



THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PERCENTAGE OF SOLAR RADIATION UNDER THE SHADE OF STAND AND THE GROWTH OF CARDAMOM

Indriyanto

Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung, 35145, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 Oct 2022,

Revised 12 Dec 2022,

Accepted 30 Dec 2022

Available online 16 Jan 2022

Keywords:

- ✓ cardamom
- ✓ forest gardens
- ✓ growth
- ✓ shade
- ✓ stand

*corresponding author:

indriyanto.1962@fp.unila.ac.id

[id](#)

Phone: +6281540903075

Doi:

[https://doi.org/10.31938/jsn.v](https://doi.org/10.31938/jsn.v13i1.451)

[13i1.451](#)

ABSTRACT

Cardamom can live under the shade of a stand but require adequate shade for optimum growth. This research aims to determine the relationship between the percentage of solar radiation under the shade of a stand on the growth of cardamom, to determine the stands that have the best effect on the growth of cardamom, and to estimate the percentage of solar radiation that affects the optimum growth of cardamom. The research was conducted in 5 farmer-cultivated areas planted with cardamom in Tahura Wan Abdul Rachman. In each farmer's arable area, three plots of 5 m x 5 m were made, which were placed randomly to observe the growth of cardamom. The data collected includes the growth of cardamom, tree species, solar radiation, air temperature, and humidity. The data were analyzed by quadratic regression at the 5% significance level. The results showed that the percentage of solar radiation intensity under the shade of forest garden stands significantly affected the growth of cardamom. The stands are composed by durian, clove, nutmeg, and petai trees with a distance of 3.55 m between trees, the percentage of solar radiation intensity under the stand is 54.0%, the air temperature is 28.5 °C, and the humidity is 86.3% the best effect on the number of pods and the good effect on the number of flower bunches compared to other stands. The highest number of cardamom pods was 10.7 per bunch, and the highest number of flower bunches was 23.6 flower bunches per clump. All cardamom growth variables were significantly related quadratic to the percentage of solar radiation in the shaded stands. It was predicted that the shade of the stands, which can be the optimum place for cardamom to grow, is the shade with a percentage of solar radiation in the range of 54.0% to 67.0%.

ABSTRAK

Hubungan antara Persentase Radiasi Matahari di Bawah Naungan Tajuk Tegakan dengan Pertumbuhan Kapulaga

Kapulaga dapat hidup di bawah naungan tegakan, akan tetapi membutuhkan naungan yang memadai untuk pertumbuhan optimum. Penelitian bertujuan untuk mengetahui hubungan persentase radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan dengan pertumbuhan kapulaga, mengetahui tegakan yang berpengaruh paling baik terhadap pertumbuhan kapulaga, serta mengestimasi persentase radiasi matahari yang berpengaruh terhadap pertumbuhan optimum kapulaga. Penelitian dilakukan di 5 areal garapan petani yang ditanami kapulaga dalam Tahura Wan Abdul Rachman. Di setiap areal garapan petani dibuat petak ukur 5 m x 5 m sebanyak 3 buah yang peletakkannya dilakukan secara acak untuk pengamatan pertumbuhan kapulaga. Data yang dihimpun meliputi: pertumbuhan kapulaga, jenis pohon, radiasi matahari, temperatur udara, dan kelembapan udara. Data dianalisis regresi kuadratik pada taraf nyata 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kapulaga. Tegakan yang tersusun oleh pohon durian, cengkeh, pala, dan petai dengan jarak antarpohon 3,55 m, persentase intensitas radiasi matahari 54,0%, temperatur udara 28,5° C, dan kelembapan udara 86,3% berpengaruh paling baik terhadap jumlah buah dan berpengaruh baik terhadap jumlah tandan bunga dibandingkan dengan tegakan yang lain. Jumlah buah kapulaga paling banyak 10,7 buah/tandan dan jumlah tandan bunga paling banyak 23,6 tandan bunga/rumpun. Semua variabel pertumbuhan kapulaga berhubungan nyata secara kuadratik dengan persentase radiasi matahari di bawah naungan tegakan. Diprediksi bahwa naungan tegakan yang menjadi tempat tumbuhnya kapulaga secara optimum adalah naungan yang memiliki persentase radiasi matahari dalam kisaran sebesar 54,0% hingga 67,0%.

Kata kunci: kapulaga; kebun hutan; pertumbuhan; naungan; tegakan



PENDAHULUAN

Kapulaga merupakan salah satu golongan tanaman rempah (Qonita *et al.*, 2018) yang buahnya mempunyai nilai ekonomis tinggi (Murugan *et al.*, 2022) dan berprospek pasar yang baik (Siarudin *et al.*, 2021) karena diminati oleh banyak konsumen, baik konsumen dalam negeri maupun konsumen internasional (Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat, 2019). Buah kapulaga selain dapat dimanfaatkan untuk bumbu masak dan bahan kosmetik (Nurzaman *et al.*, 2020), juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan obat alamiah yang diyakini oleh masyarakat memiliki banyak manfaat atau kegunaan untuk pengobatan tradisional (Janani, 2019; Mohammad *et al.*, 2022) misalnya untuk penyegar napas, anti radang, dan menyembuhkan batuk (Mohammad *et al.*, 2022). Ekstrak biji kapulaga dapat digunakan untuk obat gangguan pencernaan, obat demam, untuk mencegah kanker (Juwitaningsih *et al.*, 2020). Biji kapulaga tersebut juga dimanfaatkan dalam bidang kesehatan ternak ruminansia sebagai antiinflamasi dan untuk memacu pertumbuhan (Praditha *et al.*, 2020).

Nurzaman *et al.* (2020) mengemukakan bahwa di Indonesia dikenal dua jenis kapulaga yaitu kapulaga lokal (*Amomum compactum*) dan kapulaga sabrang (*Elletaria cardamomum*). Akan tetapi, para petani di Indonesia pada umumnya membudidayakan kapulaga lokal yang terdiri atas tiga varietas, yaitu kapulaga buah putih, kapulaga buah merah besar, dan kapulaga buah merah kecil, sedangkan kapulaga sabrang belum banyak dibudidayakan (Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat, 2019).

Tanaman kapulaga tidak membutuhkan intensitas radiasi matahari penuh (Witarsa, 2019), dikategorikan sebagai tanaman bawah tahunan (Junaidi & Indrajaya, 2018) atau tanaman yang membutuhkan naungan (Alagupalamuthirsolai *et al.*, 2018; Janani, 2019), sehingga dapat dibudidayakan di bawah tegakan hutan. Bahkan Witarsa (2019) mengemukakan bahwa tanaman kapulaga akan tumbuh dengan baik jika mendapat pencahayaan pohon. Dengan demikian, tanaman kapulaga memiliki peluang besar menjadi salah satu jenis yang dapat dipilih dalam mengoptimalkan pemanfaatan lahan di bawah tegakan kebun hutan agar dapat menghasilkan tanaman yang produktif untuk menambah pendapatan petani hutan.

Pemanfaatan lahan di bawah tegakan hutan dengan cara membudidayakan tanaman yang tahan naungan seperti tanaman kapulaga

merupakan salah satu praktik agroforestri yang masih minim informasinya dan perlu terus dikaji keberhasilannya (Mohammad *et al.*, 2022). Tanaman kapulaga merupakan salah satu jenis tanaman herba yang berpotensi untuk dibudidayakan dalam sistem agroforestri, baik di kawasan hutan maupun di kebun (Mohammad *et al.*, 2022). Kualitas pertumbuhan tanaman dan produksi kapulaga yang memadai di bawah naungan tajuk tegakan mengindikasikan efektivitas pemanfaatan ruang tumbuh dalam hutan (Diniyati *et al.*, 2014). Hal tersebut akan memberikan manfaat ekonomis dari praktik agroforestri. Selain manfaat ekonomis, agroforestri juga dipandang sebagai strategi *win-win solution* untuk mencapai kelestarian fungsi ekologis dalam pengelolaan kawasan hutan maupun lahan di luar kawasan hutan (Triwanto & Muttaqin, 2013). Secara ekologi, sistem agroforestri dalam beberapa kasus telah berhasil menciptakan komposisi tanaman yang dibudidayakan tidak monokultur sehingga keseimbangan ekologis lebih terjamin serta mampu meningkatkan produksi tanaman (Murniati *et al.*, 2022; Tynsong *et al.*, 2017), serta mampu memelihara produktivitas tanaman yang berumur pendek seperti empon-empon (Aryadi & Fauzi, 2013).

Sistem agroforestri telah diterapkan oleh petani penggarap di areal garapannya dalam Blok-blok Tradisional Tahura Wan Abdul Rachman, Provinsi Lampung. Blok Tradisional merupakan bagian dari unit pengelolaan Tahura Wan Abdul Rachman yang ditetapkan sebagai areal untuk kepentingan pemanfaatan tradisional oleh masyarakat yang secara turun temurun mempunyai kebergantungan dengan sumber daya alam atau hutan (UPTD Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman, 2017). Pemanfaatan tradisional dalam Blok Tradisional tersebut berupa budidaya pohon dengan menerapkan teknik agroforestri MPTS (*multipurpose trees species*) sebagai bentuk partisipasi masyarakat di sekitar hutan dalam pengelolaan hutan secara lestari (Indriyanto & Asmarahman, 2019). Teknik agroforestri MPTS yang diterapkan oleh petani dalam membudidayakan pohon di areal garapannya senantiasa mengarah kepada terbentuknya tegakan kebun hutan (*forest garden*) untuk meningkatkan fungsi ekonomis bagi masyarakat maupun fungsi ekologis kawasan tahura (Indriyanto, 2022).

Sejak tahun 1998, sebanyak 594 petani anggota Gapoktanhut Wana Raya mulai menerapkan teknik agroforestri MPTS di areal

garapan yang total luasnya 649,95 ha dalam Tahura Wan Abdul Rachman. Jenis pohon yang dibudidayakan oleh petani di areal garapannya bervariasi antara 4 jenis dan 11 jenis pohon, akan tetapi jumlah keseluruhan jenis pohon ada sekitar 25 jenis yang didominasi oleh 7 jenis pohon, yaitu durian, pala, karet, petai, tangkil, duku, dan kemiri (Gapoktanhut Wana Raya, 2019). Saat ini ada sebanyak 5 orang petani yang memanfaatkan ruang tumbuh di bawah tegakan kebun hutan untuk membudidayakan tanaman kapulaga di areal garapannya mengingat sifat tanaman kapulaga yang membutuhkan naungan untuk pertumbuhannya, sehingga cocok apabila dibudidayakan di bawah tegakan kebun hutan.

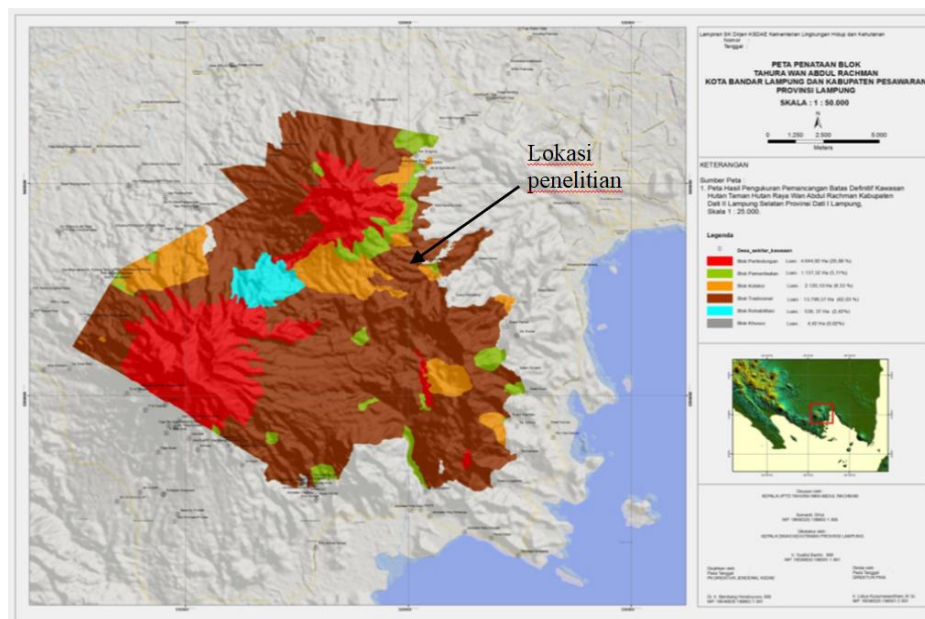
Kondisi intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk pohon yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman kapulaga perlu diketahui karena radiasi matahari dengan intensitas tertentu memengaruhi pertumbuhan tanaman kapulaga (Murugan *et al.*, 2022). Sebagaimana dikemukakan oleh Mohammad *et al.* (2022) dan Prasetyo (2004) bahwa tingkat naungan yang sesuai kebutuhan tanaman kapulaga belum banyak diketahui. Padahal fungsi fisiologis optimum pada tanaman dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari sesuai kebutuhan optimumnya (Ranganathan, 2018). Kondisi lingkungan yang optimum, seperti kondisi radiasi matahari di bawah naungan sangat diperlukan untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Kumar *et al.*, 2012). Mengingat beragamnya

jenis pohon yang menyusun tegakan kebun hutan di areal garapan petani tersebut yang tentu saja setiap jenis pohon memiliki perbedaan intersepsi/penahanan intensitas radiasi matahari, sehingga intensitas radiasi matahari yang sampai di dasar/lantai hutan akan berbeda. Oleh karena itu, dipandang perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh naungan tajuk tegakan terhadap pertumbuhan kapulaga di areal garapan petani hutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan persentase radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan dengan pertumbuhan kapulaga, mengetahui tegakan yang berpengaruh paling baik terhadap pertumbuhan kapulaga, serta mengestimasi persentase radiasi matahari yang berpengaruh terhadap pertumbuhan optimum kapulaga.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April 2022 sampai dengan bulan Mei 2022. Tempat penelitian adalah di areal garapan petani Gapoktanhut Wana Raya dalam Blok Tradisional Resor Bandar Lampung, kawasan Tahura Wan Abdul Rachman, Provinsi Lampung. Letak lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Letak areal garapan petani Gapoktanhut Wana Raya dalam Blok Tradisional Resor Bandar Lampung, kawasan Tahura Wan Abdul Rachman, Provinsi Lampung yang digunakan untuk lokasi penelitian

Tabel 1. Kondisi tegakan kebun hutan yang menjadi tempat budidaya kapulaga

| Tegakan kebun hutan | Nama pengelola lahan garapan | Komposisi jenis pohon penaung tanaman kapulaga | Rata-rata jarak antarpohon (m) | Rata-rata luas tajuk pohon (m ²) | Persentase penutupan tajuk pohon (%) |
|---------------------|------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------------|
| 1. | Pak Purwanto | Alpoket, durian, jengkol, kemiri, pala, tangkil. | 3,47 | 21,07 | 175,0 |
| 2. | Pak Salim | Durian, cengkeh, pala, petai. | 3,55 | 20,36 | 161,6 |
| 3. | Pak Tobri | Durian, pala, petai, tangkil. | 3,52 | 19,69 | 158,9 |
| 4. | Pak Badri | Duku, durian, kakao, karet. | 3,56 | 17,42 | 137,4 |
| 5. | Pak Sadiran | Duku, kakao, petai, karet. | 3,59 | 17,20 | 133,5 |

Kawasan Tahura Wan Abdul Rachman Provinsi Lampung memiliki luas 22.245,50 ha, secara administrasi pemerintahan masuk ke dalam wilayah Kota Bandar Lampung dengan dua kecamatan (Kecamatan Kemiling dan Kecamatan Tanjungkarang Barat) dan wilayah Kabupaten Pesawaran dengan lima kecamatan (Kecamatan Kedondong, Kecamatan Way Lima, Kecamatan Gedong Tataan, Kecamatan Teluk Pandan, dan Kecamatan Padang Cermin), serta berbatasan langsung dengan 39 desa. Letak geografis tahura tersebut adalah pada 105° 02' 42,01" BT–105° 13' 42,09" BT dan pada 05° 23' 47,03" LS–05° 30' 34,86" LS, serta terletak pada wilayah berketinggian tempat 50 m–1.661 m dpl.

Areal garapan petani Gapoktanhut Wana Raya merupakan bagian dari areal dalam Blok Tradisional yang terletak pada wilayah berketinggian tempat 210 m–822 m dpl., sedangkan lokasi untuk penelitian berada pada wilayah berketinggian tempat 437 m–490 m dpl. Lokasi penelitian berbatasan langsung dengan Desa Talangmulya, Kecamatan Teluk Pandan, Kabupaten Pesawaran.

Jenis tanah dalam kawasan Tahura Wan Abdul Rachman terdiri atas *Dystropepts*, *Humitropepts*, dan *Kanhapludults*, akan tetapi yang dominan (94,31% dari luas kawasan tahura) adalah jenis tanah *Dystropepts* (UPTD Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman, 2017). Tanah *Dystropepts* dan *Humitropepts* merupakan jenis tanah dalam Ordo Inceptisol, sedangkan tanah *Kanhapludults* merupakan jenis tanah dalam Ordo Ultisol yang semua jenis tanah ini berkembang dari *tuff* atau bahan induk vulkanik (Busyra & Firdaus, 2010).

Tipe iklim dalam kawasan Tahura Wan Abdul Rachman termasuk ke dalam tipe iklim basah, yaitu zona iklim B berdasarkan klasifikasi

iklim *Schmidt-Ferguson*, dengan rata-rata curah hujan 1.627,2 mm/th, rata-rata temperatur udara 28,1° C, dan rata-rata kelembapan udara 81,7% (UPTD Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman, 2017).

Objek dan Alat

Objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah tegakan kebun hutan yang ada di areal garapan 5 petani anggota Gapoktan Wana Raya, serta tanaman kapulaga di lahan bawah naungan tegakan kebun hutan. Tegakan kebun hutan tersebut adalah hasil budidaya tradisional dengan menerapkan teknik agroforestri MPTS yang dilakukan sejak tahun 1998, sehingga pepohonan yang ditanam telah berumur lebih kurang 24 tahun. Kondisi tegakan kebun hutan di areal garapan 5 petani yang di bawah tegakannya sedang dimanfaatkan untuk budidaya kapulaga disajikan pada Tabel 1 sebagai berikut. Adapun alat-alat yang digunakan untuk pengambilan data antara: meteran rol, tali raffia, haga meter, kamera, pita meter, lux-meter, lembar pengamatan (*tally sheet*), dan alat tulis.

Metode

Penetapan dan pembuatan petak ukur

Petak ukur (plot sampel) yang digunakan berbentuk bujur sangkar berukuran 5 m x 5 m. Penaungan tajuk tegakan kebun hutan di lima areal garapan petani digunakan sebagai perlakuan, sehingga dalam penelitian ini terdapat 5 perlakuan penaungan tajuk tegakan kebun hutan. Pada setiap areal garapan petani dibuat petak ukur sebanyak 3 buah yang peletakkan ketiga petak ukur ini dilakukan secara acak, sehingga 3 buah petak ukur dijadikan sebagai ulangan.

Tata letak petak ukur petak ukur secara acak di setiap areal garapan petani disajikan seperti denah peletakan pada Gambar 2,

sedangkan sketsa letak pohon penaung dan tanaman kapulaga pada setiap petak ukur disajikan pada Gambar 3.

Pengamatan

Pada setiap petak ukur yang telah dibuat di areal pertanaman kapulaga di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan diamati hal-hal sebagai berikut.

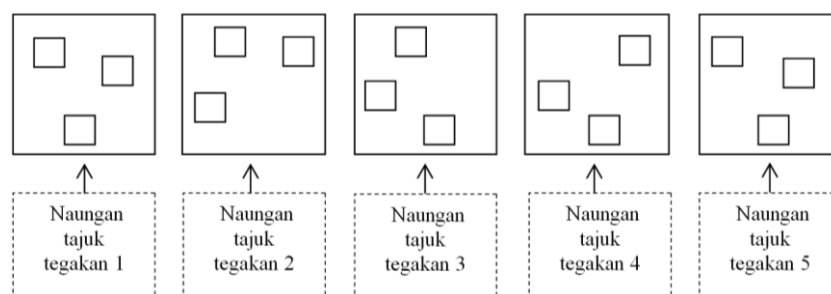
- Nama jenis-jenis pohon penyusun tegakan kebun hutan yang tajuknya menaungi plot pertanaman kapulaga.
- Intensitas radiasi matahari yang mencapai plot pertanaman kapulaga. Intensitas radiasi matahari diukur menggunakan lux-meter pada waktu pagi (pukul 08.00–10.00 WIB), siang (pukul 11.00–13.00 WIB), dan sore (14.00–16.00 WIB). Kemudian dihitung besarnya persentase intensitas radiasi matahari yang mencapai plot pertanaman kapulaga di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan.
- Temperatur dan kelembapan udara di plot pertanaman kapulaga diukur menggunakan thermohigrometer pada waktu pagi (pukul 08.00–10.00 WIB), siang (pukul 11.00–13.00 WIB), dan sore (14.00–16.00 WIB).

- Jumlah batang per rumpun, tinggi tanaman, jumlah daun per rumpun, jumlah tandan bunga per rumpun, dan jumlah buah per tandan buah.

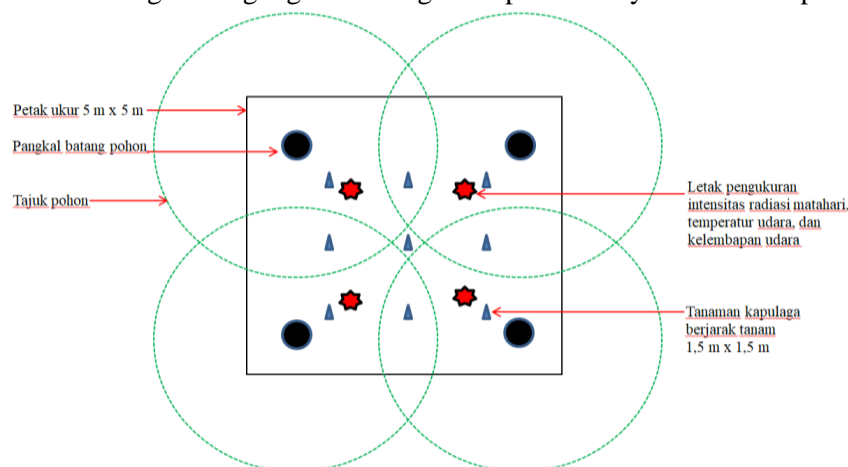
Analisis Data

Data dianalisis dengan One-Way Anova untuk mengetahui adanya pengaruh perbedaan besarnya persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan terhadap pertumbuhan kapulaga. Untuk mengetahui perbedaan pertumbuhan kapulaga antarpersentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan, maka dilakukan perbandingan nilai rata-rata setiap variabel pertumbuhan kapulaga dengan uji BNJ (HSD).

Kemudian dilakukan analisis regresi kuadratik untuk memprediksi besarnya persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan yang menghasilkan pertumbuhan maksimal bagi tanaman kapulaga, serta untuk mengetahui persamaan model regresi kuadratik. Semua analisis tersebut dilakukan dengan taraf nyata 5%.



Gambar 2. Peletakan 3 petak ukur, masing-masing berukuran 5 m x 5 m yang diletakkan secara acak di bawah masing-masing tegakan sebagai tempat budidaya tanaman kapulaga



Gambar 3. Sketsa letak pohon penaung, tanaman kapulaga, serta letak pengukuran intensitas radiasi matahari, temperatur udara, dan kelembapan udara dalam setiap petak ukur 5 m x 5 m

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis Pohon Penyusun Tegakan Kebun Hutan dan Kondisi Iklim Mikro di Bawah Naungan

Kapulaga (*Amomum compactum*) merupakan tanaman yang bersifat toleran yang dalam hidupnya menghendaki naungan dari tanaman lainnya (Diniyati *et al.*, 2014). Intensitas radiasi matahari yang dibutuhkan oleh tanaman kapulaga sekitar 30—70% (Achmad *et al.*, 2016), sehingga pada umumnya layak dibudidayakan di bawah naungan tajuk tegakan sebagai komponen kombinasi tanaman dalam agroforestri. Dengan demikian, kondisi naungan tajuk tegakan merupakan salah satu faktor sangat penting yang menentukan pertumbuhan tanaman kapulaga secara optimal.

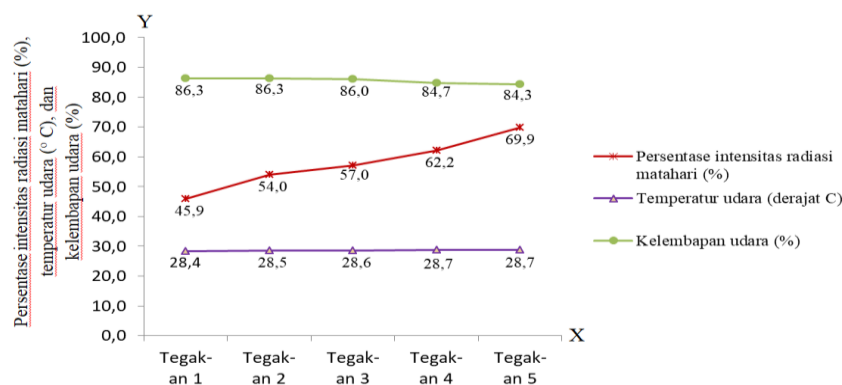
Tegakan kebun hutan yang menjadi penaung tanaman kapulaga tersusun oleh jenis-jenis pohon dengan komposisi yang berbeda antartegakannya yang tentu menyebabkan terjadinya perbedaan besarnya intensitas radiasi yang ada di bawah

masing-masing tegakan. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa persentase intensitas radiasi matahari di bawah lima tegakan kebun hutan yang digunakan sebagai tempat budidaya kapulaga berbeda satu dengan yang lain. Hal ini juga menggambarkan adanya perbedaan kondisi naungan tajuk tegakan yang besarnya persentase intensitas radiasi matahari masing-masing 45,9%; 54,0%; 57,0%; 62,2%; dan 69,9% (Tabel 2).

Komposisi jenis pohon yang berbeda tersebut dapat menciptakan perbedaan kondisi iklim mikro di areal pertanaman kapulaga (Gambar 4). Semakin berat naungan tajuk, maka persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan semakin rendah, lalu temperatur udara semakin rendah, sedangkan kelembapan udara semakin tinggi. Hal ini sesuai pernyataan yang dikemukakan oleh Murugan *et al.* (2022) bahwa kondisi temperatur udara dan kelembapan udara dipengaruhi oleh kondisi naungan tajuk tegakan hutan dan intensitas radiasi matahari yang sampai di bawah naungan.

Tabel 2. Kondisi intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan pada bulan April hingga Mei 2022

| Tegakan kebun hutan | Komposisi jenis pohon penaung tanaman kapulaga | Intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan (lux) | | | Intensitas radiasi matahari di tempat terbuka (lux) | | | Persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan (%) |
|---------------------|---|--|--------|-------|---|--------|-------|---|
| | | Pagi | Siang | Sore | Pagi | Siang | Sore | |
| Tegakan 1 | Alpoket, durian, jengkol, kemiri, pala, tangkil. Jarak antarpohon= 3,47 m. | 1.521 | 29.499 | 1.382 | 3.311 | 63.797 | 3.033 | 45,9 |
| Tegakan 2 | Durian, cengkeh, pala, petai. Jarak antarpohon= 3,55 m. | 1.890 | 35.120 | 1.740 | 3.494 | 64.393 | 3.250 | 54,0 |
| Tegakan 3 | Durian, pala, petai, tangkil. Jarak antarpohon= 3,52 m. | 1.958 | 36.972 | 1.876 | 3.449 | 64.409 | 3.296 | 57,0 |
| Tegakan 4 | Duku, durian, kakao, karet. Jarak antarpohon= 3,56 m. | 2.163 | 40.100 | 2.114 | 3.472 | 64.100 | 3.422 | 62,2 |
| Tegakan 5 | Duku, kakao, petai, karet. Jarak antarpohon= 3,59 m. | 2.424 | 45.521 | 2.490 | 3.491 | 64.419 | 3.575 | 69,9 |



Gambar 4. Kondisi iklim mikro di bawah setiap tegakan kebun hutan yang menjadi naungan tanaman kapulaga

Tabel 3. Rekapitulasi hasil analisis keragaman pengaruh naungan tegakan terhadap jumlah batang, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah tandan bunga, dan jumlah buah tanaman kapulaga umur 1,5 tahun

| Parameter pertumbuhan | F _{hitung} | F _{(4;10)(5%)} |
|-----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| 1. Jumlah batang per rumpun | 59,876 * | 3,48 |
| 2. Tinggi tanaman | 89,564 * | 3,48 |
| 3. Jumlah daun per rumpun | 48,977 * | 3,48 |
| 4. Jumlah tandan bunga per rumpun | 7,832 * | 3,48 |
| 5. Jumlah buah per tandan buah | 64,800 * | 3,48 |

Keterangan: *= nyata pada taraf nyata 5%

Tabel 4. Jumlah batang, tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah tandan bunga, dan jumlah buah tanaman kapulaga umur 1,5 tahun di bawah lima kondisi naungan tegakan

| Persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan (%) | Rata-rata jumlah batang tanaman kapulaga (batang/rumpun) | Rata-rata tinggi tanaman kapulaga (cm) | Rata-rata jumlah daun (helai/rumpun) | Rata-rata jumlah tandan bunga tanaman kapulaga (tandan bunga/rumpun) | Rata-rata jumlah buah tanaman kapulaga (buah/tandan) |
|---|--|--|--------------------------------------|--|--|
| 45,9 | 29,2 b | 106,1 c | 135,7 c | 18,2 a | 4,7 c |
| 54,0 | 46,4 a | 131,7 b | 218,0 b | 23,6 a | 10,7 a |
| 57,0 | 47,0 a | 139,1 a | 253,9 a | 22,0 a | 8,7 b |
| 62,2 | 47,4 a | 144,1 a | 208,4 b | 23,2 a | 5,7 c |
| 69,9 | 47,4 a | 146,9 a | 199,0 b | 21,9 b | 4,7 c |
| Nilai BNJ (5%) | 4,79 | 8,07 | 28,56 | 3,51 | 1,55 |

Pertumbuhan Kapulaga di Bawah Tegakan Kebun Hutan

Perbedaan persentase radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan kebun hutan berpengaruh nyata terhadap semua parameter pertumbuhan tanaman kapulaga umur 1,5 tahun yang meliputi: jumlah batang per rumpun, tinggi tanaman, jumlah daun per rumpun, jumlah tandan bunga per rumpun, dan jumlah buah per tandan (Tabel 3 dan Tabel 4).

Pertumbuhan kapulaga sangat bervariasi sesuai dengan variasi kondisi naungan tajuk tegakan kebun hutan. Mulai dari kondisi naungan tajuk yang berat menuju ke naungan tajuk yang

ringan, terjadi kecenderungan meningkatnya pertumbuhan kapulaga sampai batas kondisi naungan tertentu kemudian pertumbuhan akan menurun (Tabel 4). Hal ini mengindikasikan bahwa persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan berpengaruh dan memiliki hubungan yang memengaruhi terhadap pertumbuhan tanaman kapulaga. Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk dengan semua parameter pertumbuhan tanaman kapulaga membentuk model regresi kuadratik yang nyata pada taraf nyata 5% (Tabel 5).

Tabel 5. Rekapitulasi hasil analisis keragaman regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan dengan masing-masing parameter pertumbuhan tanaman kapulaga umur 1,5 tahun

| Analisis keragaman regresi kuadratik | F _{hitung} | F _{(2;12)(5%)} | Koefisien korelasi (r) |
|--|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah batang tanaman kapulaga. | 66,899 * | 3,89 | 0,958 |
| Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan tinggi tanaman kapulaga. | 208,051 * | 3,89 | 0,986 |
| Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah daun tanaman kapulaga. | 22,098 * | 3,89 | 0,887 |
| Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah tandan bunga tanaman kapulaga. | 10,175 * | 3,89 | 0,793 |
| Hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah buah tanaman kapulaga. | 8,796 * | 3,89 | 0,771 |

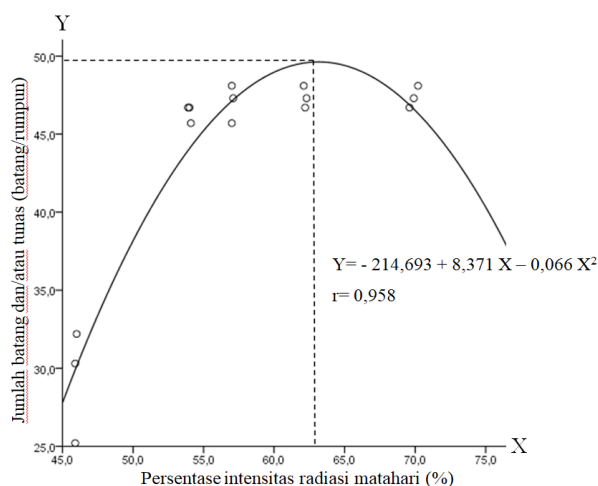
Keterangan: *= nyata pada taraf nyata 5%

Tabel 6. Model regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan (X) dengan masing-masing parameter pertumbuhan tanaman kapulaga umur 1,5 tahun

| Parameter pertumbuhan (Y) | Model regresi kuadratik | t_{hitung} | | | t_{tabel} |
|--------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|
| | | Konstanta regresi (b_0) | Koefisien regresi (b_1) | Koefisien regresi (b_2) | $t_{(2;12)(2,5\%)}$ |
| Jumlah batang per rumpun | $Y = -214,693 + 8,371 X - 0,066 X^2$ | -6,952 * | 7,770 * | -7,154 * | 2,179 |
| Tinggi tanaman | $Y = -269,256 + 12,440 X - 0,093 X^2$ | -7,301 * | 9,670 * | -8,394 * | 2,179 |
| Jumlah daun per rumpun | $Y = -1.469,424 + 56,612 X - 0,470 X^2$ | -5,454 * | 6,024 * | -5,813 * | 2,179 |
| Jumlah tandan bunga per rumpun | $Y = -54,099 + 2,529 X - 0,021 X^2$ | -2,768 * | 3,709 * | -3,521 * | 2,179 |
| Jumlah buah per tandan buah | $Y = -80,930 + 3,156 X - 0,028 X^2$ | -3,513 * | 3,927 * | -4,020 * | 2,179 |

Keterangan: *= nyata pada taraf nyata 5%

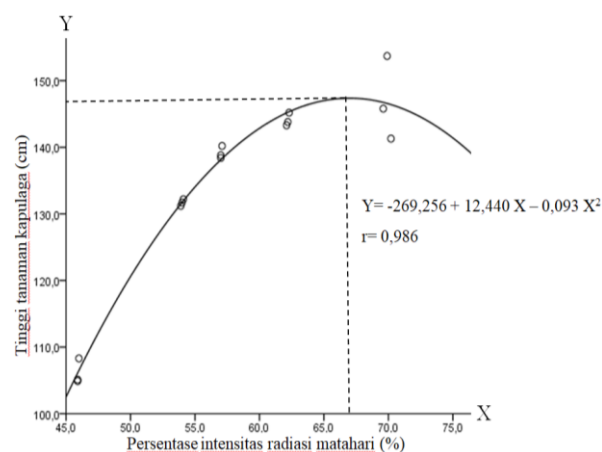
Adapun model regresi kuadratik masing-masing parameter pertumbuhan disajikan pada Tabel 6. Koefisien korelasi (r) antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan dengan jumlah batang per rumpun tanaman kapulaga sebesar 0,958, berarti bahwa hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan (X) dengan jumlah batang per rumpun tanaman kapulaga (Y) adalah sebesar 95,80%. Hubungan tersebut membentuk model regresi kuadratik $Y = -214,693 + 8,371 X - 0,066 X^2$ yang garis regresinya disajikan pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Garis regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan dengan jumlah batang dan/atau tunas per rumpun kapulaga

Nilai korelasi (r) antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan dengan jumlah daun

per rumpun kapulaga sebesar 0,986, berarti bahwa hubungan antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan tinggi tanaman per rumpun kapulaga adalah sebesar 98,60%. Hubungan tersebut membentuk model linear $Y = -269,256 + 12,440 X - 0,093 X^2$

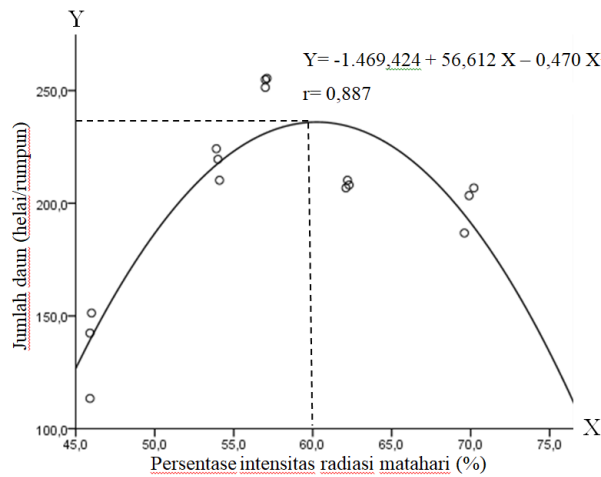


Gambar 6. Garis regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan dengan rata-rata tinggi tanaman kapulaga

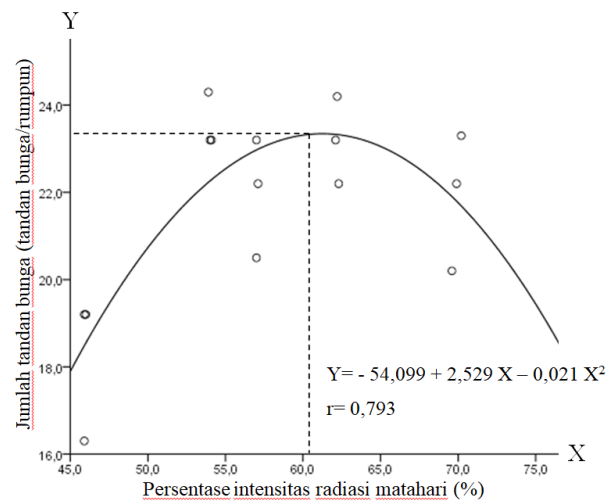
Nilai korelasi (r) antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan dengan jumlah daun per rumpun kapulaga sebesar 0,887, berarti bahwa hubungan antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah daun per rumpun kapulaga adalah sebesar 88,70%. Hubungan tersebut membentuk model linear $Y = -1.469,424 + 56,612 X - 0,470 X^2$

Nilai korelasi (r) antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan dengan jumlah batang

per rumpun kapulaga sebesar 0,793, berarti bahwa hubungan antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah tandan bunga per rumpun kapulaga adalah sebesar 79,30%. Hubungan tersebut membentuk model linear $Y = - 54,099 + 2,529 X - 0,021 X^2$



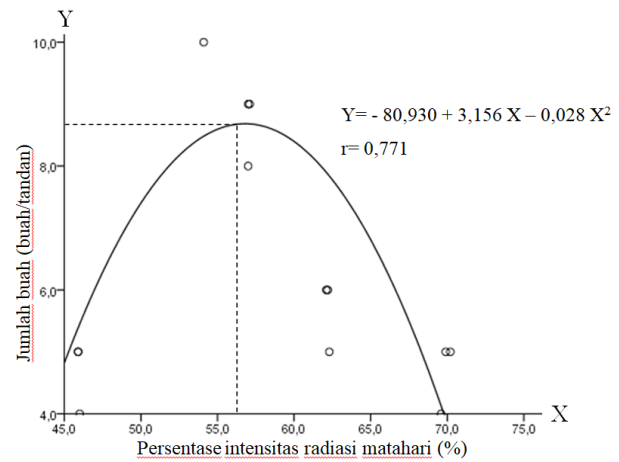
Gambar 7. Garis regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan dengan jumlah daun per rumpun kapulaga



Gambar 8. Garis regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan dengan jumlah tandan bunga per rumpun kapulaga

Nilai korelasi (r) antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan dengan jumlah batang per rumpun kapulaga sebesar 0,771, berarti bahwa hubungan antara intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dengan jumlah buah

per tandan buah kapulaga adalah sebesar 77,10%. Hubungan tersebut membentuk model linear $Y = - 80,930 + 3,156 X - 0,028 X^2$



Gambar 9. Garis regresi kuadratik hubungan antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk pohon dengan jumlah buah per tandan buah kapulaga

Berdasarkan garis regresi kuadratik (Gambar 5, Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9) menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuk tegakan dibutuhkan oleh tanaman kapulaga dalam besarnya intensitas tertentu untuk pertumbuhan tanaman kapulaga secara optimal. Kondisi iklim mikro di areal pertanaman kapulaga di bawah tegakan kebun hutan dipengaruhi oleh naungan dari tajuk pohon-pohon penyusun tegakannya (Murugan *et al.*,2022). Naungan tajuk tegakan menentukan besarnya intensitas radiasi matahari, temperatur udara, dan kelembapan udara yang berada di areal pertanaman kapulaga.

Oleh karena itu, perbaikan pertumbuhan tanaman kapulaga bisa tercapai pada kondisi iklim mikro yang sesuai. Pertumbuhan vegetatif tanaman kapulaga, seperti jumlah batang, tinggi tanaman, dan jumlah daun tampak baik pada naungan agak ringan dengan persentase intensitas radiasi matahari antara 57,0—69,9 %, sedangkan pertumbuhan generatif tanaman kapulaga, seperti jumlah tandan bunga per rumpun dan jumlah buah per tandan tampak baik pada naungan agak berat dengan persentase intensitas radiasi matahari sebesar 54,0 %. Yang *et al.* (2021) mengemukakan bahwa pada umumnya tanaman saat fase pertumbuhan vegetatif membutuhkan intensitas radiasi matahari tinggi untuk proses fotosintesis, sehingga naungan ringan bisa

berpengaruh lebih baik terhadap pertumbuhan organ vegetatif tanaman. Adapun pada fase pertumbuhan generatif intensitas radiasi matahari yang dibutuhkan lebih rendah dibandingkan pada fase pertumbuhan vegetatif (Yang *et al.*, 2021), hal ini diduga bahwa daun tanaman makin memiliki kemampuan memanfaatkan energi radiasi matahari secara lebih efisien untuk proses pertumbuhan generatif. Amthor (2010) dan Mubarak *et al.* (2018) mengemukakan bahwa kondisi pertumbuhan tanaman bergantung kepada besarnya energi radiasi matahari yang ditangkap oleh tanaman dan bergantung efisiensi konversi energi yang diserap dalam proses fotosintesis tanaman.

Menurut Alagupalamuthirsolai *et al.* (2018), intensitas radiasi matahari yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat menyebabkan adanya fotoinhibisi yang menghambat pembentukan klorofil pada daun, mengganggu kenormalan aktivitas membuka dan menutupnya stomata, dan mengganggu efektivitas fotosintesis. Lebih lanjut Alagupalamuthirsolai *et al.* (2019) mengemukakan bahwa adanya fotoinhibisi juga menyebabkan konduktansi stomata akan berkurang sehingga efektivitas fotosintesis berkurang, dan hal ini diduga berakibat produksi buah kapulaga menurun. Sejalan dengan pernyataan Taufiq & Sundari (2012) bahwa radiasi matahari merupakan salah satu faktor dari banyak faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Pada intensitas radiasi matahari yang tinggi bisa menghambat laju fotosintesis tanaman terutama pada fase reproduktif (Taufiq & Sundari, 2012), sehingga akan terjadi fotoinhibisi yang dapat menurunkan produksi buah tanaman (Mubarak *et al.* (2018).

Selain radiasi matahari, bahwa pertumbuhan tanaman juga dipengaruhi oleh temperatur dan kelembapan udara. Setiap jenis tanaman memiliki besarnya kisaran toleransi faktor-faktor ekologis untuk pertumbuhannya, misalnya temperatur udara, kelembapan udara, radiasi matahari, dan lain sebagainya, sehingga selalu ada kondisi ekologis yang optimum untuk pertumbuhan tanaman (Indriyanto, 2017). Pada temperatur udara optimum bagi suatu jenis tanaman, menyebabkan laju pertumbuhan tanaman menjadi tinggi (Andriani & Karmila 2019). Nepal *et al.*(2022) mengemukakan bahwa untuk tanaman kapulaga, kondisi temperatur udara yang semakin rendah menyebabkan produktivitas tanaman kapulaga semakin tinggi, sebaliknya tempertur udara semakin tinggi berpengaruh buruk terhadap produktivitas tanaman kapulaga. Lebih lanjut

Nepal *et al.*(2022) mengemukakan bahwa pada kondisi kelembapan udara lebih dari 65% di areal pertanaman kapulaga di Sankhuwasabha (Nepal) menyebabkan produktivitas tanaman kapulaga lebih baik dibandingkan pada kondisi kelembapan udara 53%--64%.

Pertumbuhan jumlah batang kapulaga per rumpun yang paling baik diperkirakan terjadi pada persentase intensitas radiasi matahari sebesar 63,0% dengan jumlah batang kapulaga per rumpun sebanyak 49,5 batang/rumpun (Gambar 5). Pertumbuhan tinggi tanaman kapulaga yang paling baik diperkirakan terjadi pada persentase intensitas radiasi matahari sebesar 67,0% dengan rata-rata tinggi sebesar 146,74 cm (Gambar 6). Pertumbuhan jumlah daun tanaman kapulaga yang paling baik diperkirakan terjadi pada persentase intensitas radiasi matahari sebesar 60,0% dengan rata-rata jumlah daun per rumpun sebanyak 235,296 helai (Gambar 7).

Pertumbuhan generatif tanaman kapulaga, seperti jumlah tandan bunga dan jumlah buah per tandan buah tampak baik pada naungan agak berat. Pertumbuhan jumlah tandan bunga per rumpun yang paling baik diperkirakan terjadi pada persentase intensitas radiasi matahari sebesar 60,5% dengan jumlah tandan bunga per rumpun sebanyak 23,4 tandan (Gambar 8). Adapun pertumbuhan jumlah buah kapulaga yang paling baik diperkirakan terjadi pada persentase intensitas radiasi matahari sebesar 56,0% dengan jumlah buah sebanyak 8,7 buah/tandan (Gambar 9).

Seiring dengan variasi kondisi naungan tajuk dari lima tegakan kebun hutan yang diteliti, juga terjadi variasi pertumbuhan kapulaga yang dibudidayakan di bawah naungan tegakan ini. Di antara kelima tegakan kebun hutan tersebut, terindikasi bahwa tegakan 2 paling baik pengaruhnya terhadap pertumbuhan kapulaga (meliputi variabel tinggi tanaman, jumlah daun, dan jumlah buah) dibandingkan dengan tegakan 1, tegakan 3, tegakan 4, dan tegakan 5. Tegakan 2 merupakan tegakan dengan komposisi jenis pohon terdiri atas empat jenis, yaitu durian, cengkeh, pala, dan petai yang persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tajuknya sebesar 54,0%, temperatur udara sebesar 28,5° C, dan kelembapan udara sebesar 86,3%. Penaung tanaman kapulaga tidak harus merupakan tegakan pohon secara monokultur atau homogen jenisnya, tetapi bisa juga tegakan kebun hutan tanaman dengan komposisi beberapa jenis pohon. Koirala *et al.* (2022) mengemukakan

bahwa komposisi dari jenis-jenis pohon tertentu akan membentuk kondisi habitat atau tempat tumbuh yang sesuai bagi tanaman asosiasinya yang dibudidayakan di bawahnya, misalnya kapulaga.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Terdapat hubungan secara nyata antara persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan dengan pertumbuhan kapulaga yang ditanam di bawah tegakan kebun hutan. Perbedaan persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan kebun hutan berpengaruh terhadap pertumbuhan kapulaga. Kondisi naungan tegakan 2 yang komposisi jenis pohonnya terdiri atas pohon durian, cengkeh, pala, dan petai dengan persentase intensitas radiasi matahari sebesar 54,0% berpengaruh paling baik terhadap tinggi tanaman kapulaga, jumlah daun, dan jumlah buah dibandingkan dengan tegakan yang lainnya. Semua variabel pertumbuhan kapulaga berhubungan secara kuadrat dengan persentase intensitas radiasi matahari di bawah naungan tegakan, sehingga diprediksi kisaran persentase intensitas radiasi matahari untuk pertumbuhan optimal tanaman kapulaga adalah 54,0% hingga 67,0%.

Saran

Disarankan menanam kapulaga di areal bawah tegakan hutan, tegakan kebun, maupun tegakan kebun hutan yang jarak antarpohonnya lebih kurang 3,55 m agar intensitas radiasi matahari di bawah tegakan memenuhi kisaran yang dibutuhkan untuk pertumbuhan optimal tanaman kapulaga. Disarankan melakukan penelitian pemupukan untuk lebih meningkatkan pertumbuhan tanaman kapulaga serta untuk menganalisis ada atau tidak adanya interaksi antara pemberian pupuk dengan intensitas radiasi matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung yang telah memfasilitasi pembiayaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para petani anggota

Gapoktanhut Wana Raya yang telah membantu pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, B., Purwanto, R. H., Sabarnurdin, S., & Sumardi. (2016). "Pola tanam dan pendapatan petani hutan rakyat di region atas Kabupaten Ciamis." *Jurnal Kawistara* 6(3):225–324. DOI: 10.22146/kawistara.23014
- Alagupalamuthirsolai, M., Ankegowda, S. J., & Krishnamurthy, K. S. (2018). "Effect of different shade levels on growth, physiology and biochemical characteristics of small cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton.)." *Current Journal of Applied Science and Technology* 28(1):1–9. DOI: 10.9734/CJAST/2018/42040
- Alagupalamuthirsolai, M., Ankegowda, S. J., Murugan, M., Sivaranjani, R., Rajkumar, B., & Akshitha, H. J. (2019). "Influence of light intensity on photosynthesis, capsule yield, essential oil and insect pest incidence of small cardamom (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton)." *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 22(5):1172–81. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2019.1690587>
- Amthor, J. S. (2010). "From sunlight to phytomass: on the potential efficiency of converting solar radiation to phyto-energy." *New Phytologist* (188):939–959. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03505.x
- Andriani, V. & Karmila, R. (2019). "Pengaruh temperatur terhadap kecepatan pertumbuhan kacang tolo (*Vigna Sp.*)" *Stigma* 12(1):49–53.
- Aryadi, M. & Fauzi, H. (2013). "Pengelolaan sistem sgroforestri tradisional (Dukuh) oleh masyarakat Desa Sungai Langsung Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan." Pp. 673–78 in *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri 2013: Agroforestri untuk Pangan dan Lingkungan yang Lebih Baik*, edited by Kuswantoro, D. P., Widyaningsih, T. S., Fauziyah, E., & Rachmawati, R. Malang: Balai Penelitian Teknologi Agroforestry, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, World Agroforestry

- Centre (ICRAF), & Masyarakat Agroforestri Indonesia.
- Busyra, B. S. & Firdaus. (2010). *Rekomendasi pemupukan tanaman padi dan palawija pada lahan kering di Provinsi Jambi*. First ed. Jambi: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jambi.
- Diniyati, D., Fauziyah, E., & Widyaningsih, T. S. (2014). "Upaya peningkatan kualitas dan produktivitas tanaman kapulaga sebagai tanaman sela di hutan rakyat." *Jurnal Penelitian Agroforestry* 2(1):21–34.
- Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat. (2019). *Standar Operasional Prosedur (SOP) Kapulaga (Amomum cardamomum) Kabupaten Tasik Malaya*. Jakarta: Direktorat Jenderal Hortikultura Kementerian Pertanian.
- Gapoktanhut Wana Raya. (2019). *Profil Kelompok Tani Hutan Wana Raya*. Pesawaran: Desa Talangmulya Kecamatan Teluk Pandan.
- Indriyanto. (2017). *Ekologi Spesies Pohon*. Yogyakarta: Plantaxia.
- Indriyanto & Asmarahman, C. (2019). "Jenis tanaman penyusun tegakan sebagai sumber pangan di areal garapan petani gabungan KPPH Sumber Agung dalam Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman." Pp. 372–382 in *Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Biologi Indonesia XXV*. Bandar Lampung: Perhimpunan Biologi Indonesia Cabang Lampung.
- Indriyanto. (2022). "Komposisi, dominansi, dan tingkat kesamaan tegakan antarpetak garapan petani di Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman." *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 11(2):139–51. <http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2022.vol11i2ss2pp139-151>
- Janani, P. (2019). "Shade management in cardamom: towards higher productivity." *Agrobios Newsletter XVIII(01):53–54*. <https://www.researchgate.net/publication/334965104>
- Junaidi, E. & Indrajaya, Y. (2018). "Respon hidrologi akibat penerapan pola agroforestri pada penggunaan lahan yang tidak sesuai kesesuaian lahan: studi kasus di DAS Cimuntur." *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea* 7(1):69–81. <http://dx.doi.org/10.18330/jwallacea.2018.vol7iss1pp69-81>
- Juwitaningsih, T., Jahro, L. S., & Sari, S. A. (2020). "Evaluation of North Sumatera cardamom seed (*Amomum compactum*) extract as antibacterial and anticancer." *Journal of Physics: Conference Series* 1485(012019):1–6. DOI:10.1088/1742-6596/1485/1/012019
- Koirala, B. S., Suberi, B., Sherub, K., Chhetri, R., & Gyeltshen, T. (2022). "Agroforestry species composition and growth of black cardamom in different habitats along altitudinal gradient, Bhutan." *Research Square* 1–12. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2302980/v1>
- Kumar, K. P., Hrideek, T. K., Paul, J., & Kuruvilla, K. M. (2012). "Shade trees and its importance in cardamom plantations." *Indian Journal of Arecanut, Spices, & Medicinal Plants* 14(4):22–26. <https://www.researchgate.net/publication/280131535>
- Mohammad, R., Cahyo, P., Syahrul, K., & Arfarita, N. (2022). "Improving land management and productivity of cardamom (*Amomum compactum*) based agroforestry system for fulfilment of anti Covid 19 biopharmaceutical raw materials." *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences* 2(122):74–83. DOI 10.18551/rjoas.2022-02.09
- Mubarak, S., Impron, & June, T. (2018). "Efisiensi penggunaan radiasi matahari dan respon tanaman kedelai (*Glycine max* L.) terhadap penggunaan mulsa reflektif." *Jurnal Agronomi Indonesia* 46(3):247–53. <https://dx.doi.org/10.24831/jai.v46i3.18220>
- Murniati, Suharti, S., Minarningsih, Nuroniah, H. S., Rahayu, S., & Dewi, S. (2022). "What makes agroforestry a potential restoration measure in a degraded conservation forest." *Forests* 13(267):1–17. <https://doi.org/10.3390/f13020267>
- Murugan, M., Ashokkumar, K., Alagupalamuthirsolai, M., Anandhi, A., Ravi, R., Dhanya, M. K., & Sathyan. T. 2022. "Understanding the effects of

- cardamom cultivation on its local environment using novel systems thinking approach-the case of Indian cardamom Hills.” *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6(728651):1–12. DOI: 10.3389/fsufs.2022.728651
- Nepal, M., Gupta, S. P., & Adhikari, B. (2022). “Effect of temperature, rainfall, cloud, and humidity on production of large cardamom in Sankhuwasabha, Nepal.” *Middle European Scientific Bulletin* (21):50–61. <https://www.researchgate.net/publication/359841078>
- Nurzaman, M., Pridani, S. R. D., & Setiawati, T. (2020). “Respon pertumbuhan kapulaga lokal (*Amomum compactum* Soland Ex. Maton) dan kapulaga sabrang (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton Var. Mysore) terhadap cekaman kekeringan.” *Jurnal Pro-Life* 7(1):27–41. <https://doi.org/10.33541/jpvol6Iss2pp102>
- Praditha, A. N., Hartady, T., & Atik, N. (2020). “Kajian pustaka: pemanfaatan biji kapulaga jawa (*Amomum compactum*) sebagai antiinflamasi dan antibiotic growth promoter alternatif untuk ternak.” *Indonesia Medicus Veterinus* 9(6):959–69. DOI: 10.19087/imv.2020.9.6.959
- Prasetyo. (2004). “Budidaya kapulaga sebagai tanaman sela pada tegakan sengon.” *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia* 6(1):22–31.
- Qonita, A., Riptanti, E. W., & Uchyani, R. (2018). “Sustainability of aardamom comparative advantage in Central Java Province, Indonesia.” *Preprints* 2018070573. 10.20944/preprints201807.0573.v1
- Ranganathan, V. (2018). “Chasing productivity in cardamom (*Elettaria cardamomum* Maton).” *Indian Journal of Plant and Soil* 5(1):5–12. <http://dx.doi.org/10.21088/ijps.2348.9677.5118.1>
- Siarudin, M., Rahman, S. A., Artati, Y., Indrajaya, Y., Narulita, S., Ardha, M. J., & Larjavaara, M. (2021). “Carbon sequestration potential of agroforestry systems in degraded landscapes in West Java, Indonesia.” *Forests* 12(714):1–13. <https://doi.org/10.3390/f12060714>
- Taufiq, A. & Sundari, T. 2012. “Respon tanaman kedelai terhadap lingkungan tumbuh.” *Buletin Palawija* 23:13–26.
- Triwanto, J. & Muttaqin, T. (2013). “Analisis usaha tani masyarakat pada berbagai tingkat perkembangan agroforestry di RPH Pujon Kidul, BKPH Pujon, KPH Malang.” Pp. 635–44 in *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri 2013: “Agroforestri untuk Pangan dan Lingkungan yang Lebih Baik”*. Malang: Balai Penelitian Teknologi Agroforestry Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya, World Agroforestry Centre (ICRAF), & Masyarakat Agroforestri Indonesia.
- Tynsong, H., Tiwari, B. K., & Dkhar, M. 2017. “Plant diversity in betel leaf agroforestry of South Meghalaya, Northeast India.” *Asian Journal of Forestry* 2(1):1–11. 10.13057/asianjfor/r020101
- UPTD Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman. (2017). *Blok Pengelolaan Taman Hutan Raya Wan Abdul Rachman Provinsi Lampung*. Bandar Lampung: Dinas Kehutanan Provinsi Lampung.
- Witarsa, U. (2019). “PLBT dengan Kapulaga.” https://Dlhc.Bantenprov.Go.Id/Upload/Article/2019/PLBT_dengan_kapolaga.pdf. Diakses pada tanggal 20 Januari 2022.
- Yang, Y., Guo, X., Liu, G., Liu, W., Xue, J., Ming, B., Xie, R., Wang, K., Hou, P., & Li, S. (2021). “Solar radiation effects on dry matter accumulations and transfer in maize.” *Frontiers in Plant Science* 12(727134):1–13. DOI:10.3389/fpls.2021.727134