal merupakan nilai tertinggi diantara perlakuan (The mean value in bold is the highest value among treatments).

Tabel (Table) 3. Status kesuburan tanah sebelum dan setelah penanaman (*The soil fertility status before and after planting*)

Kondisi(Condition)	pH H ₂ O	KTK (cmol/kg)	C-org (%)	N _{total}	P _{tersedia} (P _{available}) (mg/kg)	Porositas (Porosity) (%)
1. Sebelum (Before)	4,6-6,4	16,1-18,4	3,1	0,27	14,95	56,7
2. Setelah (After)	-	-	-	0,34	-	58,4

Keterangan (Remark): -- Data tidak tersedia (Data not available)

3.1.2. Produksi umbi garut dan buah kapulaga

Produksi umbi garut dianalisis berdasarkan berat umbi yang dipanen pada usia 9 bulan setelah tanam, sedangkan produksi buah kapulaga dianalisis berdasarkan berat buah segar (basah) yang dihasilkan dalam jangka waktu 9 bulan pengamatan, untuk masing-masing perlakuan pola tanam (Tabel 4).

Tabel 4 menunjukkan bahwa untuk kedua jenis tanaman semusim (garut dan kapulaga), pola monokultur menghasilkan produksi umbi garut dan buah kapulaga tertinggi dibandingkan produksi dari ketiga pola agroforestri lainnya. Dalam penelitian ini, kapulaga dan garut tumbuh dengan baik pada ketinggian 155-175 mdpl, suhu rata-rata 28,9 °C dan kelembaban udara 79,5%, intensitas cahaya berkisar 6.200 - 49.600 lux. Curah

hujan bulanan rata-rata tergolong tinggi 306,2 mm/bulan, dengan curah hujan bulanan tertinggi yaitu di bulan Oktober sebesar 566,4 mm/bulan pada tahun 2021 dan 499,6 mm/bulan pada tahun 2022, serta curah hujan tahunan 3.480,7 mm/tahun (BMKG, 2023) (Gambar 2).

Selama penelitian tidak dilakukan penyiraman karena frekwensi dan intensitas curah hujan cukup tinggi. Sebaliknya, penyiangan rutin dilakukan 1-2 kali sebulan untuk pembersihan gulma yang lebih cepat tumbuh akibat sering tersiram air hujan.

3.1.3. Produktivitas lahan

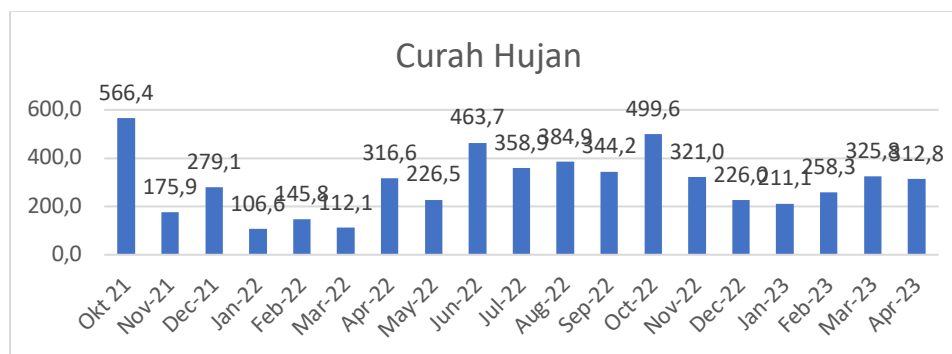
Nilai LER untuk ketiga model agroforestri yang dibangun dan masing-masing monokulturnya disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa ketiga model agroforestri (SG, SK dan

SGK) menghasilkan nilai LER lebih besar dari satu.

Tabel (Table) 4. Produksi umbi garut dan buah kapulaga setiap pola tanam dalam kondisi berat basah (*Yield of arrowroot tuber and cardamom fruit each planting pattern in fresh weight condition*)

Pola tanam (<i>Planting pattern</i>)	Produksi (ton/ha) <i>Yield (ton/ha)</i>	
	Umbi garut (<i>Arrowroot Tuber</i>)	Buah kapulaga (<i>Cardamom Fruit</i>)
1. Agroforestri sengon+garut (<i>Intercropping of sengon+arrowroot</i>)	6,17 b	-
2. Agroforestri sengon+kapulaga (<i>Intercropping of sengon+cardamom</i>)	-	0,83 a
3. Agroforestri sengon+kapulaga+garut (<i>Intercropping of sengon-cardamom-arrowroot</i>)	5,53 b	0,48 b
4. Monokultur garut (<i>Monoculture of arrowroot</i>)	9,95 a	-
5. Monokultur kapulaga (<i>Monoculture of cardamom</i>)	-	1,06 a

Keterangan (*Remark*): Nilai rata-rata yang diikuti dengan huruf yang berbeda dalam satu kolom (berbeda signifikan pada $p < 0,05$) menunjukkan bahwa perlakuan memberikan pengaruh yang berbeda nyata (*Mean values are followed by different letters within a column (significantly different at $p < 0.05$) which indicate that the treatment has a significantly different effect*). Nilai rata-rata yang dicetak tebal merupakan nilai tertinggi diantara perlakuan (*The mean value in bold is the highest value among treatments*)



Sumber (*Source*): BMKG, 2023

Gambar (Figure) 2. Curah hujan bulanan selama pertumbuhan (*Monthly rainfall during growth period*)

Tabel (Table) 5. Nilai Kesetaraan Lahan (NKL) agroforestri dan monokultur sengon, garut dan kapulaga (*Value of Land Equivalent Ratio (LER) in agroforestry and monoculture area of Sengon, Arrowroot and Cardamom*)

Pola Tanam Agroforestri (<i>Agroforestry Planting Pattern</i>)	Produksi (<i>Yield</i>)		NKL (<i>LER</i>)
	Agroforestri (<i>Agroforestry</i>)	Monokultur (<i>Monoculture</i>)	
1. Sengon+Garut (SG)			
a. Sengon (<i>F.moluccana</i>)	3,00 m ³	2,05 m ³	1,46
b. Garut (<i>Arrowroot</i>)	6,17 ton ha ⁻¹	9,95 ton ha ⁻¹	0,62
			LER = 2,08
2. Sengon+Kapulaga (SK)			
a. Sengon (<i>F.moluccana</i>)	3,28 m ³	2,05 m ³	1,60
b. Kapulaga (<i>Cardamom</i>)	0,83 ton ha ⁻¹	1,06 ton ha ⁻¹	0,78
			LER = 2,38
3. Sengon+Garut+Kapulaga (SGK)			
a. Sengon (<i>F.moluccana</i>)	3,53 m ³	2,05 m ³	1,72
b. Garut (<i>Arrowroot</i>)	5,53 ton ha ⁻¹	9,95 ton ha ⁻¹	0,28
c. Kapulaga (<i>Cardamom</i>)	0,47 ton ha ⁻¹	1,06 ton ha ⁻¹	0,44
			LER = 2,44

Keterangan (*Remarks*): NKL = Nilai Kesetaraan Lahan (*LER = Land Equivalen Ratio*)

2.3. Pembahasan

3.2.1. Pertumbuhan sengon

Pertumbuhan sengon tertinggi dihasilkan pada pola agroforestri sengon+garut+kapulaga (SGK). Hal ini dapat terjadi karena perbedaan tipe perakaran pohon yang lebih dalam dengan akar garut dan kapulaga yang lebih dangkal dapat mengurangi kompetisi unsur hara pada pohon sengon. Di samping itu, terciptanya interaksi positif antar tanaman di mana kompetisi terhadap penggunaan unsur hara yang sama dapat diminimalkan dari ketiga spesies yang berbeda, dikarenakan kebutuhan jumlah unsur hara yang berbeda pada setiap tanaman. Pemeliharaan tanaman garut dan kapulaga di bawah tegakan sengon secara tidak langsung juga memberikan manfaat positif bagi pertumbuhan pohon sengon dalam praktik agroforestri. Pemupukan, penyiangan, pendangiran yang dilakukan pada tanaman bawah akan menjadikan tanah lebih gembur, meningkatkan unsur hara tanah, mengurangi kepadatan tanah, yang sinergis mendukung perkembangan akar dan pertumbuhan pohon sengon. Swestiani & Purwaningsih (2013) juga

menyebutkan bahwa produksi menurun pada plot monokultur di lokasi penelitiannya karena terjadi pemadatan tanah.

Pola tanam agroforestri menjadi pilihan yang terbaik, apabila tujuan utama pengusahaan lahan berfokus pada hasil kayu sengon. Studi lainnya pada pohon karet juga membuktikan bahwa agroforestri berpengaruh signifikan terhadap peningkatan pertumbuhan. Pohon karet dengan perlakuan agroforestri dapat disadap lima bulan lebih awal daripada pohon karet pola monokultur, sehingga mengurangi fase tidak produktif pada pohon (Sahuri, 2020).

Keberadaan pohon dalam sistem agroforestri berperan penting dalam mempertahankan kesuburan tanah melalui aktivitas perakaran dan input serasah. Di samping itu, interaksi positif dalam agroforestri juga terjadi di mana perakaran pohon yang dalam, mampu berperan sebagai “jaring pengaman hara” melalui mekanisme penyerapan unsur hara yang tidak dapat terserap oleh tanaman pangan berakar dangkal di lapisan tanah bawah selama musim tanam. Akar pohon yang

dalam berperan sebagai “pompa hara” yang memindahkan hara dari lapisan bawah ke lapisan atas sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman semusim yang berakar dangkal (Allen et al., 2004).

Hasil studi mengungkapkan bahwa agroforestri kompleks dan lahan hutan alam memiliki kualitas sifat fisik tanah yang serupa, yang memiliki struktur, porositas dan *bulk density* yang lebih baik (Briliawan et al., 2022). Perakaran pohon yang dalam juga berperan penting sebagai ‘jaring pengaman’ untuk menangkap unsur hara terutama N yang mudah terlindi (*leaching*) akibat hujan (Allen et al., 2004). Peningkatan kandungan N juga didukung oleh serasah daun sengon. Keberadaan pohon legum penting dalam agroforestri, dapat meningkatkan ketersediaan N untuk tanaman dan resiko kehilangan N akibat pencucian yang lebih rendah (Formaglio et al., 2023). Studi lain mengungkapkan bahwa produksi serasah dari agroforestri di hutan rakyat yang didominasi jenis pohon legum dapat menambah unsur hara dalam tanah sebesar 80,56 kg N; 3,50 kg P; dan 14,73 kg K per hektar jika terdekomposisi sempurna selama 6 bulan (Salim & Budiadi, 2014).

3.2.2. Produksi buah kapulaga dan umbi garut

Kesesuaian tempat tumbuh dan karakteristik lahan untuk jenis yang dipilih dalam agroforestri merupakan hal penting yang harus diperhatikan karena akan memengaruhi produktivitas tanaman. Di dalam penelitian ini, kesesuaian tempat tumbuh yang mencakup aspek klimatik (curah hujan, suhu dan kelembaban udara), geografis (kondisi lingkungan dan ketinggian tempat), dan edafik (kondisi tanah) mendukung pertumbuhan garut dan kapulaga. Kapulaga cocok ditanam di tanah yang subur, gembur, pada berbagai ketinggian. Kriteria lahan yang sesuai yaitu memiliki ketinggian kurang dari 700

mdpl (untuk kapulaga lokal), dengan curah hujan 2.000-4.100 mm/tahun. Kapulaga tumbuh optimal di bawah naungan pada suhu 20-30°C, kelembaban udara 40-75%, iklim yang kering namun sejuk, dengan intensitas cahaya tidak terlalu tinggi, berkisar 30-70% (Hani & Octavia, 2020).

Demikian juga dengan garut, mampu hidup di bawah naungan berat, tumbuh baik di daerah tropis pada ketinggian 0-1.350 mdpl, suhu 20-30°C, dan kelembaban udara 40-72%, dengan intensitas cahaya yang relatif rendah berkisar 12-56% (Rohandi, 2018). Garut tumbuh baik pada areal dengan curah hujan 1.500-2.000 mm/tahun, membutuhkan tanah yang dalam, berdrainase baik, sedikit asam hingga netral, dengan tingkat kesuburan rendah hingga tinggi, dan mampu tumbuh pada tanah marjinal (Reddy, 2015). Dari hasil analisis tanah dan pengamatan data klimatik yang dilakukan, kondisi ini menunjukkan bahwa kedua jenis ini sesuai ditanam secara agroforestri pada kondisi tanah, ketinggian tempat, suhu dan kelembaban udara, serta curah hujan yang sesuai di lokasi penelitian.

Pola tanam monokultur garut menghasilkan produksi rata-rata umbi 9,95 ton/ha dan monokultur kapulaga menghasilkan produksi rata-rata buah 1,06 ton/ha. Pada pola agroforestri, produksi rata-rata umbi garut 6,17 ton/ha, dan produksi rata-rata buah kapulaga 0,83 ton/ha (Tabel 4). Produksi tertinggi buah kapulaga per hektar di tahun pertama pada pola monokultur mencapai 2,55 ton/tahun, pola agroforestri SK mencapai 1,98 ton/tahun, sedangkan untuk pola agroforestri SGK mencapai 2,26 ton/tahun/ha untuk jumlah tanaman yang sama, di dalam penelitian ini. Bisnis UKM (2020) juga melaporkan bahwa produksi buah kapulaga lokal berkisar antara 2,8-3,0 ton basah per tahun per hektar pada sistem tanam tumpang sari. Hasil per

rumpun sebesar 2 kg buah basah, dengan bobot buah kering sekitar 20% dari bobot buah basah. Kapulaga lokal varietas Dewangga dari Kecamatan Pamijahan diketahui mampu memproduksi sebesar 200-400 gr buah basah per rumpun per panen (Nurlaelah et al., 2020).

Produksi garut dan kapulaga yang dibudidayakan secara organik dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan ketersediaan unsur hara. Oleh sebab itu, intensitas cahaya 35% (naungan berat 65%) dari tajuk sengon menghasilkan produksi rata-rata umbi dan buah kapulaga yang lebih rendah dibandingkan produksinya pada intensitas cahaya penuh di plot monokultur, walaupun ketersediaan unsur hara mencukupi. Hal ini disebabkan berkurangnya cahaya yang masuk memengaruhi laju fotosintesis tanaman di bawah tegakan. Intensitas cahaya menjadi salah satu faktor penting untuk pertumbuhan tanaman. Cahaya matahari menjadi sumber energi utama untuk berlangsungnya fotosintesis (Yustiningsih, 2019). Pertumbuhan dan produktivitas hasil termasuk bobot segar dan bobot kering tanaman dipengaruhi nyata oleh peningkatan intensitas cahaya (Wang et al., 2021).

Sekalipun kapulaga membutuhkan naungan sepanjang hidupnya, namun tingkat naungan yang berat akan memengaruhi produksi buahnya. Namun demikian, mampu memproduksi dengan baik. Produksi tertinggi per rumpun mampu mencapai 302 g per panen dari kapulaga yang berada di plot agroforestri SGK dengan ukuran buah yang lebih besar, dibandingkan dengan kapulaga yang berada di plot monokultur yang hanya mencapai 262 g per panen dengan ukuran buah yang lebih kecil namun jumlahnya lebih banyak. Tingkat persaingan buah yang lebih tinggi dalam hal asimilasi pada kapulaga di areal terbuka menyebabkan buahnya tidak tumbuh maksimal. Kadar air buah rata-rata 80,6%. Kapulaga

monokultur di areal terbuka lebih rentan terhadap kekeringan, terlihat dari pertumbuhan daun yang cenderung agak kering menguning dan coklat. Sebaliknya, pertumbuhannya di bawah naungan lebih baik dengan performa daun yang hijau dan lebih segar, yang dijumpai dalam penelitian ini. Intensitas cahaya yang rendah di bawah cekaman naungan mendorong tanaman meningkatkan jumlah klorofil sehingga daun menjadi lebih hijau (Zainal et al., 2022).

Pemberian pupuk bokashi dalam pemeliharaan tanaman juga meningkatkan produksi umbi garut dan buah kapulaga, walaupun tidak berpengaruh nyata. Kondisi ini dimungkinkan karena kandungan bahan organik tanah masih tergolong tinggi (C-org lebih dari 3%, bahan organik lebih dari 5%) pada awal penanaman sehingga masih mencukupi kebutuhan nutrisi tanaman. Penggunaan bahan organik berupa pupuk kandang dan bokashi mendukung perbaikan sifat fisik tanah dalam penelitian ini dengan peningkatan porositas pada tanah bertekstur liat. Hal ini sejalan dengan studi lain yang membuktikan bahwa pemberian pupuk kandang sapi mampu meningkatkan porositas tanah di areal perkebunan kopi (Surya et al., 2017). Pemberian pupuk organik berupa pupuk bokashi mendukung pertumbuhan tanaman dan memberikan banyak keuntungan, antara lain mengandung unsur hara lengkap, memperbaiki struktur tanah menjadi gembur, harganya relatif murah, meningkatkan daya serap air, memperbaiki kehidupan mikroorganisme tanah dan dapat dibuat sendiri (Kote, 2020). Pada penelitian sebelumnya, Prasetyo (2004) mengemukakan bahwa perlakuan naungan buatan 70% (setara tingkat naungan tajuk tegakan sengon umur 6 tahun) yang dikombinasikan dengan pemberian pupuk urea 100 kg/ha (setara 46 kg N/ha) dan pupuk TSP 200

kg/ha menghasilkan pertumbuhan dan produksi terbaik kapulaga.

Di dalam penelitian ini, produksi umbi garut tertinggi per rumpun dengan jarak tanam 100 cm × 100 cm mencapai 1.674 g berat basah (16,7 ton/ha berat basah) pada umur panen 9 bulan di plot monokultur (berat segar rata-rata 9,95 ton/ha), dan mencapai berat basah 1.044 g per rumpun (10,4 ton/ha) dari garut yang berada di plot agroforestri SGK (berat segar rata-rata 6,17 ton/ha). Produksi umbi dari plot agroforestri dalam penelitian ini lebih tinggi dari penelitian sebelumnya (Rohandi, 2018) yang menyatakan bahwa garut di dataran rendah (ketinggian 175-210 m dpl) dengan jarak tanam yang lebih rapat (30 cm × 30 cm) di bawah tegakan sengon umur 3 tahun menghasilkan produksi umbi 204,5 g per rumpun (3,1-15,3 ton/ha). Studi lain (Djaafar et al., 2010) melaporkan bahwa produksi umbi garut yang diberi pupuk organik dan anorganik mencapai 9,0-12,0 ton/ha per musim. Pemupukan yang diberikan pada garut dan kapulaga di bawah tegakan sengon berpotensi meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman.

3.2.4. Produktivitas lahan

Produktivitas lahan adalah hasil per satu lahan yang dipanen dari seluruh luas lahan yang dipanen (Yu, et al., 2015). Nilai LER lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa ketiga pola tanam kombinasi jenis sengon, tanaman garut dan kapulaga memiliki produktivitas lahan yang lebih tinggi daripada pola tanam monokultur, sehingga potensial meningkatkan produktivitas lahan hutan pada luasan areal yang sama. Dari ketiga pola tanam agroforestri (SG, SK, dan SGK) pada Tabel 5, dijumpai bahwa pola tanam SGK (sengon+garut+kapulaga) memiliki produktivitas lahan tertinggi (nilai LER 2,44) dari kedua pola tanam agroforestri lainnya yang hanya terdiri dari kombinasi

2 jenis tanaman (sengon+garut dan sengon+kapulaga). Nilai LER ini juga lebih tinggi dibandingkan dengan hasil studi lainnya yang pernah dilaporkan untuk pola agroforestri kombinasi 2 spesies, sengon dan kacang tanah nilai LER = 2,12 (Swestiani & Purwaningsih, 2013), sengon dan cabe nilai LER = 1,96 (Rachman & Hani, 2014), sengon dan garut nilai LER = 2,36 (Rohandi, 2018) serta jati dan garut nilai LER = 1,65 (Maharani et al., 2022). Hasil ini membuktikan bahwa diversifikasi jenis komponen agroforestri dengan pemilihan jenis yang tepat akan meningkatkan produktivitas lahan hutan pada luasan areal yang sama.

Dalam sistem agroforestri, produktivitas tanaman sejenis bisa saja menurun, namun produktivitas secara keseluruhan akan lebih baik, apabila terbentuk interaksi positif dari kombinasi jenis yang dipilih. Di dalam penelitian ini, produksi umbi garut dan buah kapulaga pada pola tanam agroforestri lebih rendah daripada produksinya pada pola monokultur, namun pertumbuhan atau produksi kayu sengon (pertambahan tinggi dan diameter) lebih tinggi dari pada plot monokultur, serta produktivitas lahan secara keseluruhan meningkat menjadi lebih baik. Kombinasi jenis sengon, garut dan kapulaga dalam agroforestri menjadi model yang dapat meningkatkan produktivitas lahan hutan, yang potensial diterapkan di areal Perhutanan sosial dalam rangka mendukung Program Ketahanan Pangan dan meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar hutan.

3. Kesimpulan dan Saran

3.1. Kesimpulan

Pertumbuhan sengon selama periode pengamatan (10 bulan) di lahan agroforestri dan monokultur tidak berbeda nyata. Produksi umbi garut dan buah kapulaga tertinggi dihasilkan pada pola

monokultur dibandingkan ketiga pola agroforestri lainnya, yaitu produksi umbi garut 9,95 ton/ha dan produksi buah kapulaga 1,06 ton/ha. Produktivitas lahan agroforestri lebih tinggi daripada lahan monokultur, dengan nilai LER lebih dari satu untuk ketiga model agroforestri sengon+garut, sengon+kapulaga, dan sengon+garut+kapulaga yaitu berurutan sebesar 2,08; 2,38 dan 2,44. Pola tanam agroforestri ini potensial dikembangkan di areal Perhutanan Sosial guna mendukung program ketahanan pangan dan meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar hutan.

3.2. Saran

Agroforestri sengon + garut + kapulaga potensial diterapkan di areal Perhutanan sosial dan areal penggunaan lain (APL) yang memiliki kesesuaian tempat tumbuh yang sama. Penerapan model agroforestri ini mendukung program multi usaha rakyat, meningkatkan ketahanan pangan dan berpotensi meningkatkan pendapatan masyarakat di kawasan hutan melalui peningkatan produktivitas lahan hutan dan diversifikasi hasil yang diperoleh.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Pusat Litbang Hutan dan Pusat Standardisasi Instrumen Pengelolaan Hutan Berkelanjutan (KLHK), Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor (IPB) yang telah menyediakan lokasi penelitian dan mendukung pelaksanaan penelitian, Unit Konservasi dan Budidaya Biofarmaka - Pusat Studi Biofarmaka Tropika IPB yang telah mendukung pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Puspita Deswina dan Nurhaidar Rahman, S.P. yang telah membantu penyediaan bibit umbi garut koleksi dari kebun

percobaan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Anisa Putri Maulidya, S.Hut yang telah membantu teknis pengolahan data..

Daftar Pustaka

- Afentina, A., Yanarita, Y., Indrayanti, L., Rontinsulu, J., Hidayat, N., & Sianipar, J. (2021). The Potential of Agroforestry in Supporting Food Security for Peatland Community – A Case Study in the Kalampangan Village, Central Kalimantan. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 123–130. <https://doi.org/10.12911/22998993/140260>
- Allen, S.C., Jose, S., Nair, P.K.R., Brecke, B. J., Nkedi-Kizza, P., & Ramsey, C.L. (2004). Safety-net role of tree roots: evidence from a pecan (*Carya illinoensis* K. Koch)–cotton (*Gossypium hirsutum* L.) alley cropping system in the southern United States. *Forest Ecology and Management*, 192(2–3), 395–407. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.009>
- Balitbangtan. (2020). *Kapulaga, rempah Indonesia makin diminati pasar ekspor*. Antara Sumbar. <https://sumbar.antaranews.com/nasional/berita/1518465/kapulaga-rempah-indonesia-yang-makin-diminati-pasar-ekspor>
- Batubara, I., Wahyuni, W.T., & Susanta, M. (2016). Antibacterial activity of zingiberaceae leaves Essential oils against *Streptococcus mutans* and teeth-biofilm degradation. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 7(4). <https://doi.org/10.22376/ijpbs.2016.7.4.p111-116>
- BisnisUKM. (2020). *Bisnis kapulaga: sekali panen dpat 300 juta? Siap-siap tergoda*. Inspirasi Bisnis. <https://bisnisukm.com/bisnis-kapulaga-sekali-panen-300-juta.html>
- BPS. (2020). *Identifikasi dan analisis desa di sekitar kawasan hutan berbasis spasial tahun 2019*. Website. <https://www.bps.go.id/publication/2020>

- /06/29/ee925d3cdebd389299c8de78/identifikasi-dan-analisis-desa-di-sekitar-kawasan-hutan-berbasis-spasial-tahun-2019.html
- BMKG. (2023). *Prakiraan hujan bulanan*. <https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-hujan-bulanan.bmkg>
- Briawan, B.D., Wijayanto, N., & Wasis, B. (2022). Visual soil structure quality and its correlation to quantitative soil physical properties of upland rice site in *Falcataria moluccana* agroforestry system. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 23(4). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230423>
- Djaafar, T.F., Sarjiman., & Pustika, A.B. (2010). Pengembangan Budi Daya Tanaman Garut dan Teknologi Pengolahannya untuk Mendukung Ketahanan Pangan. *Jurnal Litbang Pertanian*, 29(1), 25–33.
- [MOEFRI] Ministry of Environment and Forestry Republic of Indonesia. (2022). *the State of Indonesia' S Forests*. Ministry of Forestry.
- Formaglio, G., Krusche, A.V., Mareschal, L., Bouillet, J.-P., Gonçalves, J. L. M., Nouvellon, Y., Delgado-Rojas, J. S., Montebelo, A., Ranger, J., & Laclau, J.-P. (2023). Planting nitrogen-fixing trees in tropical *Eucalyptus* plantations does not increase nutrient losses through drainage. *Forest Ecology and Management*, 537, 120940. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120940>
- Hani, A. & Octavia, D. (2020). *Kapulaga, Ratu rempah pembawa berkah, Potensi Prospektif di Era Pandemi COVID-19* (M. S. Sabarnurdin (ed.)). IPB Press.
- Harmayani, E., Kumalasari, I.D., and Marsono, Y. (2011). Effect of arrowroot (*Maranta arundinacea* L.) diet on the selected bacterial population and chemical properties of caecal digesta of Sprague Dawley rats. *International Research Journal of Microbiology*, 2(8), 278–284.
- Karubuy, C.N.S., Rahmadaniarti, A. & Wanggai, J. (2020). Karakteristik stomata dan kandungan klorofil daun anakan Kayu Cina (*Sundacarpus amarus* (Blume) C.N.Page) pada beberapa intensitas naungan. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*, 4(1), 45–56. <https://doi.org/10.46703/jurnalpapuasiasia.vol4.iss1.89>
- Kementan. (2019). Standar Operasional Prosedur (SOP) Kapulaga (*Amomum cardamomum*) Kabupaten Tasikmalaya. *Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat. Direktorat Jendral Hortikultura. Kementerian Pertanian*.
- Kote, M., Lailogo, O.L, Purmanto, D., Hewe, A.K. (2020, January 20). Bokashi, pupuk kompos alternatif dari limbah ternak dan tanaman. <https://ntt.litbang.pertanian.go.id/index.php/berita-news/750-bokashi-pupuk>.
- Maharani, D., Sudomo, A., Swestiani, D., Murniati, Sabastian, G., Roshetko, J., & Fambayun, R.A. (2022). Intercropping Tuber Crops with Teak in Gunungkidul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Agronomy*, 12(2), 449.
- Mattjik, A.A, Sumertajaya, I. M. (2013). *Perancangan percobaan dengan aplikasi SAS dan Minitab* (Jilid 1). IPB Press.
- MoEFRI. (2022). *The State of Indonesia's Forest 2022 Towards FOLU Net Sink 2030*. Ministry of Environment and Forestry, Jakarta, Indonesia.
- Nair, K.P. (2020). *The Geography of Cardamom (Elettaria cardamomum M.) The "Queen" of Spices*. Springer.
- Nurlaelah, I., Endang, H., Ridwan, T. (2021). Deskripsi kapulaga varietas dewangga. <http://varitas.net/dbvarietas/varimage/Kapulaga%20Dewangga.pdf>
- Octavia, D. (2010). Kajian Respon Padi Gogo (*Oryza Sativa* L.) terhadap Perbedaan Intensitas Cahaya dan Masukan Serasah dengan Media Tanah Asal Hutan Rakyat Sengon. Universitas Gadjah Mada. Tesis.
- Octavia, D., Suharti, S., Murniati, Dharmawan, I.W.S., Nugroho, H.Y.S. H., Supriyanto, B., Rohadi, D., Njurumana, G.N., Yeny, I., Hani, et al. (2022). Mainstreaming Smart Agroforestry for Social Forestry Implementation to Support Sustainable Development Goals in Indonesia: A Review. *Sustainability*, 14(15).

- <https://doi.org/10.3390/su14159313>
Octavia, D. 2023. Garut: Prospek Agroforestri Tanaman Kaya Manfaat. *Green Indonesia*. Bogor. <https://greenindonesia.co/2023/03/garut-prospek-agroforestri-tanaman-kaya-manfaat/>
- Oktafani, M.B., Supriyono, Budiastuti, M.T. S., & Purnomo, D. (2018). Performance of Arrowroot (*Maranta arundinacea*) in various light intensities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 142, 012048. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/142/1/012048>
- Prasetyo. (2004). Budidaya kapulaga sebagai tanaman sela pada tegakan sengon. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*. 6(1):22-31.
- Rachman, E., & Hani, A. (2014). Pola Agroforestri Sengon (*Falcataria moluccana* L.) dan Cabai Merah Keriting di Dataran Tinggi Ciamis Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 2(1), 35–44.
- Reddy, P.P. 2015. Arrowroot, *Maranta arundinacea*. In: *Plant Protection in Tropical Root and Tuber Crops*. New Delhi: Springer. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2389-4_13
- Rohandi, A. (2018). *Karakterisasi Agroekologi dan Daya Adaptasi Tanaman Garut (Maranta arundinacea L) Pada Sistem Agroforestri di Kabupaten Garut*. (disertasi). <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/155744>
- Sahuri, S. (2020). Peningkatan Pertumbuhan dan Hasil Karet Melalui Sistem Tumpang Sari Berbasis Karet. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 17(1), 27–40. <https://doi.org/10.20886/jpht.2020.17.1.27-40>
- Salim, A.G., & Budiadi, B. (2014). Produksi dan Kandungan Hara Serasah pada Hutan Rakyat Nglanggeran, Gunung Kidul, D.I. Yogyakarta. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 12(2), 77–88. <https://doi.org/10.20886/jpht.2014.11.2.77-88>
- Surya, J.A, Nuraini, Y., Widiyanto, W. (2017). Kajian Porositas Tanah pada Pemberian Beberapa Jenis Bahan Organik di Perkebunan Kopi Robusta. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 4(1), 463–472. <https://jtsl.uib.ac.id/index.php/jtsl/article/view/160>
- Swestiani, Dila, P. (2013). Produksi kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) pada agroforestri berbasis kayu sengon dan manglid. *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 2009 (328), 71–82.
- Tomar, M.J.S., Ahmed, A., A. Bhat, J., Kaushal, R., Shukla, G., & Kumar, R. (2021). Potential and Opportunities of Agroforestry Practices in Combating Land Degradation. In *Agroforestry - Small Landholder's Tool for Climate Change Resiliency and Mitigation*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97843>
- van Noordwijk, M., Duguma, L.A., Dewi, S., Leimona, B., Catacutan, D.C., Lusiana, B., Öborn, I., Hairiah, K., & Minang, P. A. (2018). SDG synergy between agriculture and forestry in the food, energy, water and income nexus: reinventing agroforestry? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, 33–42. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.09.003>
- Wang, X., Chen, G., Du, S., Wu, H., Fu, R., & Yu, X. (2021). Light Intensity Influence on Growth and Photosynthetic Characteristics of *Horsfieldia hainanensis*. *Front. Ecol. Evol.* 9:636804. doi: 10.3389/fevo.2021.636804
- Yu, Y., Stomph, T.J, Makowski, D., van der Werf, W. (2015). Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: A meta-analysis. *Field Crops Research*. 184:133-144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010>
- Yustiningsih, M. (2019). Intensitas Cahaya dan Efisiensi Fotosintesis pada Tanaman Naungan dan Tanaman Terpapar Cahaya

Langsung. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 4(2), 44–49.
<https://doi.org/10.32938/jbe.v4i2.385>
Zainal, A., Hasbullah, F., Akhir, N., & Hervani, D. (2022). Pengaruh intensitas

cahaya terhadap pertumbuhan dan kandungan kalsium oksalat tanaman talas putih (*Xanthosoma* sp). *Jurnal Pertanian Agros*, 24(1), 514–525.