

PENGEMBANGAN AGROEKOSISTEM KELAPA SAWIT- KEDELAI DENGAN PENGGUNAAN MULSA REFLEKTIF UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KEDELAI PADA LAHAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

TAUFAN HIDAYAT



**KLIMATOLOGI TERAPAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Pengembangan Agroekosistem Kelapa Sawit–Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif untuk Peningkatan Produktivitas Kedelai pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, November 2020

Taufan Hidayat
G261160021

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

TAUFAN HIDAYAT. Pengembangan Agroekosistem Kelapa Sawit–Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif untuk Peningkatan Produktivitas Kedelai pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit. Dibimbing oleh YONNY KOESMARYONO, IMPRON, dan MUNIF GHULAMAHDHI.

Kebutuhan kedelai nasional mengalami peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Peningkatan kebutuhan kedelai tidak diikuti oleh peningkatan produksi nasional. Hal ini menyebabkan Indonesia harus melakukan impor kedelai dari negara-negara produsen kedelai dunia. Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi kedelai nasional adalah dengan meningkatkan luas tanam melalui pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit yang potensinya mencapai 14 juta hektar. Namun pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit dibatasi oleh kondisi lingkungan fisik yang tidak kondusif, terutama intensitas cahaya yang rendah. Modifikasi iklim mikro dapat dilakukan melalui penggunaan mulsa reflektif sebagai usaha meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit, sehingga dapat memperbaiki kualitas lingkungan fisik agar kondusif bagi tanaman sela di bawahnya. Untuk itu, diperlukan penelitian yang komprehensif untuk mengetahui efektifitas penggunaan mulsa reflektif terhadap tanaman kedelai yang dibudidayakan di bawah tegakan kelapa sawit dan perannya dalam meningkatkan produktivitas lahan dan pendapatan petani.

Penelitian ini mempunyai tiga tujuan utama, pertama adalah menganalisis kemampuan refleksi beberapa jenis mulsa reflektif anorganik dan organik dalam meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai. Kedua adalah menganalisis pengaruh penggunaan mulsa reflektif terhadap karakteristik iklim mikro, morfologi, fisiologi dan produksi kedelai di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit. Ketiga adalah menganalisis efisiensi penggunaan lahan dan kelayakan nilai ekonomi sistem usaha tani budidaya kedelai yang ditanam sebagai tanaman sela dengan penggunaan mulsa reflektif pada beberapa kelompok umur perkebunan kelapa sawit.

Penelitian ini dilaksanakan sejak Januari hingga November 2018 di Perkebunan Kelapa Sawit PTPN VIII Kabupaten Lebak Banten. Bahan yang digunakan diantaranya adalah benih kedelai varietas anjasmoro, pupuk, mulsa reflektif dan sarana produksi lainnya serta data iklim dan analisis tanah. Alat yang digunakan meliputi alat-alat budidaya tanaman, meteorologi, LI-6400XT dan alat-alat analisis sampel tanaman lainnya. Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam lima tahap. Pertama survei dan pengumpulan data iklim serta tanah di lokasi penelitian, kedua analisis albedo beberapa jenis mulsa reflektif anorganik (mulsa metalik dan mulsa plastik hitam perak) dan organik (sekam padi kering dan daun kelapa sawit kering). Ketiga menganalisis intersepsi dan transmisi radiasi surya pada beberapa kelompok umur tanaman kelapa sawit, keempat menganalisis efektifitas penggunaan mulsa reflektif pada budidaya kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur tanaman kelapa sawit, dan kelima menganalisis produktivitas lahan dan kelayakan nilai ekonomi sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi peningkatan intensitas refleksi radiasi surya pada lahan terbuka pada sistem pertanaman kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar 147% dan mulsa reflektif organik

63%, sedangkan penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit meningkatkan intensitas refleksi radiasi permukaan lahan sebesar 169% dengan mulsa reflektif anorganik dan 59% pada mulsa organik. Mulsa reflektif juga meningkatkan intersepsi radiasi surya dan efisiensi radiasi surya, menurunkan suhu tanah pada siang hari dan memperkecil perbedaan suhu tanah antar kedalaman, serta mampu mempertahankan kelembaban tanah di bawah tegakan kedelai yang ditanam sebagai tanaman sela pada perkebunan kelapa sawit.

Mulsa reflektif anorganik dan organik berkontribusi positif terhadap kedelai yaitu tinggi dan diameter batang, luas dan indeks luas daun, lebar stomata, biomassa, berat daun spesifik, laju pertumbuhan tanaman, laju pertumbuhan relatif, dan menekan rasio etiolasi. Laju fotosintesis kedelai juga mengalami peningkatan dengan penggunaan mulsa reflektif, terutama pada daun-daun yang berada bagian bawah yang meningkat signifikan ($p < 0,05$) dari $20,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada lahan tanpa mulsa reflektif, menjadi $23,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan $24,74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada penggunaan mulsa reflektif organik. Mulsa reflektif anorganik dan organik secara signifikan ($p < 0,05$) meningkatkan jumlah polong bernas, berat biji 100 butir, dan produktivitas kedelai. Produktivitas kedelai rata-rata meningkat sebesar 31,3% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 38,4% pada mulsa reflektif organik.

Efisiensi penggunaan lahan tertinggi terdapat sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun, baik dengan mulsa reflektif anorganik, organik dan tanpa mulsa dengan masing-masing LER adalah 2,0; 1,9 dan 1,8. Hasil analisis usaha tani terhadap sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai, pendapatan tertinggi diperoleh pada umur kelapa sawit 5 tahun diikuti oleh kelapa sawit 4 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif organik, dan selanjutnya pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun dengan mulsa reflektif anorganik. Nilai rasio R/C tertinggi pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai sebesar 3,0 terdapat pada umur kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun dengan mulsa reflektif organik, dan kemudian 2,7 terdapat pada umur kelapa sawit 4 dan 5 tahun tanpa mulsa. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya serta dapat memperbaiki kualitas iklim mikro yang lebih kondusif untuk pertumbuhan kedelai di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit. Mulsa reflektif berkontribusi positif terhadap perbaikan karakteristik morfologi, fisiologi dan produksi kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun. Efisiensi penggunaan lahan tertinggi terdapat terdapat sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit 4 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik, selanjutnya pada penggunaan mulsa reflektif organik, dan berikutnya pada lahan tanpa mulsa reflektif pada lokasi yang sama. Hasil analisis usaha tani, pendapatan dan nilai rasio R/C tertinggi terdapat pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif organik pada umur kelapa sawit 4 dan 5 tahun. Mulsa reflektif organik atau daun kelapa sawit kering direkomendasikan pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan umur kelapa sawit maksimum 5 tahun (≤ 5 tahun).

Kata kunci: fotosintesis, kedelai, kelapa sawit, mulsa reflektif, tanaman sela

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

TAUFAN HIDAYAT. Development of Oil Palm - Soybean Agroecosystem Using Reflective Mulch to Increase Soybean Productivity on Oil Palm Plantation. Supervised by YONNY KOESMARYONO, IMPRON, and MUNIF GHULAMAHDHI.

National soybean demand has increased significantly from year to year. The increase in demand for soybeans did not follow by an increase in national production. This causes that Indonesia needs to import soybeans from soybean-producing countries. One of the efforts to increase national soybean production is by increasing the planted area through the use of land under oil palm stands which has the potential to reach the 14 million hectares. However, land use under oil palm stands is limited by physical environmental conditions, especially low light intensity. Microclimate modification can be done through the use of reflective mulch to increase the intensity of solar radiation reflection under the palm oil stands. This will improve the quality of the physical environment to have a conducive condition for the intercropping. Therefore it needs comprehensive research to determine the effectiveness of using reflective mulch on soybean plants cultivated under oil palm stands and its role in increasing land productivity and farmer's income.

This research has three main objectives, first is to analyze the ability of reflection of several types of inorganic and organic reflective mulch to increase the intensity of solar radiation reflection in the oil palm-soybean intercropping system. The second objective is to analyze the effect of using reflective mulch on the characteristics of microclimate, morphology, physiology, and soybean production under oil palm plantations. The third objective is to analyze the efficiency of land use and the feasibility of the economic value of the farming system for soybean cultivation which is planted as an intercrop with the use of reflective mulch in several age groups of oil palm plantations.

This research was conducted from January to November 2018 in the Oil Palm Plantation PTPN VIII, Lebak Banten Regency. The materials used include seeds, fertilizers, reflective mulch, and other production tools as well as climate and soil data analysis. The tools used include plant cultivation tools, meteorology equipment, LI-6400XT, and other plant sample analysis tools. The research was carried out in five stages. The first stage is survey and data collection on climate and soil at the research location. The second stage is albedo analysis of several types of reflective inorganic mulch (metallic mulch and silver black plastic mulch) and organic (dry rice husk, and dry palm leaves). The third stage is analyzing the interception and transmission of solar radiation in several age groups of oil palm plants and continue with an analysis of the effectiveness of using reflective mulch in soybean cultivation under stands of several age groups of oil palm plantations, land productivity, and the last stage is analyzing the land productivity and the economic value of the soybean-palm oil intercropping system.

The results show that there was an increase in the reflection intensity of solar radiation on open land in the soybean using reflective inorganic mulch (147%) and 63% using organic reflective mulch. The use of reflective mulch under oil palm stands increased the intensity of surface reflected radiation reflection around 169%

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

IPB University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

using inorganic mulch and 59% using organic reflective mulch. Reflective mulch also increases solar radiation interception and solar radiation efficiency, lowers soil temperature during the day and minimizes soil temperature differences between depths, and can maintain soil moisture under soybean stands planted as intercropping on oil palm plantations.

Inorganic and organic reflective mulch contributed positively to the physical growth of soybeans such as stem height and diameter, leaf area and index of leaf area, stomata width, biomass, specific leaf weight, plant growth rate, relative growth rate, and reduced etiolation ratio. The photosynthetic rate of soybean also increased with the use of reflective mulch, especially on the lower leaves of the stand which experienced a significant increase ($p < 0,05$) from $20,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ in the control, to $23,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for inorganic reflective mulch and $24,74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ for using organic reflective mulch. Reflective inorganic and organic mulch significantly ($p < 0,05$) increased the number of pithy pods, 100-grain weight, and soybean productivity. Soybean productivity increased by 31,3% on inorganic reflective mulch and 38,4% using organic reflective mulch.

The highest land use efficiency is on the 4 years old soybean-oil palm intercropping system, both with reflective inorganic mulch, organic and without mulch with LER of 2,0; 1,9 and 1,8 respectively. The results of the analysis of farming on the oil palm-soybean intercropping system in the highest income were obtained at 5 years of oil palm age followed by 4 years of oil palm using organic reflective mulch, and then at 5 year old soybean-oil palm intercropping system with inorganic reflective mulch. The highest R/C ratio value of 3,0 in the oil palm-soybean intercropping system was found at the age of 4 and 5 years old oil palm with organic reflective mulch, then the value of 2,7 was found at 4 and 5 years old palms without mulch.

The use of inorganic and organic reflective mulch can increase the intensity of solar radiation reflection and improve the quality of the microclimate that is more conducive to soybean growth under oil palm plantations. Reflective mulch contributed positively to the improvement of morphological, physiological, and production characteristics of soybean grown under 4, 5, and 8 years old oil palm stand. The highest land use efficiency was the 4-year soybean-oil palm intercropping system with the use of reflective inorganic mulch, then on the use of organic reflective mulch, and then on land without reflective mulch at the same location. The results of the analysis of farming, income, and the highest R/C ratio were found in the oil palm-soybean intercropping system using organic reflective mulch at the age of 4 and 5 years of oil palms. Organic reflective mulch or dry oil palm leaves is recommended for oil palm-soybean intercropping systems with a maximum palm oil age of 5 years (≤ 5 years).

Keywords: intercropping, oil palm, photosynthesis, reflective mulch, soybean



© Hak Cipta Milik IPB, tahun 2020 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PENGEMBANGAN AGROEKOSISTEM KELAPA SAWIT- KEDELAI DENGAN PENGGUNAAN MULSA REFLEKTIF UNTUK PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KEDELAI PADA LAHAN PERKEBUNAN KELAPA SAWIT

TAUFAN HIDAYAT

Disertasi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Klimatologi Terapan

**KLIMATOLOGI TERAPAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2020**

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Dr. Ir. Tania June, M.Sc.
- 2 Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S.

Promotor Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Ir. Syafaruddin, Ph.D.
- 2 Dr. Ir. Tania June, M.Sc.



Judul Disertasi : Pengembangan Agroekosistem Kelapa Sawit–Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif untuk Peningkatan Produktivitas Kedelai pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit

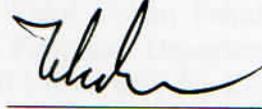
Nama : Taufan Hidayat
NIM : G261160021

@Hak cipta milik PB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar PB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin PB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, M.S.



Pembimbing 2:
Dr. Ir. Impron, M.ScAgr.

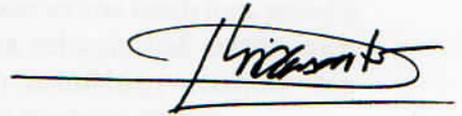


Pembimbing 3:
Prof. Dr. Munif Ghulamahdi, M.S.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Drs. Bambang Dwi Dasanto, M.Si.
NIP 196509191992031002



Dekan Sekolah Pascasarjana:
Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Eng.
NIP 196004191985031002




Tanggal Ujian Tertutup:
13 Oktober 2020

Tanggal Lulus:
18 November 2020



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas taufik dan hidayah-Nya sehingga disertasi Program Doktor pada Program Studi Klimatologi Terapan Sekolah Pascasarjana Insitut Pertanian Bogor yang berjudul “Pengembangan Agroekosistem Kelapa Sawit–Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif untuk Peningkatan Produktivitas Kedelai pada Lahan Perkebunan Kelapa Sawit” dapat diselesaikan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor IPB University, Wakil Rektor IPB University Bidang Akademik, Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University, Pimpinan Departemen Geofisika dan Meteorologi, Dekan Sekolah Pascasarjana IPB University, dan Ketua Program Klimatologi Terapan Sekolah Pascasarjana IPB University yang telah memberikan kesempatan dan izin sekaligus memberikan dorongan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan pendidikan doktor di IPB University.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Yonny Koesmaryono, M.S. selaku Ketua Komisi Pembimbing atas arahan, saran, motivasi, kesempatan dan waktunya. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Impron, M.ScAgr. dan Bapak Prof. Dr. Ir. Munif Ghulamahdi, M.S. selaku Anggota Komisi Pembimbing yang telah banyak memberikan ide, saran dan motivasi kepada penulis sehingga penelitian dan penulisan disertasi ini dapat diselesaikan. Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ibu Dr. Ir. Tania June, M.Sc. atas kontribusinya pada Ujian Tertutup dan Sidang Promosi Terbuka. Penghargaan dan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Sudradjat, M.S. atas kesediaannya menjadi Penguji Luar Komisi pada Ujian tertutup, dan Bapak Ir. Syafaruddin, Ph.D atas kesediaannya menjadi Penguji Luar Komisi pada Sidang Promosi Terbuka, yang telah berkontribusi terhadap penyempurnaan dan menambah wawasan penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh Staf Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB yang telah membina, mendidik dan memfasilitasi penulis dari sejak program sarjana hingga program doktor.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang saat ini telah berubah menjadi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan atas kesempatan untuk melanjutkan studi Program Doktor. Terima kasih kepada Kementerian Keuangan melalui LPDP yang telah memberikan bantuan pendidikan melalui beasiswa BUDI-DN tahun 2016.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Syiah Kuala (Unsyiah) dan Dekan Fakultas Pertanian Unsyiah Banda Aceh atas izin yang telah diberikan kepada penulis untuk menempuh pendidikan doktoral di Sekolah Pascasarjana IPB University. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada Ketua dan seluruh Staf Pengajar Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Unsyiah atas dukungan dan bantuannya selama penulis menyelesaikan studi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Pak Haruna M.Si., Pak Andi Ihwan M.Si., Pak Taryono Darusman M.Si., dan Ibu Ai Farida M.Sc. serta semua teman-teman Program Doktor dan Magister Klimatologi Terapan atas bantuan, kebersamaan dan keceriaannya selama studi dan penulisan disertasi di ruang CR (*Common Room*).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Terima kasih kepada Direksi PTPN VIII dan seluruh Manajemen Kebun Cisalak Baru yang membawahi kebun kelapa sawit Bantarjaya Cimarga, Kabupaten Lebak Provinsi Banten atas izin melaksanakan penelitian, khususnya Pak Ir. Kusmayadi, Pak Agus, Pak Aep serta seluruh staf dan karyawan, yang telah membantu penulis selama penelitian. Anggy Riskha Putri Setyadi, Mufika Haryu S F dan I Gusti Putu Putra terima kasih atas bantuan dan kerjasama timnya selama pelaksanaan penelitian. Terima kasih juga saya ucapkan kepada Bapak Fajar Siddiq Karimullah di Rangkasbitung sekeluarga atas kebaikan hatinya telah fasilitas tempat tinggal selama penelitian.

Ucapan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada kedua orang tua saya Ayahanda Drs. H. Djalaluddin Syah (Alm.), Ibunda Hj. Cut Nurhayani (Almh.), Cut Akak Dara Tasliana SPd dan Cut Abang Taufik Fuadi SE atas semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan studi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Keluarga besar Mak Bang Cut Manih dan Mak Da Chasidah serta Teuku Muhammad Razi (Abang Edi) sekeluarga yang telah dukungannya kepada penulis sejak program S1, S2 dan S3 di IPB Bogor.

Ucapan terima kasih teristimewa untuk istri tercinta Dr. drh. Hamny Sofyan, M.Si. dan ananda Syahira Lathifa Azzahra serta ananda Malik Amru Al-Fansury (Alm.) atas bantuan, pengorbanan, pengertian dan kasih sayangnya kepada penulis selama studi.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh rekan mahasiswa pascasarjana khususnya Forum Keluarga Unsyiah-Bogor (FORKUB), Ikatan Mahasiswa Pascasarjana Aceh (IKAMAPA), para *Awardee* BUDI-DN LPDP 2016, semoga sahabat-sahabat semuanya diberikan kemudahan dalam menyelesaikan studi.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini belum sempurna, untuk itu kritik dan saran membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya hanya kepada Allah kita berserah diri dan memohon ampunan.

Bogor, November 2020

Taufan Hidayat

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Kebaruan (<i>Novelty</i>)	7
1.6 Hipotesis	7
TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Radiasi Surya, Albedo, Kualitas Cahaya di Bawah Tegakan dan Interaksi dengan Tanaman	8
2.2 Fotosintesis	11
2.3 Intersepsi Radiasi Surya	13
2.4 Efisiensi Pemanfaatan Radiasi Surya	14
2.5 Indeks Luas Daun dan Koefisien Peadaman	15
2.6 Pemanfaatan Lahan di Bawah Tegakan Tanaman Perkebunan	16
2.7 Intensitas Radiasi Surya di bawah Tegakan Tanaman Perkebunan	17
2.8 Modifikasi Iklim Mikro dengan Penggunaan Mulsa Reflektif	19
METODE	
3.1 Survei, Pengumpulan Data Iklim dan Tanah	21
3.2 Uji Albedo Material Mulsa Reflektif	21
3.3 Analisis Intersepsi dan Transmisi Radiasi Surya Tegakan Kelapa Sawit Umur 4, 5 dan 8 tahun	22
3.4 Penggunaan Mulsa Reflektif Pada Sistem Tanam Sela Kedelai-Kelapa Sawit	23
3.5 Produktivitas Lahan dan Kelayakan Nilai Ekonomi Sistem Usaha Tani Tanam Sela Kelapa Sawit-Kedelai	32
HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Kondisi Umum Wilayah Kajian	33
4.2 Analisis Albedo Beberapa Jenis Mulsa Reflektif	36
4.3 Analisis Intersepsi dan Transmisi Radiasi Surya pada Beberapa Kelompok Umur Tanaman Kelapa Sawit	40
4.4 Efektifitas Penggunaan Mulsa Reflektif Pada Budidaya Kedelai di Bawah Tegakan Beberapa Kelompok Umur Tanaman Kelapa Sawit	43
4.5 Analisis Produktivitas Lahan dan Kelayakan Nilai Ekonomi Sistem Tanam Sela Kelapa Sawit-Kedelai	71
PEMBAHASAN UMUM	
5.1 Peran Mulsa Reflektif Terhadap Iklim Mikro	77

5.2 Respons Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif	79
5.3 Potensi Pengembangan Kedelai di bawah Tegakan Kelapa Sawit	82
VI SIMPULAN DAN SARAN	
6.1 Simpulan	86
6.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	98

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





DAFTAR TABEL

1	Intensitas radiasi surya rata-rata di bawah tegakan karet pada beberapa kelompok umur	18
2	Intensitas radiasi surya di atas dan di bawah tegakan kelapa sawit pada beberapa kelompok umur	18
3	Kebutuhan rata-rata intensitas radiasi surya beberapa tanaman yang ditanam sebagai tanaman sela pada perkebunan kelapa sawit	18
4	Kombinasi perlakuan kelompok umur kelapa sawit dengan jenis mulsa reflektif	27
5	Data iklim bulanan wilayah penelitian (2007-2017)	33
6	Hasil analisis jenis tekstur tanah lokasi penelitian	35
7	Hasil analisis kimia tanah sebelum penelitian	35
8	Hasil analisis kimia tanah pasca penelitian	36
9	Albedo (%) beberapa jenis mulsa reflektif, tanah terbuka dan diatas rumput	38
10	Persentase intersepsi radiasi surya kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun	40
11	Persentase transmisi radiasi surya kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun	42
12	Indeks luas daun (ILD), tebal daun, kerapatan, panjang dan lebar stomata daun kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif	60
13	Kandungan klorofil daun kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif	65
14	Karakteristik fotosintesis daun kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif	67
15	Produksi kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit	70
16	Simulasi produktivitas kedelai di bawah tegakan berdasarkan luas lahan efektif dan umur kelapa sawit	73
17	<i>Land equivalent ratio</i> (LER)	74
18	Rekapitulasi pendapatan sistem monokultur kelapa sawit, kedelai dan tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada satu musim tanam per hektar	75
19	Nilai rasio R/C sistem monokultur kelapa sawit, kedelai dan tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada satu musim tanam per hektar	76

DAFTAR GAMBAR

1	Dinamika produktivitas, luas panen dan produksi kedelai nasional 1993-2018	1
2	Bagan kerangka pemikiran penelitian	5
3	Konversi radiasi surya menjadi karbohidrat oleh daun	9

4	Respon fotosintesis daun pada tanaman C3 dan C4 terhadap cahaya, CO ₂ suhu udara	11
5	Skema singkat proses fotosintesis	12
6	Persentase radiasi surya yang sampai di bawah tegakan kelapa sawit pada beberapa tingkat umur menggunakan <i>triangular method</i>	17
7	Ilustrasi penempatan sensor <i>tube solarimeter</i> untuk pengukuran persentase intersepsi dan transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit (a), titik penempatan sensor <i>tube solarimeter</i> di bawah tegakan kelapa sawit menggunakan <i>triangular method</i> pada tanaman kelapa sawit muda (≤ 4 tahun), kelapa sawit umur > 4 (b)	23
8	Peta lokasi penelitian di Kebun PTPN VIII Kecamatan Cimarga Kabupaten Lebak Provinsi Banten	24
9	Bagan metode penelitian inti	25
10	Posisi bedeng dalam populasi perkebunan kelapa sawit	26
11	Jarak tanam dan jumlah populasi kedelai per satuan percobaan	27
12	Bagan pelaksanaan lapangan	28
13	Penempatan sensor radiasi surya di luar dan di dalam tegakan	29
14	Data iklim selama penelitian	34
15	Radiasi surya global selama pengukurun albedo	37
16	Distribusi suhu dan kelembaban udara rata-rata selama pengukuran albedo material mulsa reflektif	37
17	Albedo mulsa reflektif anorganik, material mulsa metalik dan mulsa plastik hitam perak (MPHP)	39
18	Albedo mulsa reflektif organik material SKPK (sekam kulit padi kering) dan DKSK (daun kelapa sawit kering)	40
19	Intersepsi radiasi surya tegakan kelapa sawit (KS) umur 4, 5, dan 8 tahun	41
20	Transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit (KS) umur 4, 5, dan 8 tahun	42
21	Persentase intersepsi dan transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun.	43
22	Profil suhu tanah selama pertumbuhan kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit pada: (a) kedalaman 5 cm, (b) kedalaman 10 cm, (c) distribusi suhu tanah pada kedalaman 5 cm dan 10 cm selama pertumbuhan kedelai, dan (d) perbedaan suhu tanah antara kedalaman 5 cm dan 10 cm yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik dan organik	44
23	Suhu tanah di bawah mulsa reflektif pada beberapa waktu pengamatan (a), dan suhu tanah rata-rata dengan penggunaan mulsa reflektif selama penelitian (b)	45
24	Persentase kadar air tanah selama pertumbuhan kedelai: (a) di bawah beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan (b) perbandingan persentase kadar air tanah pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif	46
25	Distribusi radiasi yang dipantulkan oleh beberapa jenis mulsa reflektif di bawah kanopi perkebunan kelapa sawit pada: (a) lahan terbuka, (b) perkebunan kelapa sawit umur 4 tahun, (c) perkebunan kelapa sawit umur 5 tahun, dan (d) perkebunan kelapa sawit umur 8 tahun	47

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

26	Intensitas refleksi radiasi surya permukaan dengan penggunaan mulsa reflektif: (a) pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, (b) perbandingan refleksi radiasi surya permukaan pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit dan persentase kenaikan refleksi radiasi pada masing-masing mulsa reflektif	48
27	Distribusi intersepsi radiasi surya kedelai dengan menggunakan radiasi global/atas (Qint global: <i>dotted line</i>) dan radiasi total (Qint total: <i>solid line</i>) pada beberapa jenis mulsa reflektif (a), peran mulsa reflektif dalam meningkatkan intersepsi radiasi surya total kedelai pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (b)	49
28	Intersepsi radiasi surya kedelai pada di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan intersepsi radiasi surya kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)	51
29	RUE kedelai yang di tanam pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit 4, 5 dan 8 tahun (a) RUE kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)	52
30	Tinggi tanaman kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (a) diameter kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)	54
31	Rasio etiolasi kedelai pada beberapa kelompok umur kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif (a), perbandingan rasio etiolasi kedelai yang diaplikasikan mulsa reflektif pada lahan terbuka dan di bawah tegakan sawit (b)	55
32	Indeks luas daun (ILD) kedelai: (a) distribusi ILD kedelai dua minggu pada lahan di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, (b) distribusi ILD kedelai dua minggu dengan penggunaan mulsa reflektif, (c) rata-rata ILD kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan (b) persentase peningkatan ILD kedelai pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif	56
33	LPT pada beberapa kelompok umur kelapa sawit (a), perbandingan LPT pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (b), LPT pada beberapa kelompok umur kelapa sawit (c), LPR pada beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan perbandingan LPR lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (d)	58
34	Ketebalan daun kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif (a), hubungan ketebalan daun dengan berat daun spesifik (b)	61
35	Kerapatan stomata daun kedelai: (a) di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit yang menggunakan mulsa reflektif, dan (b) persentase peningkatan kerapatan stomata daun kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif	62
36	Biomassa kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan biomassa kedelai rata-rata menggunakan mulsa reflektif anorganik dan organik	63

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

37	Kandungan klorofil A, B dan A/B kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit (a), kandungan klorofil A, B, dan A/B kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif (b)	64
38	Produktivitas kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan perbandingan produktivitas kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada lahan terbuka dengan di bawah tegakan kelapa sawit (b)	71
39	Ilustrasi lahan efektif	72

DAFTAR LAMPIRAN

1	Hasil analisis kimia tanah sebelum dan pasca penelitian	98
2	Hasil analisis klorofil daun kedelai	99
3	Perhitungan persentase luas lahan efektif	100
4	Rincian penerimaan, pengeluaran, pendapatan, dan nilai rasio R/C usaha tani monokultur kedelai yang diaplikasikan mulsa reflektif per musim tanam per hektar	101
5	Rincian penerimaan, pengeluaran, pendapatan, dan nilai rasio R/C usaha tani sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun yang diaplikasikan mulsa reflektif per musim tanam per hektar	102
6	Rincian penerimaan, pengeluaran, pendapatan, dan nilai rasio R/C usaha tani sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun yang diaplikasikan mulsa reflektif per musim tanam per hektar	103
7	Rincian penerimaan, pengeluaran, pendapatan, dan nilai rasio R/C usaha tani sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 8 tahun yang diaplikasikan mulsa reflektif per musim tanam per hektar	104



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

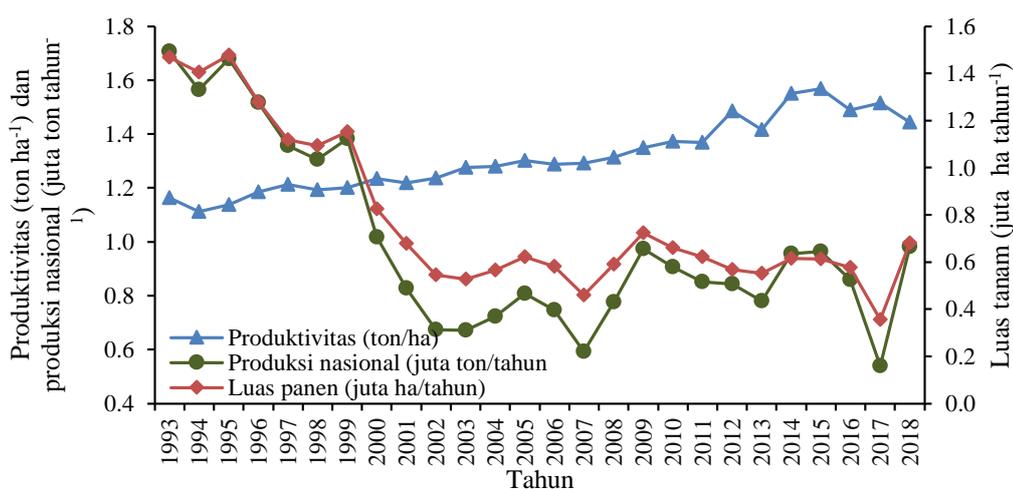
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kedelai merupakan salah satu bahan pangan penting di Indonesia dengan tingkat konsumsi yang besar dan mengalami peningkatan setiap tahunnya. Kebutuhan kedelai nasional saat ini sudah mencapai 3,58 juta ton tahun⁻¹ dan mengalami peningkatan pada 5 tahun terakhir sebesar 5,1% per tahun (Kementan 2019a). Kebutuhan kedelai yang besar belum diikuti oleh produktivitasnya, hal ini menyebabkan pemerintah harus mengimpor sekitar 2,6 juta ton per tahun atau 73% dari kebutuhan kedelai nasional dari negara-negara produsen kedelai dunia (BPS 2019a; Kementan 2019a).

Gambar 1 menyajikan dinamika produktivitas, luas tanam dan produksi kedelai nasional sejak tahun 1993 hingga 2018. Produktivitas kedelai nasional mengalami peningkatan dari 1,16 ton ha⁻¹ pada tahun 1993 menjadi 1,44 ton ha⁻¹ pada tahun 2018. Meskipun demikian, produksi kedelai secara nasional mengalami penurunan seiring berkurangnya luas tanam akibat penurunan luas lahan pertanian. Produksi kedelai nasional pada tahun 1993 mencapai 1,71 juta ton tahun⁻¹, dengan luas tanam 1,47 juta ha tahun⁻¹, sedangkan pada tahun 2018 produksi nasional hanya 0,98 juta ton tahun⁻¹ dengan luas lahan tinggal 0,68 juta ha⁻¹ (BPS 2015a; BPS 2015b; BPS 2015c; Kementan 2019a). Penurunan produksi tersebut seiring dengan penyusutan luas tanam kedelai yang drastis sejak 1993 hingga 2007, kemudian meningkat kembali pada tahun 2008 hingga 2018. Penurunan luas lahan pertanian ini disebabkan oleh alih fungsi lahan pertanian menjadi sektor lain yang diperkirakan mencapai 66 ribu hektar tahun⁻¹ yang tergambar dari penurunan luas areal persawahan (BPS 2019b). Menurut Kharisma (2018) untuk meningkatkan kembali produksi kedelai nasional dengan memperbaiki lima sumber pertumbuhan kedelai yaitu perluasan areal, peningkatan produktivitas hasil, peningkatan stabilitas hasil, penekanan senjang hasil dan penekanan kehilangan hasil.



Gambar 1 Dinamika produktivitas, luas panen dan produksi kedelai nasional 1993-2018 (dimodifikasi dari BPS 2015a; BPS 2015b; BPS 2015c; Kementan 2019a)

Luas tanam atau luas panen kedelai di Indonesia saat ini masih sangat rendah dibandingkan dengan negara-negara penghasil kedelai di dunia. Amerika Serikat sebagai penghasil kedelai utama di dunia memiliki luas tanam kedelai mencapai 30,8 juta ha pada tahun 2019 dan di pertengahan tahun 2020 mencapai 33,9 juta ha (USDA 2020). Oleh itu, peningkatan luas tanam merupakan suatu hal yang sangat penting untuk meningkatkan produksi guna memenuhi kebutuhan kedelai nasional.

Ghulamahdi *et al.* (2016) menyatakan bahwa untuk meningkatkan produksi kedelai untuk memenuhi kebutuhan nasional dapat dilakukan melalui peningkatan produktivitas dan luas tanam termasuk pemanfaatan lahan-lahan marginal atau sub optimal. Hal senada juga diungkapkan oleh Sopandie dan Trikoesoemaningtyas (2011) bahwa peningkatan produksi kedelai nasional dapat dilakukan dengan pemanfaatan lahan di bawah tegakan tanaman perkebunan. Pemanfaatan lahan marginal menjadi alternatif karena sulitnya memperoleh lahan subur dan moratorium pembukaan lahan hutan. Lahan marginal merupakan lahan yang memiliki keterbatasan lingkungan fisik dan atau kimia dalam memenuhi kebutuhan hidup dan berkembangnya tanaman secara optimal. Salah satu lahan marginal yang dimaksud adalah lahan di bawah tegakan tanaman utama yang mempunyai keterbatasan intensitas radiasi surya yang rendah. Namun dengan penerapan teknologi dan modifikasi lingkungan diharapkan memperbaiki kualitas lingkungan sehingga lahan di bawahnya dapat dimanfaatkan.

Lahan di bawah tegakan utama yang berpotensi untuk pengembangan tanaman semusim sebagai tanaman sela diantaranya adalah pada agroekosistem lahan hutan tanaman industri (HTI), perkebunan, dan kebun campuran masyarakat. Khusus untuk agroekosistem perkebunan kelapa sawit, luas lahannya mencapai 14,72 juta hektar, dan 3-4% atau sekitar 600 ribu hektar di antaranya merupakan tanaman muda (*replanting*) yang potensial untuk dikembangkan sistem tanam sela (*intercropping*) dengan tanaman semusim sejenis kacang-kacangan (Sopandie dan Trikoesoemaningtyas 2011; BPS 2019c).

Agroekosistem perkebunan kelapa sawit dengan sistem monokultur dianggap tidak ramah lingkungan karena dapat merusak lingkungan. Perkebunan kelapa sawit dilaporkan berdampak pada perubahan siklus air termasuk evapotranspirasi (ET) dan laju infiltrasi (Merten *et al.* 2016). Masalah lainnya yang ditimbulkannya adalah tingginya laju erosi tanah oleh air akibat permukaan lahan yang terbuka tanpa vegetasi sehingga limpasan permukaan meningkat namun laju infiltrasi rendah (Guillaume *et al.* 2015; Sunarti *et al.* 2008). Pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penanaman tanaman semusim seperti kedelai secara fisik dapat mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air dan kelembaban tanah. Selain dapat memperbaiki sifat-sifat fisik tanah, keberadaan tanaman kedelai juga dapat meningkatkan unsur N, unsur kimia lainnya, juga memperbaiki kualitas biologi tanah, serta menekan pertumbuhan tanaman pengganggu (*gulma*) (Zahran 1999; Teame *et al.* 2017). Perbaikan kualitas tanah di areal perkebunan melalui budidaya kedelai juga akan berkontribusi positif terhadap pertumbuhan tanaman utama, dan dapat meningkatkan pendapatan petani pada saat tanaman utama belum menghasilkan (Putra *et al.* 2012). Selama ini lahan di bawah tegakan kelapa sawit hanya dibiarkan tidak dimanfaatkan atau ditanami tanaman penutup tanah LCC (*legume cover crop*) yang tidak mempunyai nilai ekonomi.

Pemanfaatan lahan di bawah tegakan tanaman utama dengan sistem tanaman sela dibatasi oleh intensitas radiasi surya yang rendah, air terbatas, tanah masam dan organisme pengganggu tanaman yang tinggi (Kisman *et al.* 2007). Intensitas radiasi yang rendah merupakan faktor pembatas utama dalam pemanfaatan lahan di bawah tegakan, hal ini dapat terjadi karena kondisi atmosfer atau karena di bawah tegakan tanaman lain sehingga akan memengaruhi respon, pertumbuhan dan hasil tanaman (Kisman *et al.* 2007; Feng *et al.* 2014). Dampak morfologis akibat intensitas radiasi yang rendah, di antaranya pertumbuhan batang tanaman yang akan menjadi lebih tinggi karena mengalami etiolasi (Uchimiya 2001).

Pertumbuhan tanaman kedelai di bawah naungan 50% akan menurunkan hasil produksi sebesar 37 sampai 74% (Chotechuen 1996; Stepphun *et al.* 2005; Mubarak *et al.* 2018). Produksi kedelai menurun signifikan bila intensitas radiasi surya di bawah 30% dari kondisi normal baik pada musim hujan maupun kering (Polthane *et al.* 2011). Pada kondisi intensitas radiasi atau cahaya rendah dan peningkatan populasi tanaman utama maka produksi dan biomassa kedelai akan rendah (Wahab dan El-Rahman 2016). Tanaman yang mengalami cekaman cahaya rendah akan mengalami gangguan metabolisme sehingga menurunkan laju fotosintesis, konduktansi mesofil, ketebalan daun, dan sintesis karbohidrat (Chowdury *et al.* 1994; Koesmaryono *et al.* 1998; Sopandie *et al.* 2003b).

Kedelai (*Glycine max* L. Merr.) termasuk tanaman C3 yang tidak memerlukan cahaya penuh untuk kelangsungan hidupnya, selain itu kedelai juga mempunyai kemampuan fiksasi N di atmosfer, sehingga dapat meminimalkan input pupuk anorganik (Qin *et al.* 2013; Yang *et al.* 2014). Hal ini menyebabkan kedelai menjadi salah satu tanaman yang sering ditanam dengan sistem tanam sela untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan hasil panen (Echarte *et al.* 2011; Lithourgidis *et al.* 2011; Gong *et al.* 2014). Berdasarkan proses reaksi yang terjadi pada tanaman C3, telah diketahui bahwa tanaman C3 dapat tumbuh baik di bawah naungan atau lahan dengan intensitas radiasi surya rendah (Sugimoto *et al.* 2005).

Pertumbuhan, perkembangan dan produksi tanaman sangat ditentukan oleh fotosintesis tanaman. Kemampuan tanaman dalam memanen energi radiasi surya melalui proses fotosintesis akan menentukan besarnya karbohidrat dan turunan yang dihasilkan. PAR (*photosynthetic active radiation*) atau cahaya tampak merupakan salah satu faktor lingkungan fisik yang sangat menentukan produksi tanaman (Yang *et al.* 2014). Cahaya tampak berperan sebagai energi pendorong proses fotosintesis, penentu tingkat pertumbuhan, perkembangan dan hasil tanaman, serta berperan dalam struktur dan bahan fotosintesis (Jiang *et al.* 2011; Li *et al.* 2014).

Pada kondisi ternaungi, kuantitas dan kualitas cahaya tampak akan berubah. Hal ini akan memengaruhi kemampuan fotosintesis tanaman yang dibudidayakan dengan sistem tanaman sela (Yang *et al.* 2018). Laju fotosintesis dalam sistem tanam sela sering dibatasi oleh cahaya rendah karena adanya saling menaungi antar tanaman sejenis atau berbeda (Yang *et al.* 2017). Tanaman kedelai yang ditanam dengan sistem sela akan mengalami cekaman cahaya rendah akibat adanya naungan oleh tanaman yang lebih tinggi (Yang *et al.* 2014). Untuk itu diperlukan upaya meningkatkan cahaya atau radiasi surya di bawah tegakan tanaman utama dengan modifikasi iklim mikro melalui penggunaan mulsa reflektif yang berperan sebagai reflektor. Penggunaan mulsa reflektif akan meningkatkan intensitas radiasi refleksi permukaan yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman sela (Mubarak *et al.* 2018).



Pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit muda (≤ 3 tahun) untuk budidaya kedelai secara intensif menguntungkan dan berdampak positif terhadap tanaman utama (Putra *et al.* 2012; Sebayang dan Winarto 2014). Namun untuk pemanfaatan lahan kelapa sawit dengan umur > 3 tahun untuk budidaya memerlukan introduksi teknologi agar keterbatasan intensitas radiasi surya di bawah tegakan dapat dikurangi. Upaya peningkatan intensitas radiasi surya di dapat dilakukan dengan penggunaan mulsa reflektif. Penggunaan reflektor atau mulsa reflektif meningkatkan 13% produksi dan mempercepat pembungaan jagung (Sitaniapessy 1981), dan meningkatkan radiasi 15% pada tumpang sari tomat jagung (Boer 1983). Penggunaan mulsa reflektif pada padi gogo di bawah tegakan karet meningkatkan albedo (13%), menurunkan suhu tanah, mempertahankan kadar air tanah, serta meningkatkan produksi 10% (Humaerah 2002). Mulsa reflektif meningkatkan produksi kedelai 17%-34% pada kondisi tanpa naungan, serta 33%-39% pada kondisi naungan 50% (Mubarak *et al.* 2017).

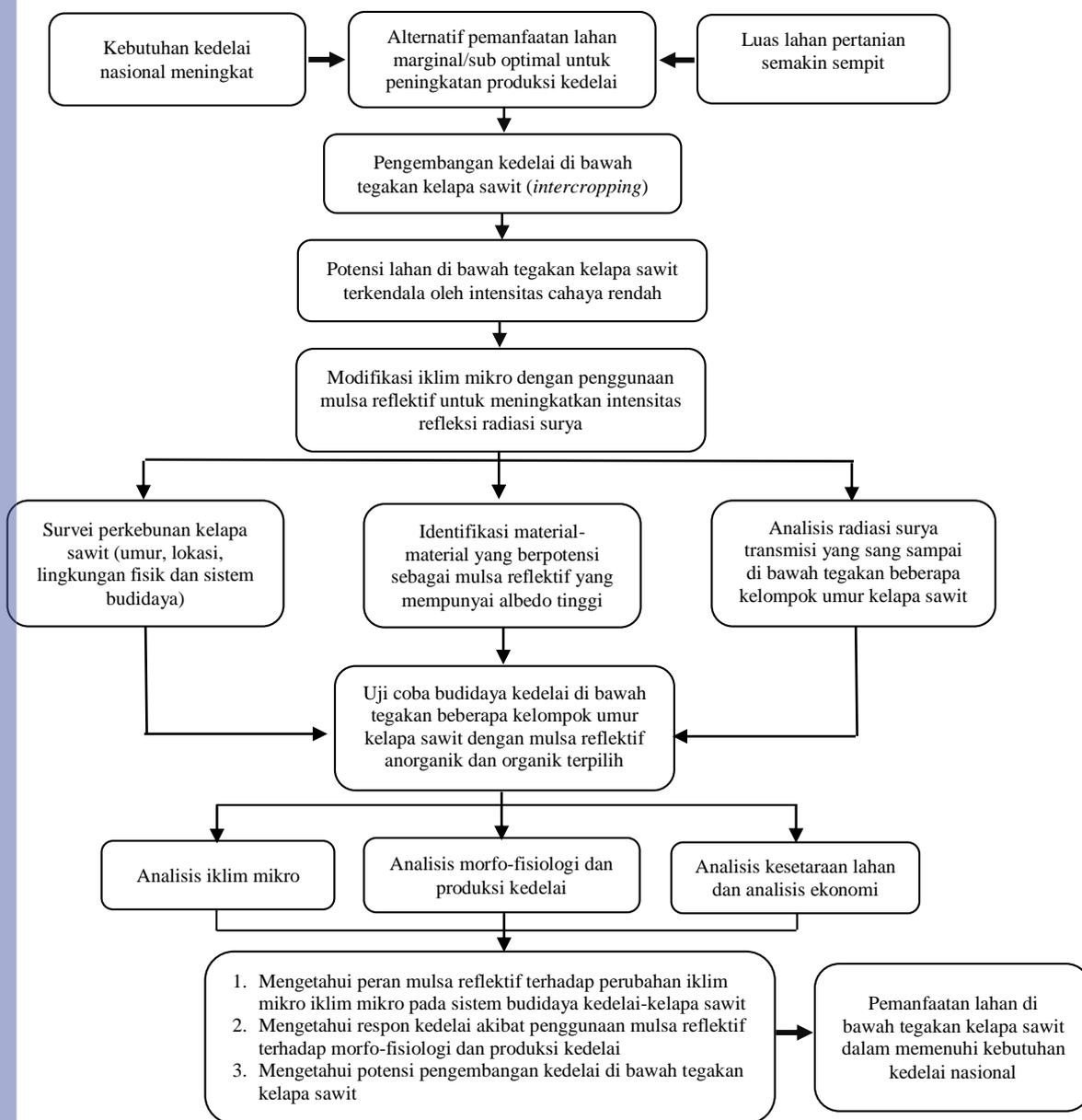
Modifikasi iklim mikro melalui penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan tanaman utama merupakan upaya untuk meningkatkan refleksi intensitas radiasi surya yang sampai ke permukaan sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman sela seperti kedelai. Penggunaan mulsa reflektif berperan dalam merefleksikan intensitas radiasi surya yang ditransmisikan oleh tegakan tanaman utama untuk direfleksikan kembali ke kanopi tanaman kedelai, selain itu juga dapat menghambat energi untuk proses evaporasi dan menurunkan suhu tanah (Humaerah 2002; Mubarak *et al.* 2018). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif dapat meningkatkan refleksi radiasi surya dari permukaan lahan di sekitar pertanaman yang ternaungi sehingga berdampak positif terhadap iklim mikro, pertumbuhan, dan produksi tanaman yang pada akhirnya akan meningkatkan pendapatan.

1.2 Rumusan Masalah

Kebutuhan kedelai nasional semakin meningkat, namun tidak diimbangi dengan peningkatan produksi. Salah satu upaya untuk meningkatkan produksi kedelai nasional adalah melalui peningkatan luas tanam melalui pemanfaatan lahan marginal karena lahan subur semakin sempit akibat alih fungsi lahan dan adanya moratorium pembukaan lahan di kawasan hutan. Pemanfaatan lahan marginal memerlukan adopsi teknologi budidaya dan modifikasi lingkungan sehingga keterbatasan lahan tersebut dapat diperbaiki. Pengembangan agroekosistem dengan sistem tanam sela kelapa sawit–kedelai dengan menggunakan mulsa reflektif diharapkan dapat meningkatkan radiasi surya/cahaya di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit sehingga potensi lahan tersebut dapat dioptimalkan.

Penelitian-penelitian yang mengkaji pemanfaatan lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit untuk budidaya kedelai dengan sistem tanam sela serta menggunakan teknologi modifikasi iklim mikro belum banyak dilakukan. Putra *et al.* (2012) menyatakan bahwa produksi kedelai yang ditanam sebagai tanaman sela pada tanaman kelapa sawit umur 1 tahun tidak berbeda dengan yang ditanam secara monokultur, selain itu tanaman sela jenis kacang-kacangan dapat meningkatkan laju pertumbuhan tanaman kelapa sawit umur 1 tahun dibandingkan ditanam secara monokultur. Sebayang dan Winarto (2014) menyatakan bahwa sistem tanam sela

kedelai dengan kelapa sawit umur <3 tahun, dapat menghasilkan rata-rata produksi sebesar 2,52 ton ha⁻¹ dan dari beberapa varietas kedelai yang diuji diperoleh varietas terbaik adalah varietas anjasmoro dengan produksi sebesar 2,97 ton ha⁻¹.



Gambar 2 Bagan kerangka pemikiran penelitian

Modifikasi iklim mikro dengan pemanfaatan mulsa reflektif dapat meningkatkan distribusi radiasi surya di bawah tegakan. Penggunaan mulsa reflektif atau reflektor meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya pada sistem budidaya tumpang sari (Sitaniapessy 1981; Boer 1983). Mulsa reflektif mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya permukaan di bawah tegakan sehingga meningkatkan kualitas iklim mikro serta meningkatkan produksi tanaman

(Humaerah 2002; Meyer *et al.* 2012; Mejias *et al.* 2012; Mubarak *et al.* 2017; Mubarak *et al.* 2018).

Berdasarkan kajian-kajian di atas, lahan di bawah tegakan kelapa sawit sangat potensial untuk pengembangan kedelai, namun diperlukan upaya modifikasi iklim mikro untuk mengatasi rendahnya intensitas radiasi surya di bawah tegakan. Penggunaan mulsa reflektif merupakan alternatif untuk meningkatkan intensitas refleksi radiasi transmisi yang sampai ke permukaan lahan. Selama ini kajian pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit untuk budidaya kedelai baru dilakukan pada kelapa sawit umur ≤ 3 tahun. Pada penelitian ini akan diuji efektivitas penggunaan mulsa reflektif pada budidaya kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit > 3 tahun untuk mengetahui respons morfologis, fisiologis, dan produksi serta potensi pengembangan kedelai sebagai tanaman sela pada perkebunan kelapa sawit. Kerangka pemikiran penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

1.3 Tujuan

1. Menganalisis kemampuan refleksi mulsa reflektif anorganik dan organik dalam meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya dan dampaknya terhadap iklim mikro kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan mulsa reflektif terhadap beberapa karakteristik morfologi, fisiologi dan produksi kedelai di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit.
3. Menganalisis efisiensi penggunaan lahan dan kelayakan nilai ekonomi sistem usaha tani budidaya kedelai yang ditanam sebagai tanaman sela dengan penggunaan mulsa reflektif pada beberapa kelompok umur tanaman kelapa sawit.

1.4 Manfaat

1. Mengetahui jenis mulsa reflektif yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi kedelai di bawah tegakan kelapa sawit.
2. Mengetahui umur tegakan kelapa sawit yang lahan di bawahnya masih dapat dimanfaatkan untuk budidaya kedelai dengan sistem tanam sela.
3. Mengetahui karakteristik iklim mikro, morfologi, fisiologi, dan produksi kedelai yang ditanam di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif.
4. Mengetahui potensi pengembangan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan sistem tanam sela.
5. Mampu mengidentifikasi permasalahan lahan pada budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai
6. Rekomendasi paket teknologi budidaya kedelai yang ditanam sebagai tanaman sela di bawah tegakan tanaman kelapa sawit dengan kombinasi umur tanaman kelapa sawit, dan jenis mulsa reflektif.

1.5 Kebaruan (*Novelty*)

1. Penggunaan mulsa reflektif anorganik (mulsa plastik hitam perak) di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun efektif meningkatkan intensitas reflektif radiasi surya pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai sebesar 169%, dan pada penggunaan mulsa reflektif organik (daun kelapa sawit kering) sebesar 59%.
2. Intersepsi radiasi surya kedelai pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai meningkat sebesar 30% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 26% pada mulsa organik.
3. Rasio etiolasi (RE) kedelai pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai turun sebesar 13% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 10% pada penggunaan mulsa reflektif organik.
4. Laju fotosintesis daun-daun bawah kedelai meningkat sebesar 13,2% pada mulsa reflektif anorganik dan 18,4% pada mulsa reflektif organik.
5. Produksi kedelai pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai meningkat sebesar 31,3% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 38,4% pada mulsa organik.

1.6 Hipotesis

1. Perbedaan umur akan memengaruhi tegakan kelapa sawit dan intensitas radiasi surya yang sampai ke permukaan lahan.
2. Penggunaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai dapat memperbaiki tingkat intensitas refleksi radiasi surya permukaan lahan, iklim mikro, morfologi dan fisiologi serta produksi kedelai.
3. Pemanfaatan lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit muda dapat meningkatkan efektifitas penggunaan lahan dan menguntungkan secara ekonomi.



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiasi Surya, Albedo, Kualitas Cahaya di Bawah Tegakan dan Interaksi dengan Tanaman

2.1.1 Radiasi Surya

Radiasi surya merupakan unsur iklim yang berperan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan proses fotosintesisnya. Radiasi surya secara umum terbagi menjadi dua macam yaitu radiasi langsung dan radiasi baur. Radiasi langsung (*direct radiation*) adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang, sedangkan radiasi baur (*diffuse radiation*) adalah radiasi yang telah mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan. Sedangkan radiasi global merupakan akumulasi radiasi langsung dan baur. Pada puncak atmosfer jumlah energi ini mencapai 1360 W m^{-2} , yang sebagiannya sampai ke permukaan bumi dan sebanyak 30% direfleksikan kembali ke atmosfer (Handoko 1994).

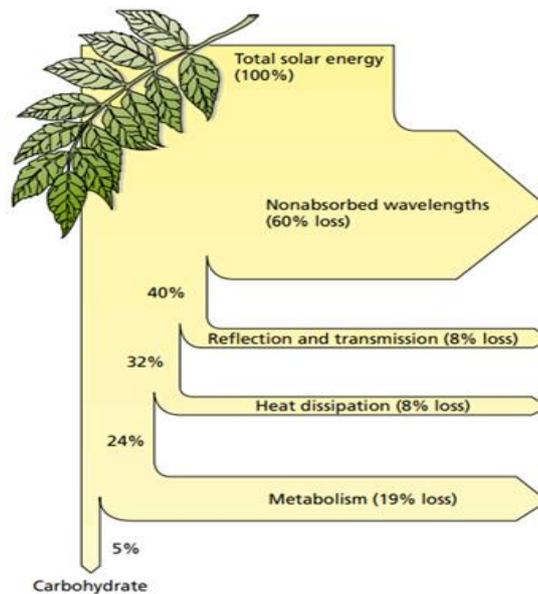
Jumlah radiasi surya yang sampai ke permukaan bumi tidak seragam, sehingga secara agroklimatologi akan menentukan komoditi dan sistem budidaya tanaman yang akan dikembangkan. Radiasi surya yang sampai ke permukaan pertanaman lahan terbuka lebih tinggi dibandingkan pada sistem budidaya tanaman sela atau di bawah tegakan. Perbedaan jumlah radiasi surya yang sampai ini akan berdampak pada anatomi, morfologi, dan fisiologi tanaman tersebut yang akan memengaruhi biomasa dan produksi (Qadir 2012).

Menurut Ross (1975), distribusi dan jumlah radiasi surya dalam suatu areal pertanaman ditentukan oleh 1) kondisi radiasi datang yang langsung maupun baur meliputi sudut datang radiasi dan distribusi spektral, 2) sifat-sifat optis dari tanaman diantaranya strukur batang, daun dan umur daun, 3) sifat-sifat optis dari tanah/permukaan yang sangat memengaruhi albedo, 4) arsitektur tegakan yang menyebabkan adanya bayangan ditentukan oleh arsitektur tajuk, distribusi tanaman di atas tanah, distribusi daun tanaman, ukuran daun dan orientasi daun.

Radiasi surya yang sampai ke permukaan tanaman tidak seluruhnya dimanfaatkan tanaman untuk proses fotosintesis, namun hanya memanfaatkan radiasi dengan panjang gelombang 400-700 nm atau dikenal dengan PAR. Unsworth dan Monteith (1972) menyatakan bahwa pada kondisi udara bersih, energi PAR surya biasanya mendekati 50% dari energi total spektrum surya. Besaran ini merupakan rata-rata dari fraksi langsung sebesar 40%-50% dan radiasi baur dari langit biru sebesar 50-60%. Keseimbangan spektrum tersebut hanya sedikit dipengaruhi oleh adanya awan.

Radiasi surya yang diterima pertanaman dan helai daun segar akan mengalami proses-proses seperti pantulan (ρ), transmisi (τ), absorpsi (α) seperti yang disajikan pada Gambar 3. Menurut Impron (1999), keseimbangan energi radiasi surya pada sistem tersebut dapat dinyatakan seperti pada Persamaan 1.

$$\rho + \tau + \alpha = 100\% \quad (1)$$



Gambar 3 Konversi radiasi surya menjadi karbohidrat oleh daun (Taiz dan Zieger 2002)

2.1.2 Albedo

Albedo permukaan merupakan rasio antara radiasi surya yang dipantulkan oleh permukaan dengan total radiasi surya yang datang (Dobos 2003; Rechid *et al.* 2009; Wen 2009). Albedo berperan penting dalam kesetimbangan energi di permukaan bumi, karena menunjukkan besarnya energi yang diserap dari insiden radiasi surya. Selain itu, albedo menggambarkan sifat radiasi dari permukaan yang mendorong terjadinya proses fotosintesis, evapotranspirasi, dan kesetimbangan energi permukaan pada skala lokal, regional, dan global (Wen 2009). Nilai albedo dapat didekati dengan persamaan berikut :

$$\alpha = \left[\frac{R_{out}}{R_{in}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

- α : albedo (%)
- $R_{s out}$: radiasi yang keluar atau dipantulkan ($W m^{-2}$)
- $R_{s in}$: radiasi yang datang ($W m^{-2}$)

Niai albedo pada suatu permukaan sangat dipengaruhi oleh sudut surya, kandungan air permukaan, nisbah radiasi baur terhadap radiasi langsung, orientasi permukaan/daun, tinggi permukaan/tanaman dan tingkat penutupan tanah. Semakin kecil sudut antara datangnya radiasi dengan permukaan daun atau kanopi tanaman maka akan semakin besar albedonya. Albedo tegakan akan berubah-ubah sepanjang hari dan akan mencapai maksimum pada sudut elevasi surya 10° kemudian akan menurun dan mencapai minimum pada tengah hari (Ross 1975).

2.1.3 Kualitas Cahaya di Bawah Tegakan

Cahaya merupakan bagian kecil dari gelombang elektromagnetik radiasi surya dengan spektrum yang sangat luas mulai dari sinar gamma $<10^{-3}$ nm hingga gelombang radio $>10^{10}$ nm. Sebaran pita spektrum surya di bagi atas spektrum ultra violet (100-400 nm), spektrum cahaya tampak (400-740 nm) dan spektrum infra merah (>740 nm). Cahaya atau cahaya tampak di kenal juga dengan istilah PAR (*photosynthetic active radiation*) yang sangat berperan dalam proses fotosintesis tanaman. Kualitas cahaya atau komposisi panjang gelombang di bawah tegakan dipengaruhi oleh jarak bumi-matahari, distribusi spektrum, sudut datang dan letak daun pada tajuk (Ross 1975).

Menurut Wassink (1953), terdapat tiga spektrum cahaya yang berpengaruh terhadap fotosintesis tanaman. Pertama, spektrum dengan panjang gelombang 700-610 nm berpengaruh sangat kuat terhadap diabsorbsi oleh klorofil dan terkuat terhadap aktifitas fotosintesisnya dalam gelombang merah dan menunjukkan aktifitas periodik yang kuat. Kedua, spektrum 610-510 nm mempunyai efektifitas fotosintesis yang rendah dalam warna hijau dan aktifitasnya lemah. Ketiga, spektrum 510-400 nm, sangat kuat diabsorbsi oleh klorofil dan diabsorbsi oleh pigmen kuning; aktifitas fotosintesisnya kuat dalam warna biru jingga dan efek formatifnya.

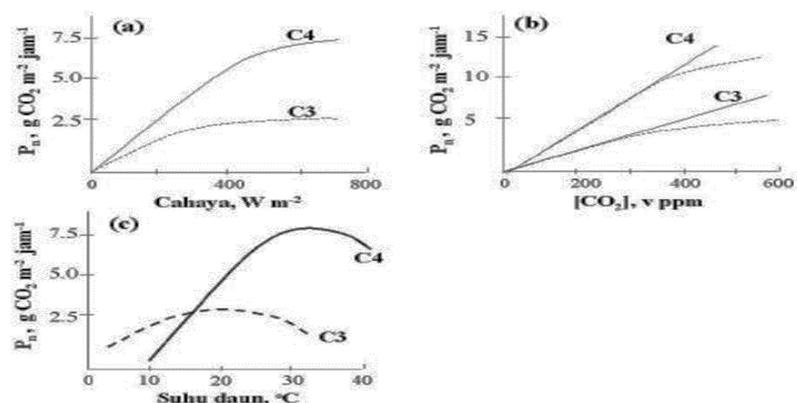
Kualitas cahaya, khususnya pada spektrum PAR (400-700 nm) mengalami penurunan di bawah tegakan, hal ini berdampak terhadap pertumbuhan tanaman yang ada di bawahnya (Zhang *et al.* 2020). Distribusi spasial PAR di bawah tegakan yang populasi rendah relatif homogen, dibandingkan dengan distribusi PAR di bawah tegakan yang rapat, hal ini menyebabkan efisiensi fotosintesis daun di bawah tegakan yang renggang lebih tinggi (Ying *et al.* 2016). Pengurangan PAR terjadi seiring dengan meningkatnya tingkat naungan, sehingga menurunkan laju fotosintesis. Di sisi lain, penurunan PAR menyebabkan respons penurunan kapasitas fotosintesis daun dan laju respirasi, perubahan anatomi daun, peningkatan nitrogen foto-sintetik daun, peningkatan luas daun spesifik dan peningkatan fraksi asimilasi yang dipartisi ke daun (Baird *et al.* 2017).

Radiasi surya yang sampai pada suatu tegakan tanaman akan dimanfaatkan untuk proses pertumbuhan, perkembangan dan produksi, sebagian dari radiasi tersebut akan dipantulkan dan ditransmisikan ke permukaan. Struktur tegakan, jenis tanaman, ukuran luas daun, angin dan sudut datang matahari akan memengaruhi transmisi radiasi surya yang sampai ke permukaan. Rendahnya intensitas radiasi yang terhalang oleh atmosfer dan naungan akan berdampak pada tanaman (Feng *et al.* 2014).

2.1.4 Interaksi Radiasi Surya dengan Tanaman

Menurut Ross (1975) interaksi antara radiasi surya dengan tanaman hidup dibagi atas tiga kategori. Kategori pertama adalah efek panas dari radiasi yang lebih dari 70% radiasi yang diabsorbsi oleh tanaman diubah menjadi panas dan digunakan sebagai energi untuk transpirasi dan pertukaran energi dengan lingkungan. Kategori kedua adalah efek fotosintesis dari radiasi yang komponen energi radiasi hingga 28% digunakan untuk fotosintesis dan disimpan dalam bentuk energi kimia, dan ketiga adalah efek morfogenesis dari radiasi yang energi radiasinya berperan sebagai regulator dan pengatur proses pertumbuhan dan perkembangan.

Menurut Campillo *et al.* (2012), berdasarkan keberadaan karbon dioksida, tanaman dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis tanaman C3, C4, dan CAM. Tanaman C3 yang secara umum lebih unggul, kelompok tanaman ini memerlukan radiasi sedang/tidak penuh (kedelai, gandum, barley dan bunga matahari, dan lain-lain). Tanaman yang termasuk C4 adalah jenis tanaman yang memerlukan radiasi penuh (jagung, gula, sorgum, kelapa sawit, dan lain sebagainya). Sugimoto *et al.* (2005), pada tanaman yang jenis C3 produk awal reduksi CO₂, (fiksasi CO₂) adalah asam 3-fosfoglisarat. Reaksi kimia yang berlangsung di dalam stroma kloroplas tidak membutuhkan energi dari radiasi surya secara langsung. Sumber energi yang diperlukan berasal dari fase terang fotosintesis. Reaksi tersebut terjadi secara simultan dan berkelanjutan. Berdasarkan proses reaksi yang terjadi pada tanaman C3, telah diketahui bahwa tanaman C3 dapat tumbuh baik di bawah naungan atau lahan dengan intensitas radiasi surya rendah. Tanaman C4 adalah tanaman yang mampu hidup di lahan yang terpapar intensitas matahari penuh (Gambar 4). Kombinasi tanaman adalah C3 dan C4, umumnya menguntungkan, karena tanaman C4 tidak pernah jenuh cahaya dalam proses fotosintesisnya sebaliknya dengan tanaman C3.



Gambar 4 Respon fotosintesis daun pada tanaman C3 dan C4 terhadap cahaya, CO₂ suhu udara (Ong dan Huxley 1996)

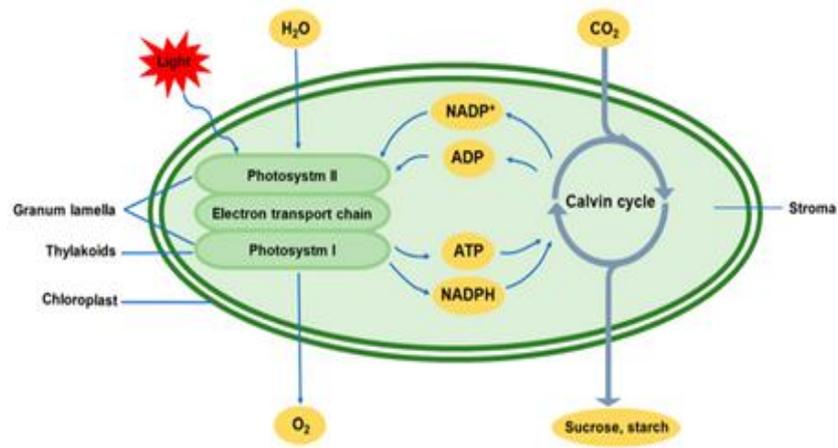
2.2 Fotosintesis

Fotosintesis adalah proses pemanfaatan energi radiasi surya oleh tumbuhan untuk mengubah molekul sederhana yaitu gas CO₂ dan H₂O menjadi senyawa organik dalam bentuk gula (karbohidrat) dan gas oksigen. Gula yang terbentuk dalam proses fotosintesis merupakan sumber energi dan substrat (bahan) dasar bagi sel tumbuhan untuk membentuk berbagai senyawa lain yang lebih kompleks seperti pati dan selulosa, asam amino dan protein, lipid, maupun asam nukleat hingga berbagai macam senyawa sekunder yang diperlukan bagi tumbuhan untuk tumbuh, berkembang, maupun bertahan hidup menghadapi lingkungan biotik dan abiotik yang tidak menguntungkan (Hamim 2018).

Gas karbon dioksida (CO₂) dan hidrogen (H₂O) merupakan bahan baku utama dalam proses fotosintesis, serta dengan penggunaan berbagai pigmen dan energi radiasi surya sehingga terbentuk karbohidrat yang dapat digunakan untuk

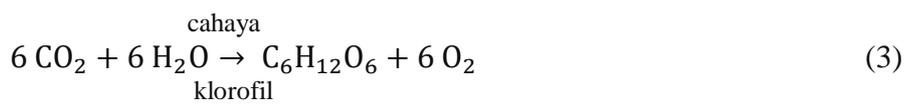
kepentingan manusia. Menurut Nobel (1974) proses fotosintesis terdiri atas beberapa proses berturut-turut diantaranya yaitu terjadinya difusi karbon dioksida dari atmosfer ke pusat reaksi dalam daun dan bagian hijau lainnya, selanjutnya konversi energi cahaya menjadi energi kimia (transfer elektron dan pembentukan ATP) dan reduksi karbon dioksida melalui fotolisis air, dan yang terakhir pembentukan molekul organik (proses biokimia) yang digunakan dalam proses pertumbuhan dan yang ditranslokasikan.

Diagram proses-proses di atas disajikan pada Gambar 5. Setiap stadium tergantung dari faktor luar maupun dalam. Faktor-faktor luar atau lingkungan yang memengaruhi laju fotosintesis diantaranya adalah cahaya, konsentrasi CO₂ dan suhu lingkungan. Cahaya berdampak besar terhadap fotosintesis khususnya reaksi terang fotosintesis.



Gambar 5 Skema singkat proses fotosintesis (Gan et al. 2019)

Secara skematis persamaan fotosintesis dapat dituliskan sebagai berikut:



Pada intensitas cahaya rendah, laju transpor elektron akan rendah sehingga pembentukan *adenosine triphosphate* (ATP) dan *nicotinamide adenine dinucleotida phosphate* (NADPH) juga sedikit, begitu pula sebaliknya. Meskipun demikian laju fotosintesis sebagai respon terhadap peningkatan intensitas cahaya tidak bersifat linier namun bersifat hiperbolik, pada intensitas rendah peningkatan cahaya meningkatkan laju fotosintesis, namun pada intensitas tinggi, peningkatan cahaya hanya sedikit berpengaruh terhadap peningkatan fotosintesis. Selain cahaya, konsentrasi CO₂ di atmosfer juga berpengaruh terhadap laju fotosintesis. Semakin tinggi konsentrasi CO₂ di atmosfer maka semakin meningkat pula laju fotosintesis karena akan meningkatkan laju difusi CO₂ melalui stomata daun hingga mencapai situs aktif peningkatan CO₂ di dalam sel mesofil daun. Meskipun demikian peningkatan konsentrasi CO₂ bersifat linier dengan laju fotosintesis, karena pada CO₂ tinggi ketersediaan *rubilosa biphosphate* (RuBP) menjadi pembatas meningkatnya laju fotosintesis lebih lanjut. Suhu juga berpengaruh terhadap laju

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.
Perpustakaan IPB University

fotosintesis, peningkatan suhu hingga suhu optimum (30 °C) akan meningkatkan laju fotosintesis, kemudian akan menurun ketika suhu semakin ekstrim tinggi, hal ini menyebabkan hubungan antara suhu dan laju fotosintesis membentuk kurva parabola (Hamim 2018).

Sel daun yang terdiri dari berbagai kandungan untuk mengabsorpsi cahaya merupakan penyalur energi dari molekul yang telah bereksitasi (melepaskan elektron) ke dalam suatu seri reaksi kimia maupun reaksi enzimatik. Klorofil terdapat dalam kloroplas merupakan suatu pigmen yang dapat menangkap kuantitas cahaya. Tanaman yang tergolong tanaman C4 mempunyai dua tipe kloroplas yang terletak dalam sel mesofil dan dalam seludang pembuluh (Hall dan Rao 1978). Klorofil dari sel mesofil tanaman C4 mempunyai bentuk yang sama dengan kloroplas tanaman C3, tersebar di dalam sel, mempunyai grana, dan kandungan pati. Kloroplas seludang pembuluh lebih besar, umumnya tidak mempunyai grana dan terdapat pati. Kedudukan kedua kloroplas ini berdekatan di dalam sel sehingga hasil fotosintesis dapat mudah mengalir dari satu sel ke sel lainnya. Adanya kedua tipe kloroplas ini, maka tanaman C4 sangat efisien dalam penggunaan energi surya, mempunyai titik kompensasi CO₂ yang rendah, (0 vpm CO₂), fotorespirasi yang rendah dan mempunyai metabolisme glikolat (Hall dan Rao 1978). Tiap pigmen tanaman mempunyai kemampuan absorpsi cahaya yang berbeda-beda. Intensitas radiasi surya optimum proses fotosintesis pada kisaran 209.3-558.2 W m⁻², dan akan maksimum pada intensitas cahaya 300 W m⁻² (White dan Izquierdo 1993).

2.3 Intersepsi Radiasi Surya

Komunitas tanaman memiliki pengaruh kuat terhadap lingkungan mikro di sekitarnya. Hampir semua sistem budidaya tanaman yang dilakukan akan memodifikasi lingkungan secara fisik dan kimia (sifat udara dan tanah). Salah satu faktor terpenting yang memengaruhi perkembangan tanaman adalah radiasi surya yang diintersepsi oleh tanaman. Radiasi surya membawa energi untuk proses metabolisme tanaman terutama dalam proses fotosintesis. Sebagian energi radiasi surya lainnya digunakan dalam proses penguapan di dalam berbagai organ tanaman, dan juga proses transpirasi melalui stomata (Campillo *et al.* 2012).

Intersepsi radiasi surya merupakan parameter yang menyatakan besarnya radiasi datang yang tertahan oleh tajuk tanaman dan tidak sampai ke atas permukaan tanah atau ke atas suatu ketinggian tertentu dalam tajuk suatu tegakan tanaman. Fraksi yang diintersepsi itu dapat dipantulkan kembali atau diabsorpsi atau dipancarkan oleh bagian-bagian tanaman dalam tajuk komunitas tanaman tersebut (Gallagher dan Biscoe 1978).

Energi radiasi yang mengenai puncak tegakan tanaman akan mengalami pengurangan dalam perjalanannya menuju ke permukaan tanah. Besarnya pengurangan ini tergantung pada struktur tanaman di dalam tegakan, struktur daun, batang, cabang, dan warna dari tanaman (Chang 1971), serta jenis, umur dan kerapatan tanaman (Oke 1978). Menurut Oke (1978), pengurangan ini terjadi secara eksponensial, seperti dikemukakan oleh Bougert Lambert pada persamaan berikut:

$$I = I_0 e^{-k \cdot ILD} \quad (4)$$

Keterangan:

- I : intensitas radiasi yang diterima di dalam tajuk tanaman atau suatu ketinggian tertentu
- I_0 : intensitas radiasi yang diterima pada puncak tajuk komunitas tanaman tersebut
- e : bilangan eksponensial
- k : koefisien pepadaman
- ILD : indeks luas daun

Keberadaan vegetasi di atas tanah mengakibatkan radiasi surya tidak akan langsung jatuh ke atas permukaan tanah. Bidang permukaan yang akan berinteraksi dengan radiasi datang terangkat ke atas permukaan tajuk. Cahaya langsung maupun baur yang diintersepsi dipengaruhi oleh indeks luas daun, sudut daun, kerapatan luas daun. Loomis *et al.* (1968) menyatakan bahwa struktur teratas dari tegakan sangat berpengaruh terhadap penerusan cahaya dalam tajuk. Biscoe dan Gallagher (1977) mendapatkan bahwa permukaan daun kurang responsif terhadap radiasi pada akhir musim tanam.

Daun memengaruhi jumlah cahaya yang diintersepsi oleh tajuk tanaman, daun-daun yang tegak/vertikal lebih efisien dalam hubungannya dengan hasil per unit luas daun dibandingkan dengan daun-daun horizontal. Tajuk-tajuk tanaman dengan daun-daun tegak pada tanaman jagung sangat efisien dalam pemakaian cahaya dan menyebabkan kenaikan hasil (Monsi *et al.* 1973). Pengaruh cuaca pada produksi biomassa tanaman dan hasil perlu memperhatikan hal-hal berikut diantaranya intersepsi radiasi oleh tegakan, efisiensi konversi radiasi yang diintersepsi menjadi biomassa dan pembagian biomassa antar hasil/produksi dan sisa tanaman lainnya (Biscoe dan Gallagher 1977). Produksi kedelai meningkat secara linier dengan peningkatan intersepsi radiasi surya dan koversi energinya (Koester *et al.* 2014; Gitelson dan Gamon 2015).

2.4 Efisiensi Pemanfaatan Radiasi Surya

Efisiensi pemanfaatan radiasi surya atau *radiation use efficiency* (RUE) merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk menumpuk senyawa organik dengan energi yang dikeluarkan untuk itu dengan total energi radiasi yang diterima oleh tanaman (Monteith dan Moss 1977). Setiap 1 kJ energi surya akan menghasilkan 5,4 mg bahan kering tanaman (Monteith 1970). Makin rendah intensitas PAR yang digunakan, maka akan makin tinggi efisiensinya. Hal ini disebabkan karena semua energi digunakan. Setiap daun akan berbeda tingkat efisiensinya. Semakin bertambah energi radiasi maka semakin rendah efisiensinya. Di sisi lain produksi tanaman yang tinggi dapat terjadi dengan meningkatkan efisiensi radiasi surya.

Menurut Monteith (1972), efisiensi pemanfaatan radiasi surya secara klimatologis ditentukan oleh beberapa faktor utama diantaranya adalah: 1) geometris bumi terhadap surya (lintang dan musim), 2) kejernihan atmosfer bumi

(keawanan dan kandungan aerosol atmosfer), 3) komposisi spektral radiasi surya dan sifat optis daun, 4) jumlah kuantum cahaya yang diperlukan dalam proses fotosintesis, 5) fraksi radiasi yang diintersepsi tajuk (indeks luas daun dan susunan daun), 6) laju difusi CO₂ dari atmosfer ke permukaan pusat unit fotosintesis dalam sel hijau (konsentrasi CO₂ dan tahanan difusi daun), dan 7) Fraksi asimilat yang digunakan untuk respirasi.

Efisiensi pemanfaatan radiasi surya tanaman dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah posisi daun, indeks luas daun (ILD), struktur atau jenis pigmen serta ketersediaan air dan hara (Asyardi 1993). Hal senada juga disampaikan Prawiranata *et al.* (1989) yang menyatakan efisiensi pemanfaatan radiasi surya dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti kekurangan air, suhu ekstrim, hama dan penyakit, benih yang buruk serta sistem budidaya.

Setiap lokasi di permukaan bumi akan menerima radiasi surya yang berbeda tergantung pada letak geografisnya. Radiasi surya yang diterima dengan arah tegak lurus lebih banyak energi per satuan luasnya dibandingkan dengan yang diterima pada sudut yang lebih kecil. Selain itu, lamanya waktu penerimaan sangat memengaruhi jumlah radiasi yang diterima. Tingkat keawanan dan aerosol yang tinggi di atmosfer menyebabkan jumlah radiasi yang diterima permukaan bumi akan berkurang. Sifat optis daun yang terkena radiasi juga akan memengaruhi terhadap komposisi spektral yang dipantulkan dan diabsorpsi.

2.5 Indeks Luas Daun dan Koefisien Pemadaman

Indeks luas daun (ILD) atau *leaf area index* (LAI) merupakan rasio luas seluruh daun hijau tanaman terhadap luas tanah yang dicakup oleh tanaman tersebut. Peningkatan luas daun akan meningkatkan ILD tanaman. Peningkatan jumlah populasi tanaman atau semakin rapat, maka luas tanah yang dicakup oleh tanaman tersebut akan semakin kecil sehingga akan meningkatkan ILD. Daun pada suatu pertanaman akan bertambah luasannya hingga mencapai maksimum dan selanjutnya tua dan mulai mengering. Semakin tua umur daun maka akan makin berkurang kemampuan daun tersebut dalam melakukan proses fotosintesis. Daun yang mulai mengering akan terjadi perubahan-perubahan diantaranya adalah perubahan struktur kloroplas, kandungan klorofil, laju fotosintesis dan respirasi, penambahan kandungan karotenoid dan antosianin serta perubahan sintesis protein, asam nukleat dan keseimbangan hormon (Whatley dan Whatley 1980).

Koefisien pemadaman menyatakan sejauh mana radiasi yang jatuh di atas suatu tajuk tanaman dapat dipadamkan oleh komunitas tersebut dengan asumsi sumber radiasi datang hanya dari atas tajuk dan melalui tegakan tajuk tersebut. Pengurangan radiasi terjadi secara eksponensial dengan asumsi yang berperan dalam proses pengurangan ini terutama oleh daun. Faktor-faktor yang memengaruhi koefisien pemadaman diantaranya adalah sudut datang surya, indeks luas daun, sudut daun, distribusi dari daun-daun tegak (Sinclair dan Lemeur 1974). Besarnya koefisien pemadaman (k) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\ln [I/I_0] = -k (ILD) \quad (5)$$

$$k = \frac{\ln \frac{I}{I_0}}{ILD} \quad (6)$$

Keterangan :

- I : radiasi yang diterima di bawah tajuk
- I₀ : radiasi yang diterima di atas tajuk
- k : koefisien pemadaman
- ILD: indeks luas daun

2.6 Pemanfaatan Lahan di Bawah Tegakan Tanaman Perkebunan

Pemanfaatan lahan di bawah tegakan tanaman lain dengan sistem tanam sela pada suatu agroekosistem perkebunan akan berdampak positif terhadap perbaikan lingkungan fisik khususnya iklim mikro dan konservasi tanah yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas lahan perkebunan secara keseluruhan. Namun, pemanfaatan lahan di bawah tegakan tanaman utama tersebut akan menghadapi berbagai kendala, diantaranya terjadi kompetisi radiasi surya, air, dan unsur hara bila jumlahnya terbatas (Hairiah *et al.* 2002). Selain itu, antar tanaman sendiri akan saling menimbulkan efek merugikan, seperti menjadi inang hama/penyakit, dan efek naungan (Barri 2012). Intensitas radiasi surya rata-rata pada lahan terbuka atau pada puncak tanaman sekitar 192,15 W m⁻² (Chozin *et al.* 1999). Radiasi optimum untuk fotosintesis maksimal pada kondisi laboratorium sekitar 208,4-555,6 W m⁻² (Kassam 1978). Tanaman di bawah tegakan tanaman lainnya akan menerima intensitas cahaya yang lebih rendah, sehingga jumlah cahaya yang diterima oleh setiap luasan permukaan daun dalam jangka waktu tertentu juga akan rendah (Gardner *et al.* 1991). Tanaman yang mengalami cekaman kekurangan cahaya berakibat terganggunya metabolisme, sehingga menurunkan laju fotosintesis dan sintesis karbohidrat (Chowdury *et al.* 1994; Sopandie *et al.* 2003a). Pada radiasi surya yang rendah menyebabkan rendahnya aktivitas fotosintesis, hal ini berkaitan dengan menurunnya konduktansi mesofil akibat perubahan struktur dan ketebalan daun (Koesmaryono *et al.* 1998).

Tanaman secara alamiah akan berupaya untuk mempertahankan agar fotosintesis tetap berlangsung, meskipun pada kondisi kekurangan cahaya atau cahaya rendah (Djukri dan Purwoko 2003). Namun demikian, dampak dari kekurangan cahaya ini mengakibatkan potensi tanaman tersebut tidak akan mencapai optimum. Kasus pada tanaman padi, naungan 50% pada padi genotipe peka akan menyebabkan jumlah gabah/malai rendah serta persentase gabah hampa yang tinggi, sehingga produksi biji rendah (Sopandie *et al.* 2003b). Selain menurunkan kuantitas produksi, pada kasus tanaman padi, saat intensitas cahaya rendah saat pembungaan dapat menurunkan karbohidrat yang terbentuk, sehingga menyebabkan meningkatnya gabah hampa (Chaturvedi *et al.* 1994). Secara umum dampak intensitas cahaya rendah menurunkan hasil kedelai (Asadi *et al.* 1997), jagung (Andrade *et al.* 2000), padi gogo (Supriyono *et al.* 2000), ubi jalar (Nurhayati *et al.* 1985), dan talas (Wirawati *et al.* 2002).

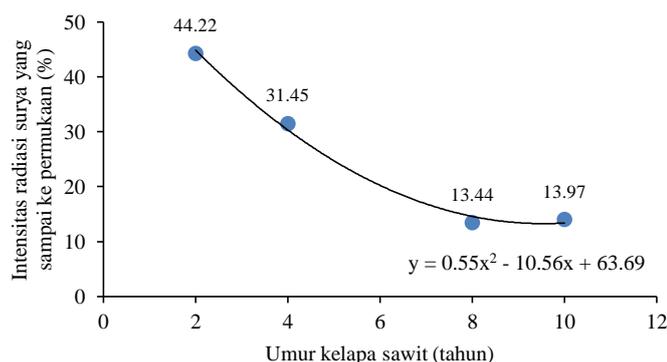
Kedelai memerlukan cahaya yang cukup untuk dapat tumbuh dan berkembang dengan baik, hal ini mengindikasikan bahwa tanaman ini akan mengalami cekaman bila dibudidayakan pada intensitas cahaya rendah atau di

bawah tegakan/naungan (Muhuria *et al.* 2006). Dampak dari intensitas cahaya rendah pada kedelai dapat ditinjau dari anatomis morfologis yaitu dari peningkatan luas daun, ketebalan daun, peningkatan jumlah stomata, dan secara fisiologis akan menurunnya rasio klorofil A/B (Nyingtyas 2006).

Respon tanaman juga dapat berupa perubahan fisiologis tanaman melalui perubahan aktivitas fotosintesis dan respirasi (Muhuria *et al.* 2006). Respon tanaman tersebut secara keseluruhan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan cahaya oleh tanaman untuk pertumbuhannya. Peningkatan efisiensi cahaya direspon tanaman dengan meningkatkan luas bidang tangkapan yang menyebabkan daun lebih menjadi tipis, meningkatkan jumlah klorofil, kerapatan stomata, dan menurunkan rasio klorofil A/B, (Khumaida 2002; Sopandie *et al.* 2003a; Handayani 2003). Penurunan rasio klorofil A/B akibat naungan merupakan peubah yang signifikan terhadap tanaman padi (Sopandie *et al.* 2003a), talas (Djukri dan Purwoko, 2003), kedelai (Khumaida 2002; Handayani 2003; Muhuria *et al.* 2006).

2.7 Intensitas Radiasi Surya di Bawah Tegakan Tanaman Perkebunan

Intersepsi radiasi surya meningkat dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit (Afandi 2014). Berdasarkan analisis data persentase intersepsi radiasi surya, dapat diketahui persentase jumlah radiasi surya yang sampai ke bawah permukaan lahan semakin rendah dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit (Gambar 6). Pada tanaman karet memperlihatkan pola yang hampir sama dengan pada tegakan kelapa sawit. Nilai rata-rata intensitas cahaya di bawah tegakan karet umur 1, 2, 3, dan 4 tahun, akan mengalami penurunan jumlah intensitas radiasi surya seiring bertambahnya umur tanaman (Tabel 1). Dan secara umum terjadi penurunan jumlah intensitas radiasi surya di bawah tegakan karet sebesar 50% per tahunnya hingga umur 4 tahun (Chozin *et al.* 1999).



Sumber: diolah dari Afandi (2014)

Gambar 6 Persentase radiasi surya yang sampai di bawah tegakan kelapa sawit pada beberapa tingkat umur menggunakan *triangular method*

Tabel 1 Intensitas radiasi surya rata-rata di bawah tegakan karet pada beberapa kelompok umur

Umur tanaman karet	Radiasi di bawah tegakan ($W m^{-2}$)
1 tahun	157,57
2 tahun	114,59
3 tahun	52,67
4 tahun	18,42

Sumber: Chozin *et al.* (1999)

Afandi (2014) telah mengukur radiasi global dan yang ditransmisikan di bawah tegakan kelapa sawit umur 2, 4, 8, dan 10 tahun. Hasil yang diperoleh menunjukkan pola yang hampir sama dengan tanaman karet (Tabel 2). Jumlah radiasi surya yang sampai ke permukaan tanah mengalami penurunan.

Tabel 2 Intensitas radiasi surya di atas dan di bawah tegakan kelapa sawit pada beberapa kelompok umur

Umur kelapa sawit	Radiasi global ($W m^{-2}$)	Radiasi di bawah tegakan ($W m^{-2}$)	Intersepsi ($W m^{-2}$)
2 tahun	369,52	156,01	213,52
4 tahun	494,89	155,63	339,26
8 tahun	489,56	65,79	423,77
10 tahun	501,86	70,09	431,77

Sumber: Afandi (2014)

Tabel 3 Kebutuhan rata-rata intensitas radiasi surya beberapa tanaman yang ditanam sebagai tanaman sela pada perkebunan kelapa sawit

Tanaman sela	Radiasi ($W m^{-2}$)	Tanama sela	Radiasi ($W m^{-2}$)
Perkebunan kelapa sawit muda (4 tahun)			
Jagung	143-381	Sorgum	150-300
Padi gogo	150-300	Kapulaga lokal	90-210
Kacang tanah	95-381	Jeruk	143-381
Kedelai	143-381	Pepaya	143-381
Kapas	252,4	Nanas	143-381
Gandum	286	Jambu mete	143-381
Ubi jalar	143-381	Bawang merah	150-300
Jahe	150-300	Kayu manis	150-350
Sawo	150-300	Langsat	150-300
Perkebunan kelapa sawit tua (10 tahun)			
Tomat	48-143	Lada	48-143
Kakao	48-143	Kopi	48-143
Pinang	50-300	Vanili	50-150

Sumber : Mahmud (1998)

Kebutuhan intensitas radiasi radiasi surya untuk tanaman kedelai berkisar antara 143-381 $W m^{-2}$ (Mahmud 1998). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Mahmud (1998) dan Afandi (2014), diketahui bahwa budidaya kelapa sawit hingga umur 4 tahun masih optimal karena kebutuhan intensitas cahaya masih terpenuhi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

(>143 W m⁻²). Modifikasi iklim mikro menjadi penting dilakukan pada tanaman kelapa sawit yang berumur lebih dari 4 tahun untuk meningkatkan jumlah intensitas radiasi surya yang semakin rendah rendah. Tabel 3 menyajikan rata-rata intensitas radiasi surya pada beberapa tanaman yang ditanam sebagai tanaman sela.

2.8 Modifikasi Iklim Mikro dengan Penggunaan Mulsa Reflektif

Iklim berpengaruh terhadap tanaman terutama suhu berkaitan erat dengan perkembangan, sedangkan proses pertumbuhan hampir seluruh unsur iklim memengaruhinya (Handoko 1994). Koesmaryono dan Sabaruddin (2005), juga menyatakan bahwa suhu dan kandungan air tanah berperan penting pada pertumbuhan tanaman, terutama pada pembentukan daun, reproduksi organ, dan pemasakan. Iklim dan cuaca yang paling kuat pengaruhnya terhadap tanaman adalah yang berada disekitar tanaman itu sendiri (*boundary layer*) atau dikenal dengan iklim mikro. Iklim mikro pada suatu pertanaman dapat termodifikasi oleh tanaman itu sendiri atau dipengaruhi oleh faktor luar misalnya tanaman lain maupun pengaruh lingkungan sekitarnya.

Sistem budidaya tanaman campuran/tumpang sari atau sela di bawah tegakan tanaman utama akan mengubah seluruh komponen iklim mikro di bawahnya. Oleh karena itu, pengetahuan dan kemampuan memodifikasi iklim mikro dalam hubungannya dengan sistem budidaya campuran merupakan hal yang penting jika dihubungkan dengan kemampuannya terhadap fungsi-fungsi biologis dan produktivitas tanaman (Koesmaryono *et al.* 2005). Permasalahan utama dalam pemanfaatan lahan di bawah tegakan ini adalah rendahnya intensitas radiasi surya yang sampai permukaan. Pada budidaya tanaman pangan, strategi yang dapat dilakukan untuk mengatasi hal tersebut adalah mulai dari pengurangan populasi hingga pemangkasan, namun untuk tanaman perkebunan (tanaman utama) hal ini tidak mungkin dilakukan. Pada budidaya tanaman perkebunan, budidaya tanaman semusim sebagai tanaman sela harus menyesuaikan dengan kondisi ideal kebutuhan tanaman utama. Pengaturan jarak tanam atau populasi maupun pemangkasan yang berlebihan tidak dapat dilakukan karena akan mengganggu total produksi akhir tanaman utama. Oleh karena itu diperlukan modifikasi iklim mikro yang dapat meningkatkan intensitas radiasi di bawah tegakan tanpa harus mengganggu pola umum dalam budidaya tanaman utama yaitu kelapa sawit.

Modifikasi iklim mikro untuk meningkatkan intensitas radiasi di bawah tegakan salah satunya adalah dengan penggunaan mulsa reflektif yang berperan sebagai reflektor. Mulsa reflektif merupakan benda yang disebar di permukaan lahan yang mampu memantulkan radiasi surya yang datang ke titik tertentu pada bagian tanaman. Kemampuan surya mengtransmisi energinya melalui suatu tegakan menyebabkan hanya sebagian radiasi akan mencapai permukaan lahan, penggunaan mulsa reflektif akan mengembalikannya ke tegakan tanaman. Peningkatan intensitas refleksi radiasi tersebut akan meningkatkan intersepsi dan efisiensi penggunaan radiasi surya. Tambahan intensitas refleksi radiasi surya pada suatu tegakan tanaman akan meningkatkan produksi tanaman secara signifikan (Meyer *et al.* 2012; Mejias 2012). Tinggi rendahnya kemampuan mulsa reflektif dalam memantulkan cahaya ditentukan oleh nilai albedonya. Benda yang putih sempurna akan memantulkan cahaya sempurna bernilai 1 atau 100% dan benda

hitam sempurna akan bernilai 0 atau sama sekali tidak ada radiasi yang dipantulkan. Penggunaan mulsa reflektif akan menghasilkan pengayaan radiasi di bawah tegakan, selain itu juga berperan dalam menghambat laju transportasi uap air dari tanah ke atmosfer akibat energi untuk proses evaporasi sangat rendah, serta menurunkan suhu permukaan tanah menjadi lebih rendah dibandingkan dengan lahan terbuka (Humaerah 2002).

Material yang sering digunakan sebagai mulsa reflektif adalah bahan-bahan berwarna terang yang mempunyai reflektifitas tinggi. Sitaniapessy (1981) menggunakan plastik jenis PVC yang mempunyai daya refleksi 44% untuk menambah radiasi pada pertanaman jagung, dan dapat meningkatkan radiasi yang diterima dalam komunitas jagung rata-rata 16% dan meningkatkan produksi hingga 27%. Menurut Boer (1983) penggunaan mulsa reflektif pada tanaman tomat yang ditumpangсарikan dengan jagung akan meningkatkan radiasi sekitar 15%, dan dapat meningkatkan bobot tongkol jagung sebesar 13%, mempercepat masa pembungaan, pemasakan buah pertama tomat serta meningkatkan jumlah buah tomat yang dibentuk.

Penggunaan mulsa reflektif metalik dan hitam perak meningkatkan produksi kedelai 17%-34% pada kondisi tanpa naungan, serta 33%-39% pada kondisi naungan 50% (Mubarak *et al.* 2017). Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan mulsa reflektif dapat meningkatkan distribusi radiasi matahari di sekitar pertanaman kedelai pada kondisi ternaungi sehingga meningkatkan intersepsi radiasi dan efisiensi pemanfaatan radiasi. Meskipun demikian, penggunaan mulsa reflektif pada budidaya tanaman harus memperhatikan ketersediaan air pada sekitar perakaran tanaman. Tanpa air yang cukup maka peran mulsa reflektif untuk kebutuhan fotosintesis tidak akan optimal.

III METODE

3.1 Survei, Pengumpulan Data Iklim dan Tanah

Survei telah dilakukan beberapa tahap sejak bulan Oktober 2017 sampai Januari 2018 untuk mendapatkan informasi awal tentang lokasi penelitian. Alat yang digunakan antara lain GPS, dan alat-alat pengambilan sampel tanah. Informasi yang digali sebagai penelitian pendahuluan meliputi: 1] kondisi perkebunan kelapa sawit (umur, jarak tanam, bibit, sistem budidaya, dan organisme pengganggu tanaman), 2] Analisis unsur hara tanah, 3] Data iklim lokasi penelitian selama 10 tahun terakhir (radiasi surya, curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, dan kecepatan angin).

3.2 Uji Albedo Material Mulsa Reflektif

3.2.1 Waktu dan Tempat

Pengukuran albedo mulsa reflektif telah dilaksanakan pada bulan Desember 2018 dan Januari 2019 pada beberapa lokasi yaitu Sawah Baru Kebun Percobaan IPB Dramaga Kabupaten Bogor Jawa Barat, dan di perkebunan kelapa sawit PTPN VIII Bantarjaya, Cimarga Lebak Banten. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Agrometeorologi Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA-IPB Bogor.

3.2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi mulsa reflektif antara lain mulsa plastik metalik (MPM) 16 m², mulsa plastik hitam perak (MPHP) 16 m², sekam kulit padi kering (SKPK) 11 ton ha⁻¹ atau 17.6 kg bedeng⁻¹, dan daun kelapa sawit kering (DKSK) 9 ton ha⁻¹ atau 14,4 kg bedeng⁻¹. Alat-alat utama yang digunakan dalam penelitian pendahuluan ini antara lain 2 unit *tube solarimeter* lengkap dengan *digital multimeter* dan dudukannya (*port*), dan psikrometer serta alat-alat untuk kebutuhan lapangan lainnya. *Tube solarimeter* yang digunakan telah dikalibrasi dengan *pyranometer tipe-SR03 (Hukseflux Thermal Sensors, The Netherlands)* di Balitklimat Cimanggu Bogor.

3.2.3 Metode

Pengujian kemampuan albedo terhadap empat jenis bahan mulsa reflektif dan dua jenis permukaan lahan (kontrol). Adapun bahan mulsa reflektif dan jenis permukaan lahan yang dimaksud adalah 1] mulsa plastik metalik (MPM), 2] mulsa plastik hitam perak (MPHP), 3] sekam kulit padi kering (SKPK), 4] daun kelapa sawit kering (DKSK), 5] lahan rumput pendek, dan 6] tanah terbuka/tanpa vegetasi.

Mulsa reflektif diuji dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu kelompok mulsa reflektif organik dan anorganik. Jenis mulsa reflektif organik terdiri dari SKPK dan DKSK, sedangkan mulsa reflektif anorganik adalah MPM dan MPHP. Sebagai kontrol digunakan tutupan lahan berupa tanah terbuka (Kon1-TT) dan lahan bervegetasi rumput pendek (Kon2-RP).

Pengujian albedo mulsa reflektif dan kontrol diawali dengan membuat hamparan pada tanah datar (seperti bedeng) untuk setiap jenis mulsa reflektif dan tutupan lahan, masing-masing dengan luasan 4 m x 4 m atau 16 m². Setiap jenis mulsa reflektif dipasang menutupi permukaan tanah pada bedeng yang telah dibuat.

Pengukuran dilakukan dengan meletakkan *tube solarimeter*-1 di lapangan terbuka dengan sensor menghadap ke atas untuk memperoleh intensitas radiasi datang (global), sedangkan radiasi pantul diukur dengan *tube solarimeter*-2 dengan sensor menghadap ke permukaan lahan atau mulsa reflektif/lahan pada waktu yang bersamaan. Khusus untuk pengukuran radiasi pantul, sensor *tube solarimeter*-2 diatur ketinggiannya atau jarak sensor dari permukaan 30 cm, 60 cm, dan 120 cm. Selama pengukuran radiasi datang dan radiasi pantul, juga dilakukan pengamatan suhu udara, dan kelembaban udara selama pengujian albedo berlangsung. Untuk menghitung persentase albedo digunakan Persamaan 7.

$$Albedo = \left[\frac{\text{radiasi pantul } (W m^{-2})}{\text{radiasi datang } (W m^{-2})} \right] \quad (7)$$

3.3 Analisis Intersepsi dan Transmisi Radiasi Surya Tegakan Kelapa Sawit Umur 4, 5 dan 8 tahun

3.3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada Januari 2018 di perkebunan kelapa sawit PTPN VIII Bantarjaya Kabupaten Lebak Provinsi Banten. Titik pengukuran dilakukan pada tiga lokasi yaitu lokasi pertama adalah pada tanaman sawit umur 4 tahun (6°28'35,52"S 106°14'2,58"E), lokasi kedua pada tanaman sawit umur 5 tahun (6°29'13,02"S 106°13'44,34"E), dan ketiga lahan kelapa sawit umur 8 tahun (6°27'38,64"S 106°14'15,9"E).

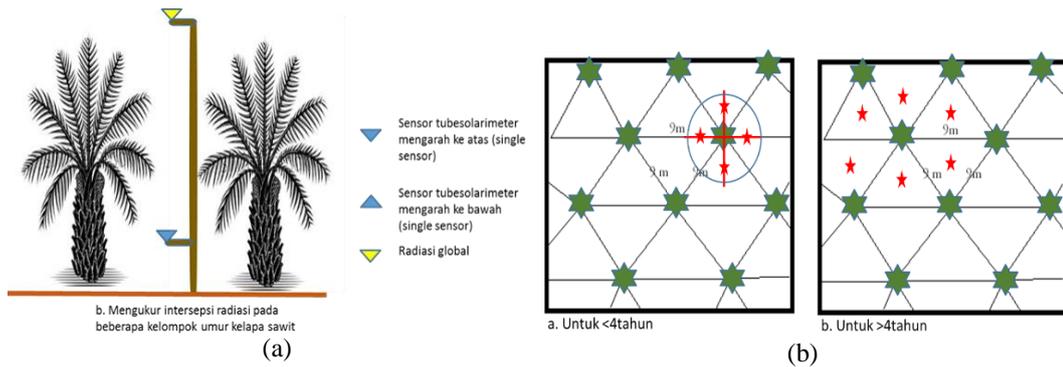
3.3.2 Bahan dan Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah GPS, dua unit *tube solarimeter*, digital voltmeter (DVM), kabel-kabel, tali rafia dan ajir bambu untuk menentukan titik peletakan sensor di bawah tegakan kelapa sawit.

3.3.3 Metode

Pengukuran intersepsi radiasi surya dilakukan dengan mengukur intensitas radiasi surya di atas dan bawah tegakan kelapa sawit dengan menggunakan *tube solarimeter* (Gambar 7a). Pengukuran ini dilakukan pada beberapa kelompok umur kelapa sawit, yaitu umur 4 tahun, 5 tahun, dan 8 tahun. Intersepsi radiasi surya oleh tegakan kelapa sawit diperoleh dari hasil pengukuran intensitas radiasi surya yang sampai di puncak tegakan tanaman atau pada lahan terbuka, dikurangi dengan intensitas radiasi surya yang diukur di bawah tegakan kelapa sawit. Penentuan titik sensor *tube solarimeter* untuk pengukuran intensitas radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit dilakukan menggunakan metode *triangular method* seperti yang disajikan pada Gambar 7b.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 7 Ilustrasi penempatan sensor *tube solarimeter* untuk pengukuran persentase intersepsi dan transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit (a), titik penempatan sensor *tube solarimeter* di bawah tegakan kelapa sawit menggunakan *triangular method* pada tanaman kelapa sawit muda (≤ 4 tahun) dan kelapa sawit umur >4 (Awal *et al.* 2005) (b)

Persentase intersepsi radiasi surya ($Q_{int}\%$) dan persentase transmisi radiasi surya ($Q_{trans}\%$) oleh tegakan kelapa sawit dapat dihitung dengan Persamaan 8, 9, dan 10.

$$Q_g = Q_{int} + Q_{trans} \quad (8)$$

$$Q_{int}(\%) = \left(1 - \frac{I}{I_0}\right) \times 100\% \quad (9)$$

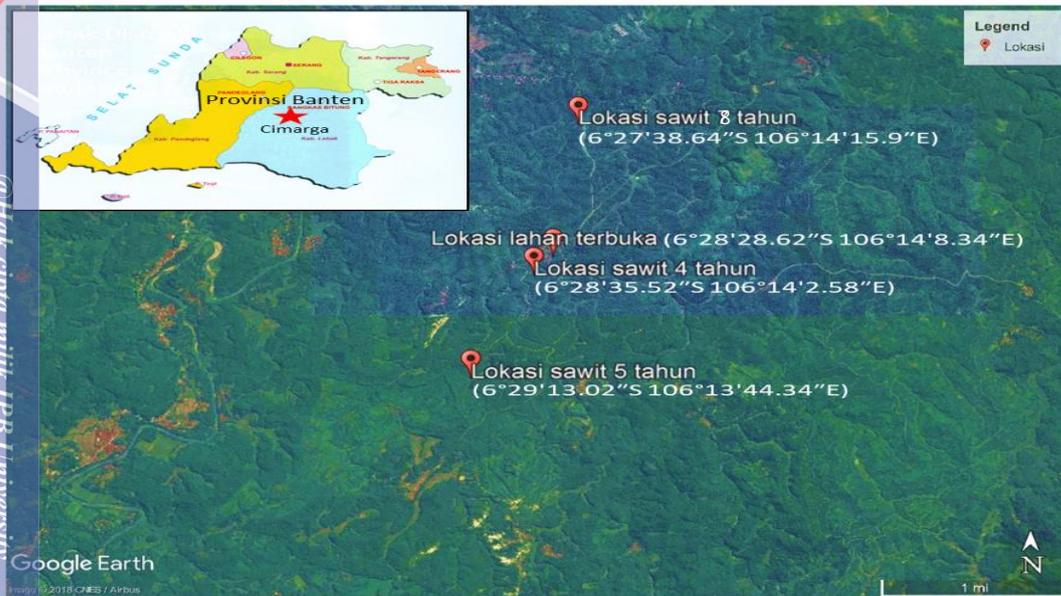
$$Q_{trans}(\%) = \left(\frac{I}{I_0}\right) \times 100\% \quad (10)$$

Q_g adalah radiasi global yang sampai ke permukaan tegakan kelapa sawit (MJ m^{-2}). Q_{int} adalah intensitas radiasi yang diintersepsi oleh tegakan kelapa sawit (MJ m^{-2}), dan Q_{trans} adalah intensitas radiasi yang ditransmisikan di bawah tegakan kelapa sawit (MJ m^{-2}).

3.4 Penggunaan Mulsa Reflektif Pada Sistem Tanam Sela Kelapa Sawit-Kedelai

3.4.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini telah dilaksanakan sejak April sampai dengan Agustus 2018. Lokasi penelitian di Kebun PTPN VIII Bantarjaya Kabupaten Lebak Provinsi Banten dengan rata-rata ketinggian 102 mdpl. Penelitian tersebut dilakukan di empat titik seperti disajikan pada Gambar 8, dengan koordinatnya sebagai berikut : 1) lahan terbuka/kontrol ($6^{\circ}28'28,62''\text{S } 106^{\circ}14'8,34''\text{E}$), 2) di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun ($6^{\circ}28'35,52''\text{S } 106^{\circ}14'2,58''\text{E}$), 3) di bawah tegakan kelapa sawit umur 5 tahun ($6^{\circ}29'13,02''\text{S } 106^{\circ}13'44,34''\text{E}$), dan 4) di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun ($6^{\circ}27'38,64''\text{S } 106^{\circ}14'15,9''\text{E}$).



Gambar 8 Peta lokasi penelitian di Kebun PTPN VIII Kecamatan Cimarga Kabupaten Lebak Provinsi Banten

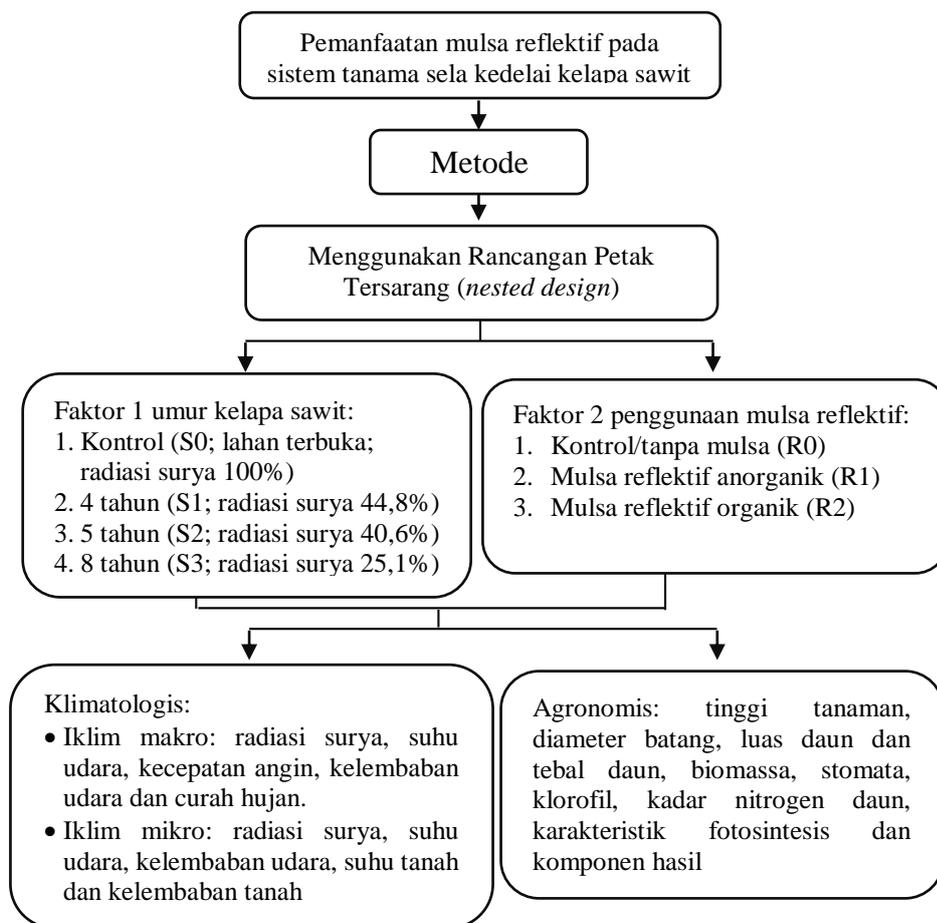
3.4.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah mulsa reflektif anorganik (mulsa plastik hitam perak; MPHP) dan mulsa reflektif organik (daun kelapa sawit kering; DKSK) dengan dosis 9 ton ha^{-1} (sesuai hasil uji penelitian tahap ke-2), benih kedelai varietas anjasmoro sebanyak 25 kg ha^{-1} , pupuk kandang/organik (4 ton ha^{-1}), bakteri *rhyzobium* ($5 \text{ g per } 1 \text{ kg benih}$), pupuk anorganik (urea 25 kg ha^{-1} , SP36 200 kg ha^{-1} dan KCl 100 kg ha^{-1}), dan kapur dolomit (2 ton ha^{-1}).

Alat-alat yang digunakan meliputi meteran, oven, timbangan *digital*, jangka sorong, SPAD 502, *cool box*, LI-6400XT (LI-COR, USA), mikroskop trinokuler, dan mikroskop *BX41drone-electric*. Selain itu juga digunakan instrumentasi meteorologi diantaranya adalah *tube solarimeter* (9 unit), *data logger*, termometer udara (9 unit), termometer maksimum-minimum, termometer tanah (4 unit), *lutron soil moisture meter* (PMS-714), *Global Positioning System* (GPS), *waterpass*, *digital multimeter*, *scanner* daun serta AWS-mini (*automatic weather station*).

3.4.3 Metode

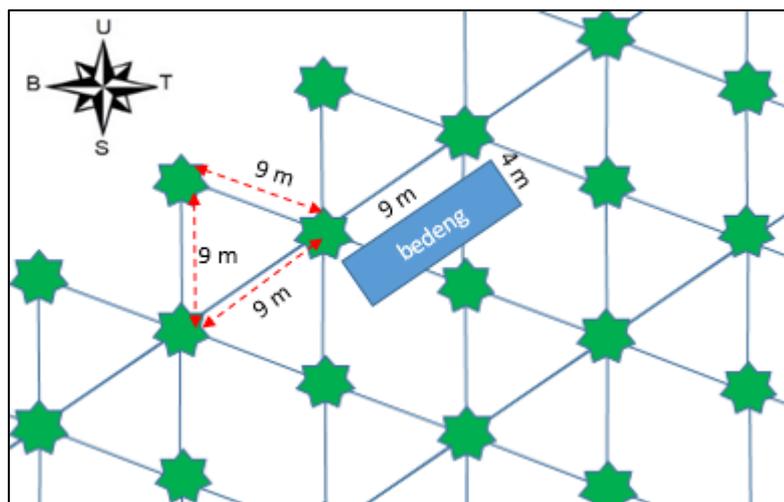
Bagan metode penelitian inti secara umum disajikan pada Gambar 9. Pada penelitian ini beberapa perlakuan yang diaplikasikan merupakan hasil penelitian tahap 1, 2, dan 3 yang telah dilakukan sebelumnya. Mulsa reflektif yang digunakan pada penelitian inti merupakan hasil seleksi dari penelitian pendahuluan dengan memilih 2 jenis mulsa reflektif yang nilai albedonya tinggi, murah serta mudah diperoleh. Berdasarkan penelitian pendahuluan diketahui bahwa mulsa reflektif mulsa plastik hitam perak (MPHP) dan daun kelapa sawit kering (DKSK) mempunyai albedo yang baik, ekonomis dan mudah memperolehnya sehingga digunakan dalam penelitian inti. Selanjutnya MPHP dikelompokkan sebagai mulsa reflektif anorganik/sintetik dan DKSK sebagai mulsa reflektif organik.



Gambar 9 Bagan metode penelitian inti

a) Persiapan, pengolahan tanah, penanaman, dan pemeliharaan

Penelitian lapangan dimulai dengan mempersiapkan alat-alat/instrumentasi klimatologi dan agronomis serta bahan-bahan untuk kebutuhan lapangan penanaman, pemeliharaan dan panen. Selanjutnya menentukan lokasi kebun kelapa sawit yang akan dijadikan lokasi penelitian yang disesuaikan dengan perlakuan, yaitu pada lahan terbuka (kontrol), lahan kelapa sawit umur 4 tahun, 5 tahun dan 8 tahun. Kemudian dilakukan pembersihan lahan dan membuat bedengan dengan ukuran 4 m x 9 m dengan arah Barat Daya-Timur Laut yang disesuaikan dengan ruang/sela antar baris tanaman kelapa sawit di lapangan (Gambar 10).



Keterangan :

-  adalah tegakan kelapa sawit
- Panjang bedeng adalah 9 m, lebar bedeng bedeng 4 m dan luas bedeng sebesar 36 m²

Gambar 10 Posisi bedeng dalam populasi perkebunan kelapa sawit

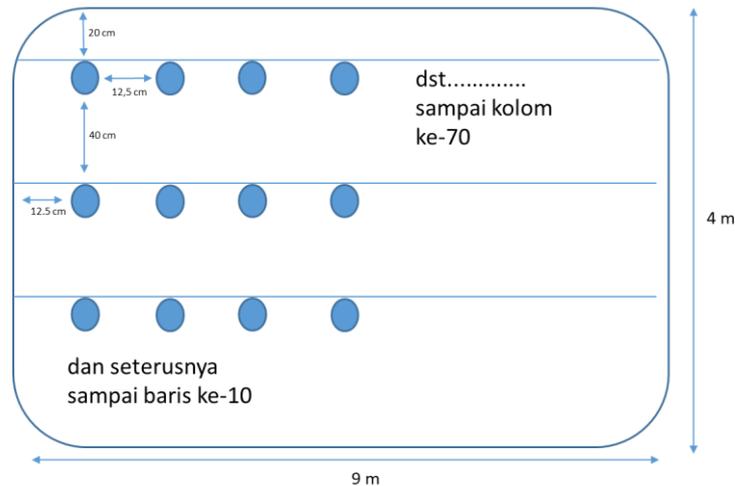
Pemberian pupuk dasar yaitu pupuk organik (pupuk kandang) dan anorganik pada setiap bedeng. Adapun jumlah pupuk yang digunakan adalah sebagai berikut: pupuk kandang/organik (4 ton ha⁻¹; 14,4 kg bedeng⁻¹), bakteri *rhyzobium* (5 g tiap 1 kg benih), urea 25 kg ha⁻¹ (90 g bedeng⁻¹), SP36 200 kg ha⁻¹ (720 g bedeng⁻¹) dan KCl 100 kg ha⁻¹ (360 g bedeng⁻¹) dan kapur dolomit 2 ton ha⁻¹ (7,2 kg bedeng⁻¹). Pemasangan mulsa reflektif pada bedeng disesuaikan dengan desain perlakuan. Kebutuhan mulsa reflektif disesuaikan dengan luas bedeng yang dibuat. Kebutuhan mulsa reflektif organik (DKSK) adalah 9 ton ha⁻¹ atau 32,4 kg bedeng⁻¹, dengan ketebalan sekitar 5 cm dan ketertutupan 80-90%.

Jarak tanam yang digunakan dalam penelitian ini adalah 40 cm x 12,5 cm (Gambar 11). Setelah membuat lubang tanam dengan cara ditugal dengan kedalaman 5 cm, selanjutnya setiap lubang diisi dengan benih kedelai sebanyak 2 biji per lubang tanam. Lubang tanam yang berisi benih tersebut selanjutnya ditutup dengan tanah gembur tipis-tipis. Pemeliharaan tanaman meliputi penyiraman, pemberantasan gulma, dan pengendalian hama penyakit yang dilakukan secara mekanik. Penyiraman dilakukan satu kali sehari, yaitu pada pagi atau sore hari bila tidak ada hujan. Untuk mengendalikan hama dilakukan melalui pemberian insektisida.

Pemanenan dilakukan berdasarkan kriteria masak fisiologis. Ciri-ciri tanaman kedelai telah masak fisiologis dan siap panen adalah daun menguning dan mudah rontok, polong biji mengering dan berwarna kecoklatan, panen dilakukan dengan cara menggunting batang dengan menggunakan gunting potong tajam.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Keterangan: Jarak tanam 40 cm x 12,5 cm dan bila setiap lubang tanam yang diisi dengan 2 butir benih kedelai maka potensi populasi per bedeng sekitar 1440 tanaman (400.000 tanaman hektar⁻¹ atau 205.400 tanaman hektar⁻¹ berdasarkan luas lahan efektif bedeng pada perkebunan kelapa sawit)

Gambar 11 Jarak tanam dan jumlah populasi kedelai per satuan percobaan

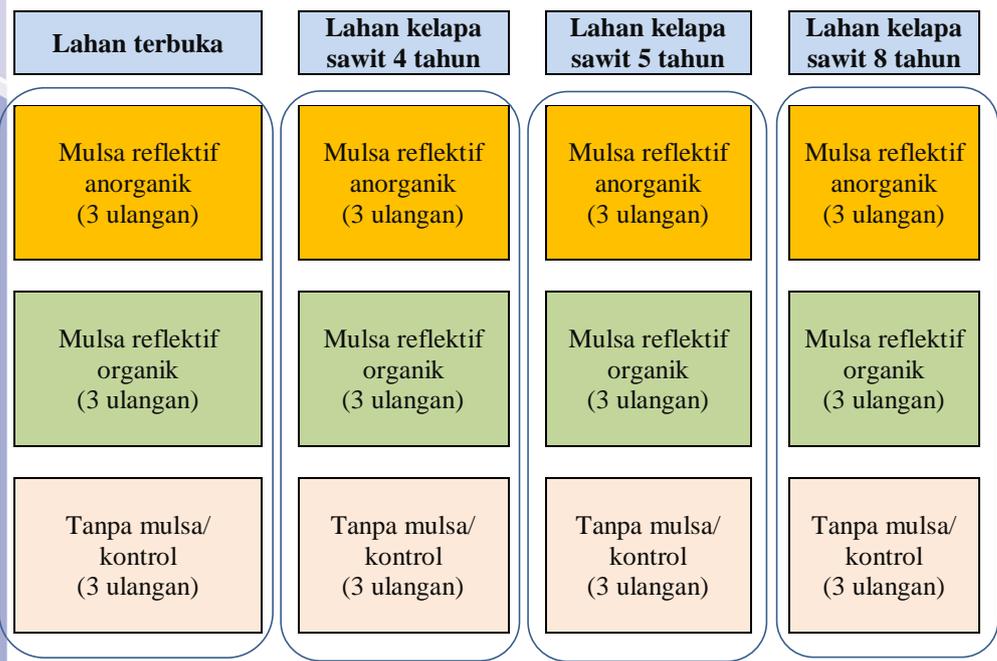
b) Rancangan percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah rancangan petak tersarang (*nested design*) yang terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah umur kelapa sawit (S) yang terdiri atas kontrol (S0; lahan terbuka; cahaya 100%), umur 4 tahun (S1), 5 tahun (S2) dan 8 tahun (S3). Faktor kedua adalah jenis mulsa reflektif yang terdiri atas kontrol (R0; tanpa mulsa), mulsa reflektif anorganik (R1), dan mulsa reflektif organik (R2). Susunan kombinasi perlakuan disajikan pada Tabel 4. Bagan pelaksanaan lapangan disajikan pada Gambar 12.

Tabel 4 Kombinasi perlakuan kelompok umur kelapa sawit dengan jenis mulsa reflektif

Jenis mulsa reflektif	Kelompok umur kelapa sawit							
	Lahan terbuka (S0)		4 tahun (S1)		5 tahun (S2)		8 tahun (S3)	
Tanpa mulsa reflektif (R0)	S0	R0	S1	R0	S2	R0	S3	R0
Mulsa reflektif anorganik (R1)	S0	R1	S1	R1	S2	R1	S3	R1
Mulsa reflektif organik (R2)	S0	R2	S1	R2	S2	R2	S3	R2

Keterangan: R1 adalah MPHP (mulsa plastik hitam perak), R2 adalah DKSK (daun kelapa sawit kering)



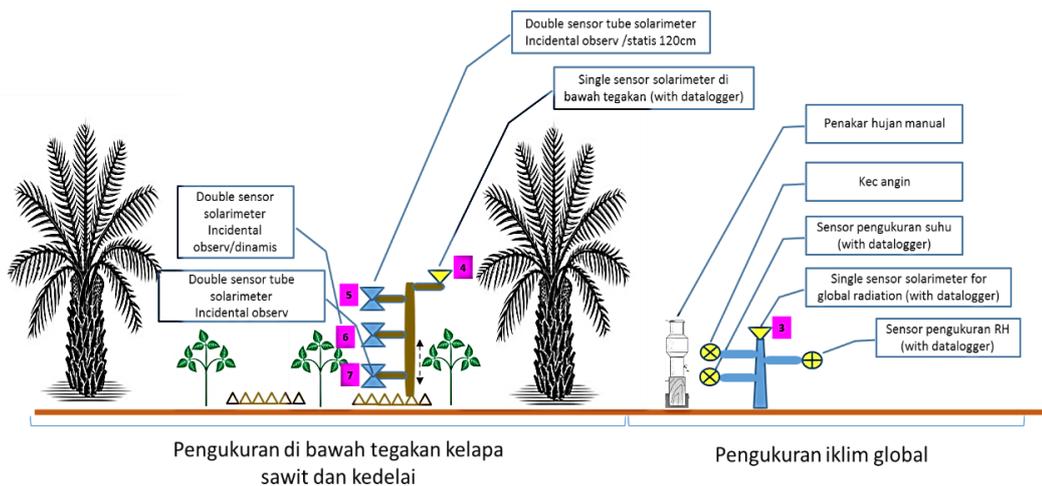
Gambar 12 Bagan pelaksanaan lapangan

c) Parameter pengamatan

Parameter-parameter yang diamati pada penelitian ini dikelompokkan dalam 3 kelompok. Kelompok parameter yang dimaksud meliputi klimatologis, tanah, dan agronomis.

Parameter klimatologis terbagai dalam dua kategori yaitu parameter iklim makro dan iklim mikro. Parameter iklim makro diperoleh dari stasiun klimatologi terdekat yaitu stasiun milik PTPN VIII Cisalak Baru terdiri atas unsur radiasi surya, suhu udara (suhu rata-rata, suhu maksimum, dan suhu minimum), kecepatan angin, kelembaban udara, dan curah hujan serta pemasangan AWS (*automatic weather station*) mini selama penelitian. Parameter iklim mikro merupakan pengamatan langsung di sekitar tanaman kedelai baik di atas maupun di bawah tajuk. Adapun parameter yang diamati yaitu radiasi surya, suhu udara (suhu rata-rata, suhu maksimum, suhu minimum), dan kelembaban udara (di bawah tegakan kelapa sawit). Pengukuran radiasi surya dilakukan baik di luar maupun di bawah tegakan, antara lain radiasi global/datang, radiasi datang di bawah tegakan kelapa sawit, radiasi di bawah tegakan kedelai, radiasi refleksi dari mulsa reflektif/permukaan (Gambar 13).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 13 Penempatan sensor radiasi surya di luar dan di dalam tegakan

Iklim mikro tanah yang diamati meliputi suhu tanah dan persentase kelembaban tanah/kadar air tanah. Suhu tanah diukur pada kedalaman 5 cm dan 10 cm pada setiap bedeng dua minggu sekali. Titik pengukuran di dalam bedeng ditentukan secara acak dengan tiga ulangan. Persentase kelembaban tanah/kadar air tanah diukur dengan *soil moisture* dan juga diambil sampel tanah secara komposit.

Parameter agronomis yang diamati meliputi parameter morfologi dan fisiologi. Parameter morfologi meliputi tinggi dan diameter batang, luas daun, kehijauan daun (SPAD), jumlah stomata, tebal daun, kerapatan stomata, panjang dan lebar stomata, jumlah polong bernas dan hampa, biomassa, produktivitas, serta berat biji 100 butir. Parameter fisiologi diantaranya klorofil A, B dan A/B dan karakteristik fotosintesis meliputi laju fotosintesis, laju transpirasi, *intercellular CO₂ concentration*, dan konduktansi stomata. Secara detil pengukuran dilakukan sebagai berikut:

- Tinggi tanaman, diukur dua minggu sekali sejak umur tanaman 2 minggu setelah tanam (MST), dengan meteran dari permukaan tanah hingga pucuk daun tertinggi dalam satuan sentimeter (cm). Setiap bedeng terdapat 3 sampel tanaman.
- Diameter batang, diukur dua minggu sekali sejak umur 2 MST menggunakan jangka sorong digital pada pangkal batang kedelai dalam satuan (mm). Setiap bedeng terdapat 3 sampel tanaman.
- Luas daun, diukur dengan memindai daun sampel tanaman dengan *scanner* dan selanjutnya dianalisis menggunakan *software Image J 1.50g*. Setiap bedeng terdapat 3 sampel tanaman.
- Laju fotosintesis, transpirasi dan konduktansi stomata diukur menggunakan LI-6400XT (LI-COR, USA) pada saat puncak fase vegetatif (5 minggu setelah tanam). Pengukuran daun tanaman kedelai dilakukan pada setiap bedeng dengan 3 sampel tanaman ditentukan secara acak. Daun yang diukur terdiri dari 2 kelompok, yaitu kelompok posisi daun di bagian atas dan kelompok posisi daun di bagian bawah kedelai. Pengukuran dilakukan pada pukul 10.30-13.30 WIB dengan nilai PAR berkisar antara 997,38-1003,95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (rata-rata 1000,38 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) dan konsentrasi CO_2 sebesar 367,13-423,66 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ atau rata-rata 389,92 $\mu\text{mol mol}^{-1}$.

- Pengamatan stomata dilakukan untuk mengetahui luas stomata (μm) dan kerapatan stomata (unit mm^{-2}). Pengambilan sampel stomata daun dilakukan dengan teknik replika kemudian menempatkannya pada kaca preparat. Hasil replika stomata diamati di bawah mikroskop Olympus tipe BX41 pada pembesaran 10x40 dan luas bidang pandang $0,19625 \text{ mm}^2$. Untuk menghitung jumlah dan luas stomata menggunakan *software Image J 1.50g*.

Ketebalan daun (μm) diamati pada fase vegetatif puncak (5 MST) menggunakan sampel daun ketiga. Preparasi daun yang dijadikan sampel dilakukan dengan irisan mikrotom. Irisan terbaik selanjutnya diukur tingkat ketebalannya pada mikroskop trinokuler dengan aplikasi DP2-BSW *Imaging software*.

Analisis kandungan klorofil A, B dan A/B daun kedelai, menggunakan daun ke-5 dari atas, yang dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-VIS di Laboratorium Analisis Departemen AGH Fakultas Pertanian, IPB University, Bogor.

d) Analisis data

Analisis lanjutan ini terdiri dari analisis data klimatologis, agronomis, dan tanah dari hasil pengamatan.

(1) Klimatologis

- Intensitas refleksi radiasi surya permukaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai; pengamatan dilakukan menggunakan 2 unit *tube solarimeter (double sensor)* yang dipasang di atas permukaan bedeng sesuai perlakuan pada ketinggian 30 cm dan 120 cm. Setiap bedeng dilakukan pengukuran sebanyak 3 titik yang dipilih secara acak dan di ulang sebanyak 5 ulangan.
- Intersepsi radiasi surya adalah besar radiasi surya yang tertahan oleh tajuk atau kanopi tanaman yang tidak sampai ke permukaan tanah di bawah tajuk atau kanopi tanaman tersebut. Menurut Handoko (1994) intersepsi radiasi surya merupakan selisih antara radiasi yang diterima di atas tajuk dan di bawah tajuk tanaman. Intersepsi radiasi (Q_{int} ; MJ m^{-2}); Q_{int} diduga menggunakan Hukum Beer (Persamaan 11), Q_0 adalah radiasi di atas tajuk, k adalah koefisien pemadaman (Persamaan 13), P adalah jumlah populasi, ILD adalah indeks luas daun (Persamaan 12), L_h adalah luas lahan (m^2), L_d adalah luas daun (m^2), I_t adalah intensitas radiasi yang diterima di dalam tajuk, dan I_0 adalah intensitas radiasi yang diterima puncak tajuk (Handoko *et al.* 2010).

$$Q_{int} = Q_0 \times (1 - \exp(-k \times ILD)) \tag{11}$$

$$ILD = P \times \left(\frac{L_d}{L_h}\right) \tag{12}$$

$$-k = \frac{\ln\left(\frac{I_t}{I_0}\right)}{LAI} \tag{13}$$

- Efisiensi pemanfaatan radiasi surya atau *radiation use efficiency* (RUE) adalah nisbah antara energi yang digunakan untuk membentuk bahan kering dengan total radiasi surya atau PAR yang diterima selama masa pertumbuhan. Penelitian ini menggunakan total radiasi surya yang diterima pada puncak tajuk tanaman untuk perhitungan efisiensi pemanfaatan radiasi

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

surya. Efisiensi radiasi surya pada tanaman dapat dihitung dari Persamaan 14.

$$\varepsilon = dw / Q_{int} \quad (14)$$

Keterangan :

ε : Efisiensi pemanfaatan radiasi surya ($g \text{ MJ}^{-1}$)

dw : Penambahan biomassa tanaman ($g \text{ m}^{-2}$)

Q_{int} : Intersepsi radiasi surya (MJ m^{-2})

(2) Agronomis dan tanah

- Laju pertumbuhan tanaman dan laju pertumbuhan relatif; Analisis laju pertumbuhan tanaman (LPT) menunjukkan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering tiap tanaman tiap satuan waktu ($g \text{ tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$). Analisis laju pertumbuhan relatif (LPR) menyajikan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi tiap satuan bobot kering awal tiap satuan waktu ($g \text{ g}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$). Kedua analisis tersebut disajikan pada Persamaan 15 dan 16, $W1$ adalah bobot kering tanaman pada waktu $T1$ (g), $W2$ adalah bobot kering tanaman pada waktu $T2$ (g), $T1$ adalah waktu pengukuran awal (setiap minggu), dan $T2$ adalah waktu pengukuran akhir (setiap minggu).

$$LPT = \frac{W2-W1}{T2-T1} \quad (15)$$

$$LPR = \frac{1}{W} \times \frac{dW}{dT} \quad (16)$$

- Bobot daun spesifik (*specific leaf weight/SLW*; mg cm^{-2}) dan luas daun spesifik (*specific leaf area/SLA*; $\text{cm}^2 \text{ g}^{-1}$) dapat dihitung dengan Persamaan 17 dan Persamaan 18 (Ma *et al.* 1995):

$$SLW = \frac{\text{berat daun}}{\text{luas daun}} \quad (17)$$

$$SLA = \frac{\text{luas daun}}{\text{berat daun}} \quad (18)$$

- Analisis rasio etiolasi (RE) yang menyatakan besarnya persentase etiolasi yang terjadi pada suatu pertanaman yang dihitung berdasarkan nisbah antara tinggi tanaman dengan diameter batang kedelai. RE didekati dengan Persamaan 19. H adalah tinggi tanaman kedelai (cm), dan D adalah diameter batang kedelai (cm). Kriteria RE dikategorikan dalam 4 kategori yaitu etiolasi normal (RE: <100), etiolasi lemah (RE: 100-150), etiolasi kuat (RE: 151-200) dan etiolasi sangat kuat (RE: >200).

$$RE = \frac{H}{D} \quad (19)$$

- Analisis kadar air tanah (KAT) dilakukan dengan metode Gravimetri di Laboratorium Fisika Tanah Balitbangtan Cimanggu Bogor. Sampel tanah

dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam atau beratnya sudah konstan (Tan 2005). Selanjutnya kadar air tanah berdasarkan berat kering dihitung dengan Persamaan 20. KAT adalah Kadar air tanah (%), *Bku* adalah berat tanah basah (g), dan *Bko* adalah berat tanah kering oven (g).

$$KAT = \left(\frac{Bku - Bko}{Bko} \right) \times 100\% \quad (20)$$

3.5 Produktivitas Lahan dan Kelayakan Nilai Ekonomi Sistem Usaha Tani Tanam Sela Kelapa Sawit-Kedelai

3.5.1 Produktivitas Lahan

Produktivitas lahan yang usahakan dengan sistem tanam sela atau *intercropping* dapat didekati dengan rasio kesetaraan lahan atau (*Land Equivalent Ratio*; LER). Nilai LER dapat dihitung pada saat tanaman sudah dipanen. Perhitungan dilakukan berdasarkan produktivitas kelapa sawit *intercropping* (*Yab*) atau produktivitas kelapa sawit 4 bulan setelah penelitian, dan produktivitas kelapa sawit *monocropping* (*Yaa*), sedangkan produktivitas kedelai *intercropping* adalah *Yba*, dan produktivitas kedelai *monocropping* adalah *Ybb*. Rasio kesetaraan lahan dapat dihitung untuk mengetahui tingkat efisiensi lahan dalam sistem tumpang sari atau tanam sela yang diuji. Menurut Beets (1982) LER dapat dihitung dengan Persamaan 21.

$$LER = \frac{Yab}{Yaa} + \frac{Yba}{Ybb} \quad (21)$$

3.5.2 Kelayakan Nilai Ekonomi

Kelayakan nilai ekonomi sistem usaha tani budidaya kedelai dihitung berdasarkan rasio penerimaan total (*total revenue*) dengan pengeluaran total atau nilai rasio R/C (Persamaan 22). Penerimaan total adalah hasil yang diperoleh dari hasil kegiatan usaha tani kedelai untuk satu kali musim tanam, dinilai dalam satuan rupiah per musim tanam per hektar (Rp MT⁻¹ ha⁻¹). Biaya total (*total cost*), yaitu seluruh biaya yang dikeluarkan selama satu kali musim tanam dinyatakan dalam satuan rupiah per musim tanam per hektar (Rp MT⁻¹ ha⁻¹).

$$Rasio \frac{R}{C} = \frac{Penerimaan\ total\ (total\ revenue)}{Pengeluaran\ total\ (total\ cost)} \quad (22)$$

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kondisi Umum Wilayah Kajian

4.1.1 Iklim

Kebun kelapa sawit Bantarjaya terletak di Kecamatan Cimarga merupakan bagian dari wilayah perkebunan PTPN VIII di bawah Pengelolaan Kebun Cisolak Baru Rangkasbitung Kabupaten Lebak Provinsi Banten. Perkebunan di kawasan ini mempunyai ketinggian rata-rata 100 mdpl. Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson dengan menggunakan data curah hujan selama 11 tahun terakhir, wilayah Cimarga yang menjadi lokasi penelitian mempunyai tipe iklim A atau daerah sangat basah dengan vegetasi hutan hujan tropis. Karakteristik curah hujannya mempunyai satu puncak curah hujan yaitu sekitar bulan Januari dan Februari dan digolongkan ke dalam tipe hujan monsun.

Tabel 5 menyajikan data iklim wilayah penelitian 11 tahun terakhir yaitu sejak tahun 2007-2017. Wilayah penelitian mempunyai curah hujan rata-rata tahunan 1906 mm tahun⁻¹ dengan puncak curah hujan terjadi pada awal tahun yaitu sekitar bulan Januari dan Februari dengan masing-masing curah hujan 341 mm bulan⁻¹ dan 286 mm bulan⁻¹. Curah hujan terendah berdasarkan data satu dekade terakhir terdapat pada bulan Agustus dengan curah hujan hanya 46 mm bulan⁻¹. Jumlah rata-rata hari hujan 138 hari, dengan hari hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari sebanyak 20 hari dan hari hujan terendah pada bulan Agustus hanya 5 hari.

Tabel 5 Data iklim bulanan wilayah penelitian (2007-2017)

Bulan	Suhu udara (°C)			RH (%)	Curah hujan (mm)	Hari hujan (hari)	Lama penyinaran (jam)	Kecepatan angin (m s ⁻¹)		Arah angin maksimum (derajat)
	Tmin	Tmak	Trat					Rata-rata	Terbesar	
Januari	23,9	31,1	26,9	83,2	340,9	20	3,7	0,9	2,4	244,8
Februari	23,8	31,2	26,8	84,9	286,4	18	3,8	0,7	2,2	227,1
Maret	23,9	31,8	27,1	83,7	211,8	15	4,7	0,8	2,3	207,6
April	24,0	32,3	27,4	83,7	139,2	11	5,4	0,7	2,1	169,3
Mei	23,9	32,5	27,5	83,4	145,4	11	5,4	0,6	2,0	116,6
Juni	23,5	32,1	27,1	82,9	101,3	9	4,9	0,6	1,9	125,0
Juli	22,8	32,1	26,7	81,1	104,5	8	5,8	0,6	1,9	134,7
Agustus	22,8	32,4	26,9	78,9	46,0	5	6,5	0,6	2,1	134,2
September	22,8	33,1	27,2	77,5	76,9	6	6,2	0,6	2,2	156,8
Oktober	23,6	33,1	27,7	78,5	103,8	9	5,5	0,6	2,2	146,8
November	23,9	32,5	27,4	81,2	163,6	12	4,3	0,7	2,1	200,5
Desember	24,0	31,6	27,2	82,4	186,4	16	3,7	0,8	2,3	222,3
Statistik	23,5	32,1	27,2	81,8	1906,1	138	5,0	0,7	2,1	173,8

Keterangan: Tmin adalah suhu udara minimum, Tmak adalah suhu udara maksimum, Trat adalah suhu udara rata-rata, RH adalah kelembaban relatif.

Suhu udara rata-rata 27,2 °C dengan suhu minimum 23,5 °C dan suhu maksimum 32,1 °C. Suhu minimum rata-rata bulanan terendah terjadi pada musim kemarau yaitu pada bulan Juli-September dengan suhu 22,8 °C. Sedangkan pada

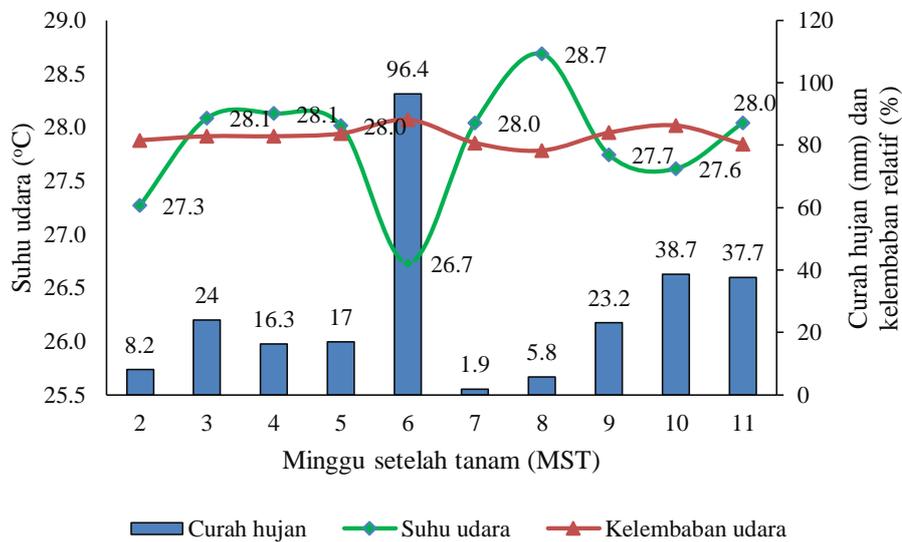
suhu maksimum tertinggi terjadi pada musim kemarau tepatnya bulan September dan Oktober dengan suhu mencapai 33,1 °C.

Kecamatan Cimarga mempunyai kelembaban udara yang relatif tinggi. Hal ini terlihat dari kelembaban udara rata-rata bulannya yang mencapai 81,8%. Kelembaban udara terendah terjadi pada bulan September 77,5% atau pada puncak musim kemarau, dan kelembaban tertinggi terjadi musim hujan tepatnya pada bulan Februari yang mencapai 84,9%.

Lamanya matahari bersinar cerah atau lebih dikenal dengan lama penyinaran di wilayah penelitian sekitar 5 jam hari⁻¹. Lama penyinaran tertinggi terjadi pada musim kemarau tepatnya pada bulan Agustus (6,5 jam hari⁻¹) dan yang terpendek pada terjadi musim hujan yaitu pada bulan Desember dan Januari (3,7 jam hari⁻¹).

Kecepatan angin rata-rata tahunan wilayah kajian adalah 0,7 m s⁻¹. Kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi pada musim hujan yaitu bulan Januari sebesar 0,9 m s⁻¹ dan terendah terjadi pada musim kemarau sekitar bulan Mei-Juli dengan kecepatan angin rata-rata 0,6 m s⁻¹. Kecepatan angin terbesar rata-rata selama satu dekade terakhir sebesar 2,1 m s⁻¹ dan yang terbesar umumnya terjadi pada bulan Januari yang mencapai 2,4 m s⁻¹. Sedangkan arah angin pada saat kecepatan maksimum rata-rata tahunannya adalah 173,8°.

Gambar 14 menyajikan kondisi iklim mingguan selama musim tanam, khususnya curah hujan, suhu udara, dan kelembaban udara. Curah hujan tertinggi terjadi minggu ke 6 MST mencapai 96 mm dan terendah pada minggu ke 7 MST dengan curah hujan total selama penelitian sebesar 269 mm. Selama penelitian suhu udara rata-rata tertinggi mencapai 28,7 °C dan terendah 26,7 °C, sedangkan kelembaban udara relatif mingguan berkisar antara 78-88%.



Gambar 14 Data iklim selama penelitian

4.1.2 Tanah

Penelitian lapangan penanaman kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dilakukan di empat lokasi terpisah di Kebun Bantarjaya PTPN VIII Cimarga Lebak (Tabel 6). Lokasi penelitian jenis tanah yang sama yaitu jenis tanah latosol. Jenis

tanah latosol termasuk tanah yang subur, menurut USDA (*The United States Department of Agriculture*) jenis tanah latosol ini masuk dalam golongan inceptisol. Secara spesifik, latosol merupakan tanah yang berwarna merah hingga coklat sehingga banyak yang menamainya sebagai tanah merah, memiliki profil tanah yang dalam, mudah menyerap air, memiliki kandungan bahan organik yang sedang, dan pH netral hingga asam. Kadar humus latosol mudah menurun, dan memiliki fosfat yang mudah bersenyawa dengan besi dan aluminium.

Tabel 6 memperlihatkan tekstur tanah di lokasi penelitian dominannya adalah fraksi liat, dengan persentase fraksi tertinggi 67,13% pada lokasi 3 dan terendah 46,96% terdapat pada lokasi 4. Tekstur dominan yang kedua adalah fraksi pasir, dimana lokasi penelitian 4 mempunyai fraksi pasir terbesar yaitu 41,45%, dan terendah 14,69% terdapat pada lokasi penelitian 2. Debu merupakan teksur tanah dengan persentase fraksi terendah yaitu hanya 11,59%-19,50%.

Tabel 6 Hasil analisis tekstur tanah lokasi penelitian

Lokasi penelitian	Karakteristik lahan/ kelapa sawit (umur)	Tekstur 3 fraksi (%)		
		Pasir	Debu	Liat
1	Lahan terbuka	17,80	15,74	66,47
2	4 tahun	14,69	19,50	65,81
3	5 tahun	20,90	11,97	67,13
4	8 tahun	41,45	11,59	46,96

* Pengambilan sampel menggunakan metode komposit

Kadar kemasaman tanah atau pH tanah di lokasi penelitian sebelum penelitian berkisar antara 4,2 sampai dengan 5,1 seperti yang disajikan pada Tabel 7. Persentase kandungan bahan organik N antara 0,16-0,39%. Sedangkan kandungan P₂O₅ berada pada kisaran 5,5-6,3 ppm berdasarkan metode Bray, 16-23 ppm berdasarkan metode Olsen. Kandungan K₂O berdasarkan analisis menggunakan metode Morgan berkisar 28-219 ppm, untuk kandungan P sebesar 378-633 ppm.

Tabel 7 Hasil analisis kimia tanah sebelum penelitian

Variabel kimia tanah		Lokasi lahan kelapa sawit umur			
		Lahan terbuka	4 tahun	5 tahun	8 tahun
pH		4,2	5,1	4,2	5,1
Bahan organik	Kjeldahl N (%)	0,16	0,39	0,27	0,22
	Olsen P ₂ O ₅ (ppm)		23		16
Terhadap contoh kering 105°C	Bray 1 P ₂ O ₅ (ppm)	5,7		6,3	
	Morgan K ₂ O (ppm)	42	217	28	39
	P (ppm)	422	633	378	393

Hasil analisis kimia tanah pasca penelitian disajikan pada Tabel 8. Tingkat kemasaman atau pH tanah meningkat dari sebelum penanaman kedelai menjadi 5,2-7,7, namun kisaran N organik mengalami penurunan menjadi 0,1-0,23%, sedangkan kandungan C-organik yang sebelumnya tidak dilakukan analisis mempunyai nilai antara 1,0-3,0% dan C/N bahan organik adalah rendah hanya 10,7-13,5. Kandungan P₂O₅ dalam tanah meningkat menjadi 33,6-82,3 ppm, sedangkan K₂O juga mengalami peningkatan menjadi 77,0-183 ppm. Persentase kandungan P

dan K setelah penanaman kedelai berturut-turut kisarannya sebagai berikut 0,03-0,06% dan 0,07-0,15%.

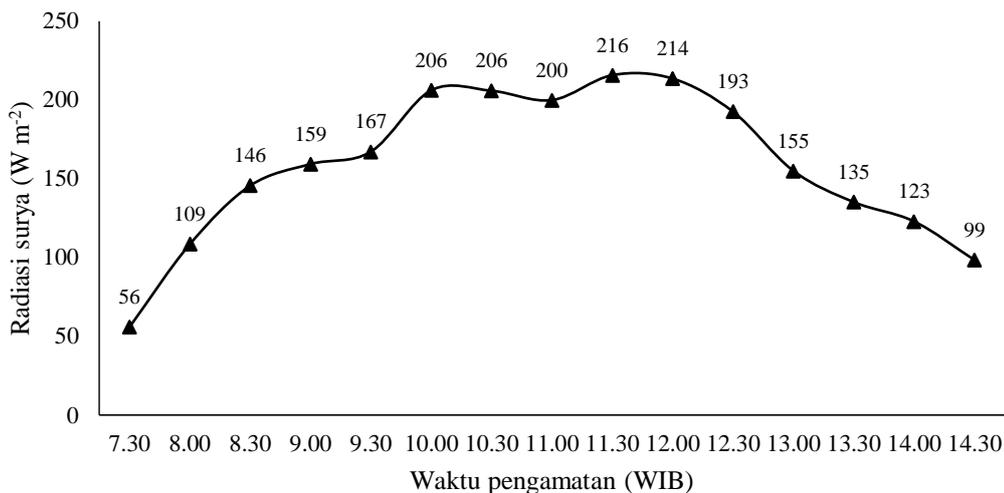
Tabel 8 Hasil analisis kimia tanah pasca penelitian

Variabel kimia tanah	Lokasi lahan kelapa sawit umur				
	Lahan terbuka	4 tahun	5 tahun	8 tahun	
pH	7,7	5,2	5,2	6,5	
Bahan organik	Walkley & black C (%)	1,9	2,6	3,0	1,0
	Kjeldahl N (%)	0,17	0,22	0,23	0,10
HCl 25%	C/N	11,3	11,9	13,5	10,7
	P ₂ O ₅ (mg/100)	116,3	80,7	60,7	52,7
P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (mg/100)	15,7	20,7	15,7	8,3
		82,3	58,7	33,6	50,3
KCl 1N		142,3	183,0	148,3	77,0
	Al ³⁺ (cmol/kg)	0,00	0,65	0,60	0,00
Total (HNO ₃)	H ⁺ (cmol/kg)	0,12	0,60	0,49	0,10
	P (%)	0,06	0,06	0,04	0,03
	K (%)	0,15	0,11	0,13	0,07

4.2 Analisis Albedo Beberapa Jenis Mulsa Reflektif

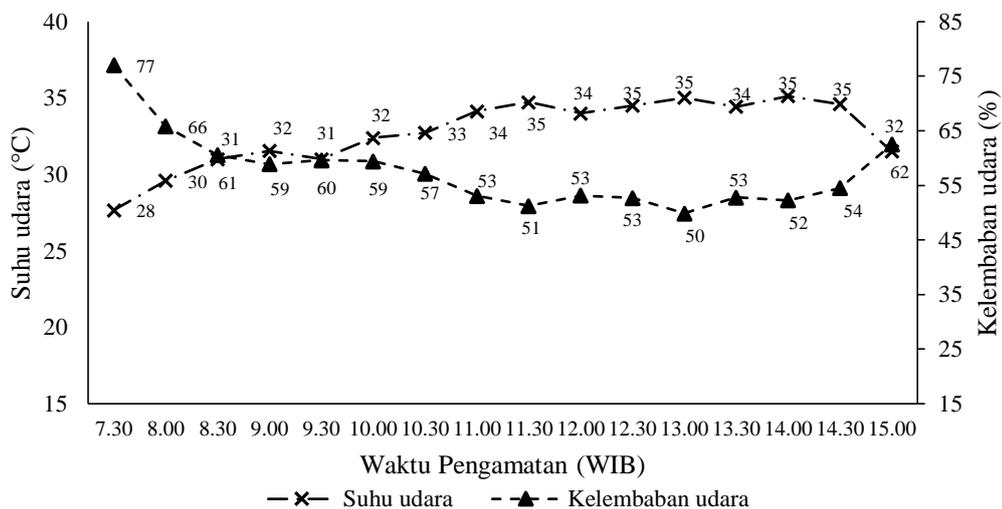
4.2.1 Kondisi cuaca selama pengamatan

Hasil pengukuran intensitas radiasi surya rata-rata selama pengukuran albedo beberapa mulsa reflektif disajikan pada Gambar 15. Pengamatan intensitas radiasi surya dimulai sejak pukul 07.30 sampai dengan 14.30 WIB. Selama satu minggu pengamatan diperoleh rata-rata intensitas radiasi surya harian di lokasi penelitian memperlihatkan pola parabola terbalik. Intensitas radiasi surya mengalami kenaikan seiring dengan semakin tegak lurus nya permukaan dengan matahari. Intensitas radiasi tertinggi selama pengamatan terjadi sekitar jam 11.30 WIB dengan intensitas 216 W m⁻² kemudian turun kembali. Selama pengamatan dilakukan hampir setiap hari sejak pukul 12.00 WIB mengalami tingkat keawanan yang tinggi kemudian turun hujan memasuki waktu sore hari. Tinggi rendahnya intensitas radiasi surya pada suatu tempat selain dipengaruhi oleh sudut datang surya juga sangat ditentukan oleh tingkat kecerahan atmosfer. Tingkat keawanan, pulutan, aerosol, dan gas-gas lainnya yang beredar di atmosfer merupakan komponen yang sangat menentukan besaran radiasi surya yang sampai ke permukaan lahan.



Gambar 15 Radiasi surya global selama pengukuran albedo

Distribusi suhu udara dan kelembaban udara diamati satu jam sekali selama pengamatan albedo material mulsa reflektif disajikan pada Gambar 16. Suhu udara rata-rata selama pengamatan sebesar 29 °C. Suhu udara terendah terjadi pada pukul 07.30 WIB dengan suhu 27,5 °C dan suhu tertinggi terjadi sejak pukul 12.00 WIB sampai dengan 14.30 WIB yang mencapai 35 °C, selanjutnya turun kembali. Kelembaban udara rata-rata selama pengamatan adalah 68%. Kelembaban tertinggi terjadi pada pagi hari yaitu pukul 07.30 WIB sebesar 77% dan terendah terjadi pada siang hari yaitu pukul 12.00 WIB sekitar 51%. Sehingga dapat dikatakan selama pengamatan berlangsung sejak pagi hingga sore hari, suhu udara relatif tinggi dan kelembaban udara yang rendah.



Gambar 16 Distribusi suhu dan kelembaban udara rata-rata selama pengukuran albedo material mulsa reflektif

4.2.2 Analisis albedo material mulsa reflektif

Pengukuran uji albedo permukaan material mulsa reflektif dilakukan pada ketinggian 30 cm, 60 cm, dan 120 cm seperti yang disajikan pada Tabel 9.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Peningkatan dan penurunan nilai albedo dipengaruhi oleh jarak sensor *tube solarimeter* dengan permukaan, semakin jauhnya sensor dari permukaan maka albedo semakin rendah. Perbandingan nilai albedo rata-rata pada jarak 30 cm dengan 60 cm tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($p>0.05$), namun berbeda nyata dengan jarak 120 cm ($p<0.05$). Rata-rata albedo tertinggi terdapat pada ketinggian 30 cm sebesar 34,8%, kemudian masing-masing untuk ketinggian 60 cm dan 120 cm sebesar 33,9% dan 28,7%.

Hasil uji rata-rata albedo dari empat jenis material mulsa reflektif dan 2 jenis tipe tutupan lahan sebagai kontrol disajikan pada Tabel 9. Penggunaan mulsa reflektif anorganik memiliki nilai albedo yang lebih tinggi dibandingkan dengan mulsa reflektif organik dan kontrol. Nilai albedo permukaan pada lahan terbuka (kontrol 1) sebesar 16,6% dan pada lahan dengan rumput pendek (kontrol 2) sebesar 17,1%, meskipun demikian tidak berbeda nyata ($p>0,05$) antara kedua kontrol tersebut. Nilai albedo kontrol berbeda nyata dengan albedo kelompok material mulsa reflektif anorganik dan organik ($p<0,05$). Pada material mulsa reflektif organik yaitu DKSK dan SKPK mempunyai nilai albedo masing-masing 28,5% dan 29,3%, namun tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua material tersebut ($p>0,05$). Sedangkan pada material mulsa reflektif anorganik, nilai albedo MPHP adalah 49,0% dan MPM sebesar 54,4%, meskipun mempunyai nilai rata-rata albedo yang berbeda, namun berdasarkan *significant test* dengan selang kepercayaan 95%, keduanya material anorganik tersebut tidak berbeda nyata ($p>0,05$).

Tabel 9 Albedo (%) beberapa jenis mulsa reflektif, tanah terbuka dan di atas rumput pada ketinggian 30 cm, 60 cm dan 120 cm

Mulsa reflektif	Albedo (%)			Rata-rata (%)
	30 cm	60 cm	120 cm	
Kontrol 1 tanah terbuka	16,39	18,09	15,41	16,63 a
Kontrol 2 rumput pendek	16,46	18,73	15,97	17,05 a
DKSK	29,91	31,22	24,49	28,54 b
SKPK	31,64	32,30	23,82	29,26 b
MPHP	53,91	48,17	44,86	48,98 c
MPM	60,75	54,74	47,76	54,42 c
Rata-rata	34,84 a	33,88 a	28,72 b	

Keterangan:

- DKSK adalah daun kelapa sawit kering, SKPK adalah sekam kulit padi kering, MPHP adalah mulsa plastik hitam perak, dan MPM adalah mulsa plastik metalik.
- Huruf yang berbeda pada baris atau kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji Tukey ($p<0,05$).

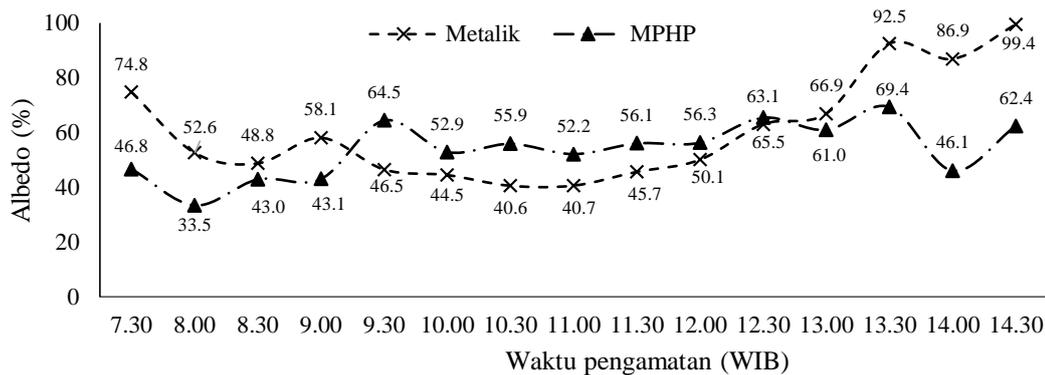
Berdasarkan hasil analisis albedo maka ditetapkan mulsa plastik hitam perak (MPHP) mewakili mulsa reflektif anorganik (49,0%) dan daun kelapa sawit kering (DKSK) mewakili mulsa reflektif organik (29,3%) untuk digunakan pada penelitian inti/utama yaitu sebagai mulsa reflektif pada budidaya tanaman kedelai di bawah tegakan kelapa sawit. Penetapan MPHP dan DKSK berdasarkan kemampuannya dalam memantulkan/merefleksikan radiasi surya yang diindikasikan dari nilai albedo yang tinggi. MPHP mempunyai albedo yang tidak berbeda nyata ($p>0,05$) dengan mulsa plastik metalik, sedangkan DKSK juga memiliki nilai albedo yang tidak berbeda nyata ($p>0,05$) dengan SKPK. Disamping itu, kedua material tersebut

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

lebih murah dan ekonomis serta mudah tersedia di sekitar kawasan perkebunan kelapa sawit.

4.2.3 Nilai albedo material mulsa reflektif anorganik dan organik

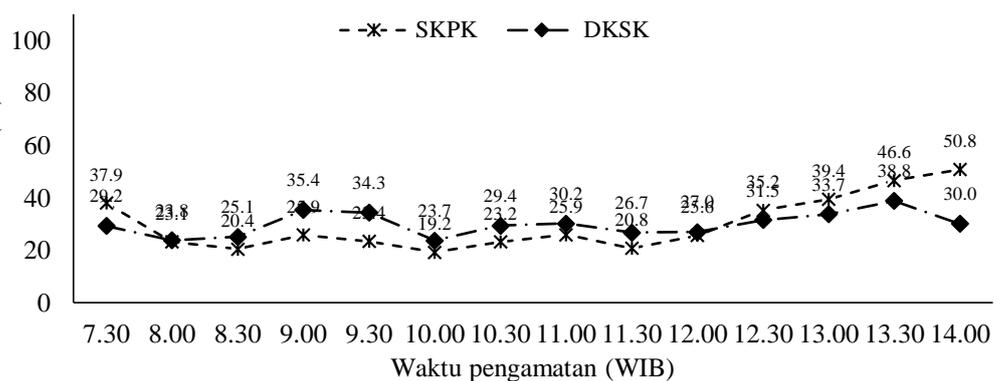
Hasil uji albedo terhadap beberapa jenis mulsa reflektif disajikan pada Gambar 17 dan Gambar 18. Kedua jenis material mulsa reflektif anorganik yaitu MPM dan MPHP mempunyai pola yang hampir serupa yaitu parabola terbuka. Hal serupa disampaikan Ross (1975), nilai albedo suatu permukaan/material akan berubah-ubah sepanjang hari dan akan mencapai maksimum pada elevasi 10° dan akan mencapai minimum pada tengah hari. Karakter yang berbeda antar kedua mulsa anorganik ini terlihat pada saat intensitas radiasi surya rendah yaitu pada pagi dan sore hari yaitu nilai albedo material MPM lebih tinggi dibandingkan albedo material MPHP. Sedangkan pada siang hari atau pada saat intensitas surya tinggi, albedo material MPHP lebih tinggi dibandingkan dengan albedo material MPM. Nilai albedo tertinggi pada MPM adalah 99,4% dan terendah adalah 40,7%, pada material MPHP albedo tertingginya adalah 64,5% dan terendah 33,5%. Meskipun demikian berdasarkan analisis *significant test* dengan selang kepercayaan 95% tidak ada perbedaan yang nyata nilai albedo antara kedua jenis material mulsa reflektif anorganik tersebut.



Gambar 17 Albedo mulsa reflektif anorganik, material mulsa metalik dan mulsa plastik hitam perak (MPHP)

Gambar 18 memperlihatkan distribusi albedo material mulsa reflektif organik sekam kulit padi kering (SKPK) dan daun kelapa sawit kering (DKSK). Kedua jenis material mulsa organik ini memperlihatkan nilai albedo dengan pola yang hampir seragam. Namun secara umum terlihat bahwa material SKPK mempunyai nilai albedo yang lebih dari pada DKSK pada intensitas cahaya yang rendah yaitu pagi dan sore hari, sedangkan material DKSK mempunyai nilai albedo yang lebih tinggi pada saat intensitas radiasi tinggi atau siang hari. Nilai albedo tertinggi pada material SKPK sebesar 50,8% dan terendah 19,2%. Material DKSK mempunyai nilai albedo tertinggi sebesar 35,4% dan terendah 23,7%. Berdasarkan analisis *significant test* dengan selang kepercayaan 95% tidak ada perbedaan yang nyata nilai albedo antara material SKPK dengan DKSK.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 18 Albedo mulsa reflektif organik material SKPK (sekam kulit padi kering) dan DKSK (daun kelapa sawit kering)

4.3 Analisis Intersepsi dan Transmisi Radiasi Surya pada Beberapa Kelompok Umur Tanaman Kelapa Sawit

4.3.1 Intersepsi radiasi surya tegakan kelapa sawit

Analisis intersepsi radiasi dianalisis menggunakan metode *Triangular* (Awal *et al.* 2005). Hasil pengukuran persentase intersepsi radiasi surya pada tiga lokasi perkebunan kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun di sajikan pada Tabel 10. Pada perkebunan kelapa sawit umur 4 tahun persentase intersepsi radiasi surya berkisar antara 38,9% sampai dengan 72,6% dengan rata-rata 55,2%. Persentase intersepsi radiasi surya kelapa sawit umur 5 tahun berkisar pada antara 47,4%-68,6% dan rata-rata 59,4%. Sedangkan pada perkebunan kelapa sawit 8 tahun, persentase intersepsi antara 60,4%-85,0% dengan rata-rata 74,9%. Berdasarkan Tabel 10, terlihat adanya peningkatan persentase intersepsi radiasi surya dengan semakin meningkatnya umur tegakan kelapa sawit. Hasil analisis statistik memperlihatkan bahwa persentase intersepsi radiasi surya antara tegakan kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun tidak berbeda nyata ($p>0,05$), namun berbeda nyata dengan tegakan kelapa sawit umur 8 tahun ($p<0,05$).

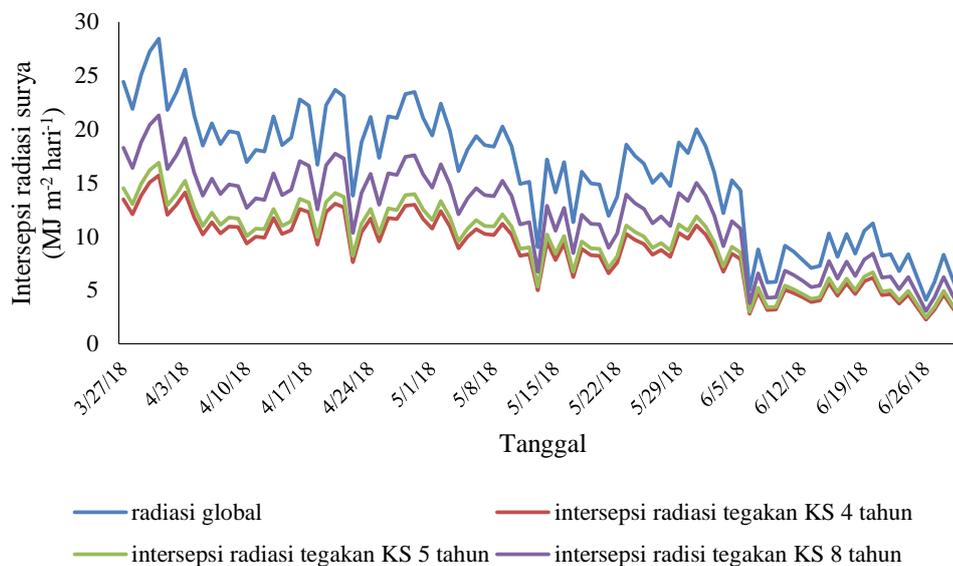
Tabel 10 Persentase intersepsi radiasi surya kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun

Sampel pohon kelapa sawit	Persentase intersepsi radiasi surya (%)		
	KS 4 tahun	KS 5 tahun	KS 8 tahun
Pohon 1	60,44	58,08	79,05
Pohon 2	72,63	55,53	85,03
Pohon 3	59,59	57,43	70,74
Pohon 4	55,87	68,63	73,28
Pohon 5	50,27	63,93	81,69
Pohon 6	48,81	64,92	60,41
Pohon 7	38,85	47,40	73,85
Rata-rata	55,21 a	59,42 a	74,86 b

Keterangan:

- KS adalah tanaman kelapa sawit
- Huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji Tukey ($p<0,05$).

Distribusi intensitas radiasi global dan intersepsi radiasi surya pada tegakan perkebunan kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun selama penelitian disajikan pada Gambar 19. Terlihat bahwa intersepsi radiasi surya tertinggi terdapat pada kelapa sawit umur 8 tahun, kemudian umur 5 dan terendah pada umur 4 tahun. Intensitas radiasi global selama penelitian berkisar antara 4,10-28,46 MJ m⁻² hari⁻¹ dan rata-rata 15,86 MJ m⁻² hari⁻¹, sedangkan intersepsi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit umur 4 tahun antara 2,26-15,71 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 8,76 MJ m⁻² hari⁻¹. Intersepsi radiasi surya oleh tegakan kelapa sawit umur 5 tahun adalah 2,24-16,91 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 9,43 MJ m⁻² hari⁻¹, dan pada umur kelapa sawit 8 tahun berkisar 3,08-21,30 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 11,88 MJ m⁻² hari⁻¹. Distribusi intersepsi radiasi surya mengalami kecenderungan penurunan pada akhir masa penelitian, akibat intensitas curah hujan yang relatif meningkat.



Gambar 19 Intersepsi radiasi surya tegakan kelapa sawit (KS) umur 4, 5, dan 8 tahun

4.3.2 Transmisi radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit

Radiasi surya transmisi merupakan radiasi surya yang sampai ke permukaan lahan atau di bawah tegakan kelapa sawit. Radiasi surya transmisi didekati berdasarkan selisih radiasi surya global yang sampai ke permukaan tegakan dengan radiasi surya yang diintersepsi oleh tegakan kelapa sawit. Berdasarkan Tabel 11 persentase radiasi transmisi di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun berkisar antara 27,23%-61,15% dengan rata-rata 44,79%, sedangkan pada kelapa sawit umur 4 tahun antara 31,37%-52,60% dengan rata-rata 40,58%. Persentase transmisi radiasi surya pada tegakan kedelai umur 8 tahun hanya berkisar 14,97%-39% dengan rata-rata 25,14%. Terlihat kecenderungan bahwa semakin bertambah umur kelapa sawit maka akan semakin rendah persentase transmisi radiasi surya yang sampai ke permukaan lahan. Berdasarkan hasil analisis statistik terhadap persentase transmisi radiasi surya, tegakan kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun mempunyai persentase tertinggi dan tidak berbeda nyata ($p > 0,05$), namun berbeda nyata dengan nilai transmisi radiasi di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun ($p < 0,05$).

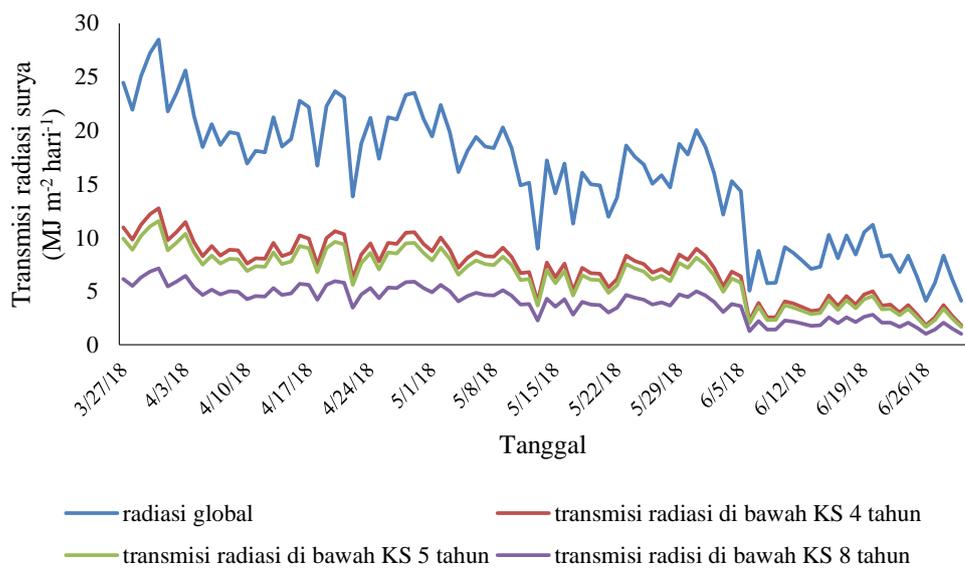
Tabel 11 Persentase transmisi radiasi surya kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun

Sampel tanaman	Persentase transmisi radiasi surya (%)		
	KS 4 tahun	KS 5 tahun	KS 8 tahun
Pohon 1	39,56	41,92	20,95
Pohon 2	27,37	44,47	14,97
Pohon 3	40,41	42,57	29,26
Pohon 4	44,13	31,37	26,72
Pohon 5	49,73	36,07	18,31
Pohon 6	51,19	35,08	39,59
Pohon 7	61,15	52,60	26,15
Rata-rata	44,79 b	40,58 b	25,14 a

Keterangan: KS adalah tanaman kelapa sawit. Huruf yang berbeda pada baris yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji Tukey ($p < 0,05$).

@Hak cipta milik IPB University

Gambar 20 menyajikan distribusi intensitas transmisi radiasi surya selama penelitian di bawah tegakan 3 umur kelompok tanaman kelapa sawit. Berdasarkan Distribusi intensitas transmisi radiasi surya tertinggi terdapat pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun, kemudian 5 tahun, dan yang terendah pada umur 8 tahun. Intensitas radiasi surya rata-rata yang sampai ke permukaan lahan terbuka selama penelitian berkisar 4,10-28,46 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 18,77 MJ m⁻² hari⁻¹. Transmisi radiasi surya pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun berkisar antara 1,84-12,75 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 8,41 MJ m⁻² hari⁻¹, pada umur kelapa sawit umur 5 tahun kisaran radiasi transmisinya 1,66-11,55 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 7,62 MJ m⁻² hari⁻¹, sedangkan pada umur 8 tahun berkisar 1,03-7,15 MJ m⁻² hari⁻¹ dengan rata-rata 4,71 MJ m⁻² hari⁻¹. Distribusi transmisi radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit memperlihatkan kecenderungan penurunan pada akhir masa penelitian seiring dengan penurunan jumlah intensitas radiasi global.

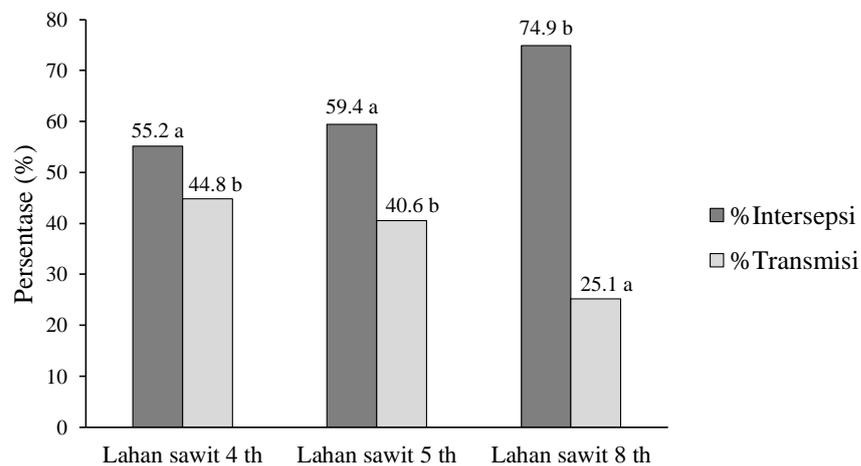


Gambar 20 Transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit (KS) umur 4, 5, dan 8 tahun

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

4.3.3 Hubungan intersepsi dan transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit

Hubungan intersepsi dan transmisi radiasi surya pada suatu tegakan adalah berbanding terbalik, semakin tinggi radiasi surya yang diintersepsi maka akan semakin rendah radiasi yang akan ditransmisikan atau sampai di permukaan. Berdasarkan Gambar 21 terlihat bahwa intersepsi radiasi surya meningkat dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit, sedangkan transmisi radiasi surya yang sampai ke permukaan lahan semakin rendah. Bertambahnya umur tanaman kelapa sawit akan diikuti dengan meningkatnya luas daun dan panjang daun sehingga tingkat tutupan lahan oleh tegakan akan semakin tinggi, maka intersepsi akan tinggi dan transmisi radiasi surya akan rendah. Pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit akan optimal bila radiasi transmisi sampai ke permukaan direfleksikan kembali agar dapat dimanfaatkan oleh tanaman sela untuk pertumbuhannya. Modifikasi iklim mikro dengan penggunaan mulsa reflektif merupakan salah satu usaha meningkatkan distribusi radiasi surya di bawah tegakan dengan merefleksikan radiasi surya hasil transmisi yang sampai ke permukaan lahan.



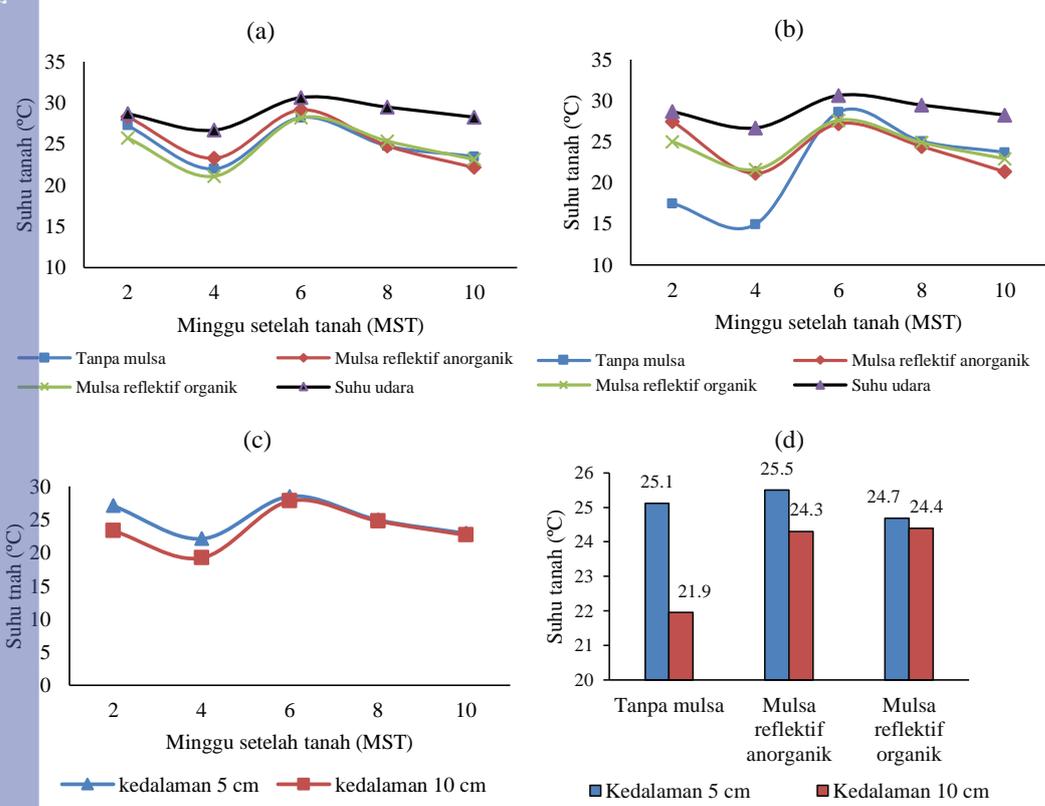
Gambar 21 Persentase intersepsi dan transmisi radiasi surya pada tegakan kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun. Huruf yang berbeda pada parameter yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji Tukey ($p < 0.05$)

4.4 Efektifitas Penggunaan Mulsa Reflektif pada Budidaya Kedelai di Bawah Tegakan Beberapa Kelompok Umur Tanaman Kelapa Sawit

4.4.1 Iklim mikro kedelai di bawah tegakan kelapa sawit

Gambar 22a memperlihatkan profil suhu tanah rata-rata pada kedalaman 5 cm pada budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan beberapa aplikasi mulsa reflektif. Suhu tanah pada kedalaman 5 cm baik pada perlakuan mulsa reflektif maupun kontrol memperlihatkan pola yang seragam, hanya saja perbedaan suhu sedikit terjadi di awal musim tanam. Aplikasi mulsa reflektif organik menghasilkan suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan lainnya. Pada suhu tanah dengan kedalaman 10 cm menyajikan pola distribusi suhu tanah yang hampir sama dengan kedalaman 5 cm, yang membedakan hanya pada awal musim tanam

(<6 MST), suhu tanah pada kontrol atau lahan tanpa mulsa memiliki suhu sangat rendah dibandingkan dengan lahan yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik maupun organik (Gambar 22b). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif selama penelitian dapat mengurangi fluktuasi suhu tanah terutama pada kedalaman 10 cm. Gambar 22c menyajikan profil suhu tanah rata-rata selama pertumbuhan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit pada kedalaman 5 cm dan 10 cm. Profil suhu tanah pada kedua kedalaman ini memperlihatkan pola yang relatif sama, hanya pada awal masa pertumbuhan kedelai (2 MST- 4 MST), suhu tanah rata-rata pada kedalaman 10 cm lebih rendah dibandingkan dengan suhu tanah pada kedalaman 5 cm. Suhu tanah yang lebih rendah pada kedalaman 10 cm pada awal masa tanam diduga kuat akibat terdapat naungan tegakan tanaman utama serta penggunaan mulsa reflektif. Memasuki >6 MST tidak ada perbedaan yang besar antara suhu tanah pada kedalaman 5 cm dan 10 cm.



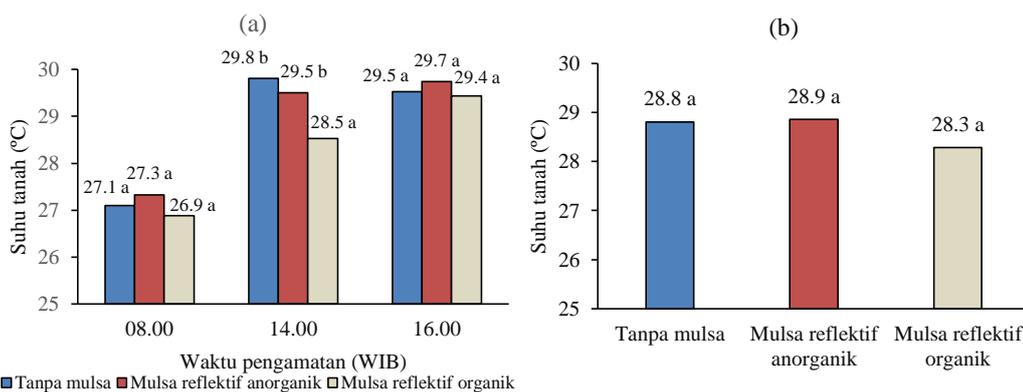
Gambar 22 Profil suhu tanah selama pertumbuhan kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit pada (a) kedalaman 5 cm, (b) kedalaman 10 cm, (c) distribusi suhu tanah pada kedalaman 5 cm dan 10 cm selama pertumbuhan kedelai, dan (d) perbedaan suhu tanah antara kedalaman 5 cm dan 10 cm yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik dan organik

Gambar 22d memperlihatkan kondisi dengan penggunaan mulsa reflektif (organik maupun anorganik) menciptakan kisaran suhu tanah yang relatif semakin sempit antara kedalaman 5 cm dan 10 cm. Suhu tanah pada lahan tanpa mulsa memiliki kisaran perbedaan suhu tanah pada kedalaman 5 cm dan 10 cm relatif

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

lebih tinggi yaitu 21,9 °C-25,1 °C (selisih 3,2 °C), sedangkan pada penggunaan mulsa reflektif anorganik mempunyai kisaran 24,3 °C -25,5 °C (selisih 1,2) dan pada mulsa reflektif organik 24,4 °C – 24,7 °C (selisih 0,3 °C). Penggunaan mulsa reflektif dapat menekan fluktuasi suhu tanah secara signifikan dikarenakan radiasi surya yang ditransmisikan ke permukaan lahan tidak langsung meningkatkan suhu permukaan tanah, tetapi energinya akan digunakan untuk menaikkan suhu permukaan mulsa reflektif.

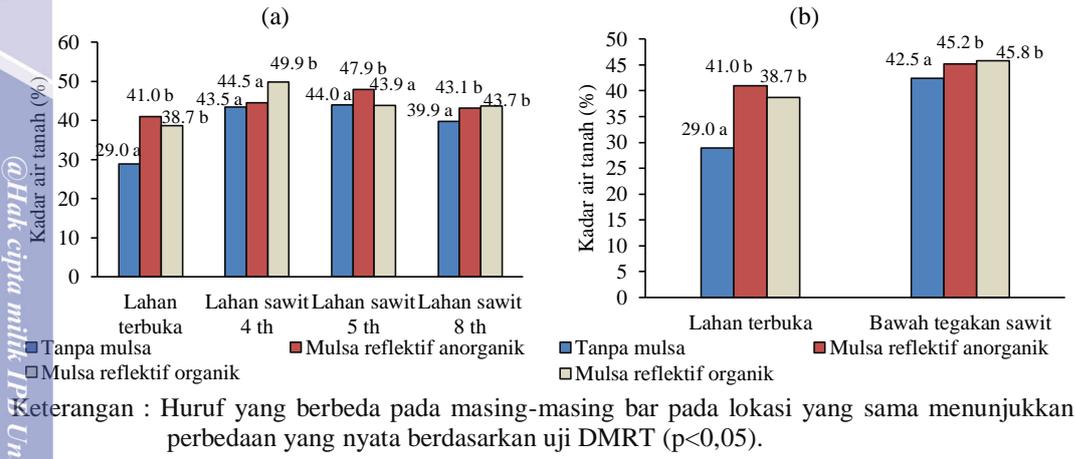
Gambar 23 menyajikan suhu tanah rata-rata di bawah sistem pertanaman kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada beberapa waktu pengamatan. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik pada pagi (08.00 WIB) dan sore (16.00 WIB) hari tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan terhadap suhu tanah ($p>0,05$). Suhu tanah pada siang hari (14.00 WIB) dengan penggunaan mulsa reflektif organik mampu menurunkan suhu tanah dengan signifikan ($p<0,05$) dari 29,8 °C pada lahan tanpa mulsa menjadi 28,5 °C, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan suhu tanah dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik (Gambar 23a). Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik bawah sistem pertanaman kelapa sawit-kedelai secara umum tidak berpengaruh signifikan ($p>0,05$) terhadap suhu tanah (Gambar 23b).



Keterangan : Huruf yang berbeda pada masing-masing bar pada perlakuan yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p<0,05$).

Gambar 23 Suhu tanah di bawah mulsa reflektif pada beberapa waktu pengamatan (a), dan suhu tanah rata-rata dengan penggunaan mulsa reflektif selama penelitian (b)

Gambar 24a menyajikan informasi kadar air tanah rata-rata tertinggi terdapat pada lahan perkebunan kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun. Tingginya kadar air tanah pada kedua lahan tersebut lebih disebabkan oleh tingkat penutupan tajuk yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan yang lainnya. Penggunaan mulsa reflektif organik dan anorganik berkontribusi terhadap peningkatan kadar air tanah. Hal ini terlihat dari 4 titik lokasi yang dikaji, rata-rata KAT pada lahan yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik dan organik lebih tinggi yaitu mencapai 44,1%, sedangkan pada lahan terbuka hanya 39,1%. Tidak ada perbedaan yang signifikan kadar air tanah antara lahan yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik dan organik.



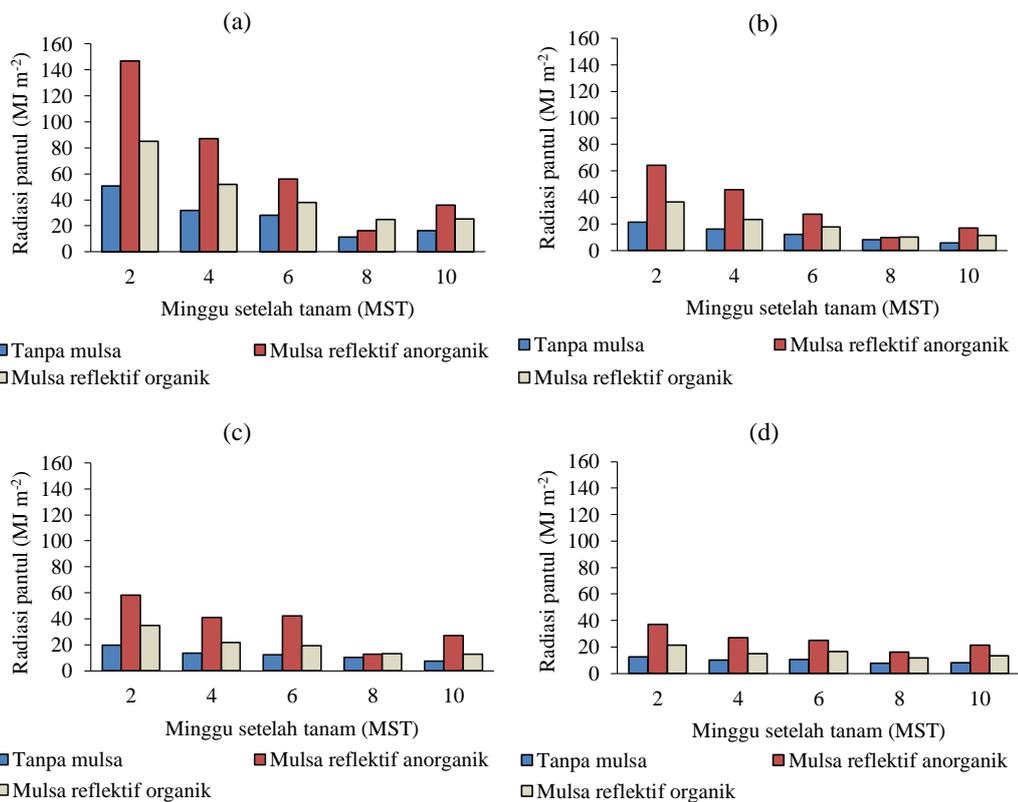
Keterangan : Huruf yang berbeda pada masing-masing bar pada lokasi yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

Gambar 24 Persentase kadar air tanah selama pertumbuhan kedelai: (a) di bawah beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan (b) perbandingan persentase kadar air tanah pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif

Gambar 24b menyajikan perbandingan jumlah rata-rata kadar air tanah antara lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit. KAT pada lahan terbuka lebih rendah dibandingkan dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit. Pada kondisi tanpa diaplikasikan mulsa reflektif, KAT pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit lebih tinggi dibandingkan lahan terbuka. Kontribusi mulsa reflektif terhadap peningkatan KAT pada lahan terbuka lebih tinggi dibandingkan dengan lahan ternaungi di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit. Hal ini disebabkan karena pada lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit proses evaporasi lebih rendah dibandingkan dengan lahan terbuka. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik pada lahan terbuka dan lahan ternaungi secara nyata meningkatkan kadar air tanah rata-rata selama pertumbuhan kedelai. Peningkatan suhu dan cekaman air memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman, akan tetapi efeknya lebih parah ketika cekaman air terjadi pada suhu yang lebih tinggi (Jumrani dan Bhatia 2018). Kadar air tanah atau kelembaban tanah mendeskripsikan kondisi fisik tanah yang memengaruhi kemampuan penetrasi akar di dalam tanah, air, drainase, aerasi dan nutrisi tanaman. Penggunaan mulsa akan meningkatkan kadar air tanah, memperbaiki struktur tanah dan mengurangi pertumbuhan gulma dan dengan demikian meningkatkan hasil dalam tanaman (Govindappa *et al.* 2015)

4.4.2 Intensitas Refleksi Radiasi Surya Permukaan

Gambar 25 menyajikan kemampuan pantulan radiasi beberapa mulsa reflektif yang diaplikasikan pada permukaan lahan yang ditanami kedelai sebagai tanaman sela di perkebunan kelapa sawit yang berbeda umur. Berdasarkan Gambar 25 terlihat bahwa radiasi pantul di bawah tegakan kedelai semakin rendah seiring meningkatnya umur tanaman kedelai dan kelapa sawit yang menaunginya. Penggunaan mulsa reflektif organik dan anorganik pada secara konsisten mampu meningkatkan radiasi pantul baik pada lahan terbuka maupun pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit sejak umur 2 MST sampai 10 MST.

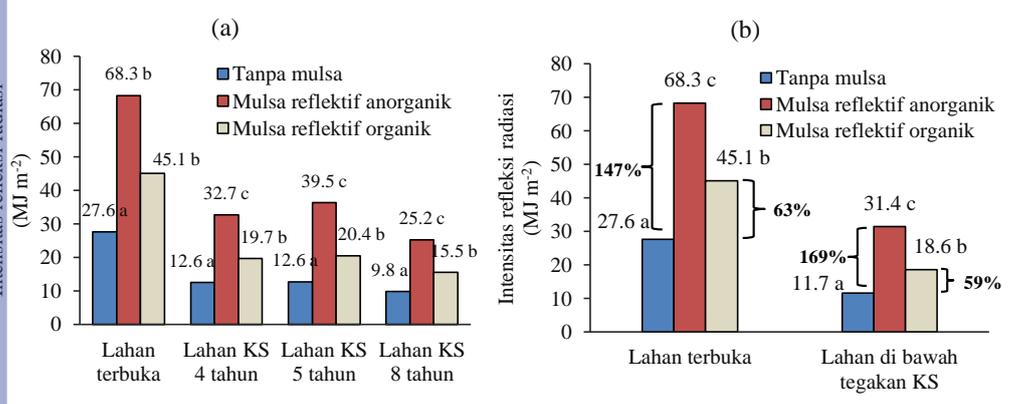


Gambar 25 Distribusi radiasi yang dipantulkan oleh beberapa jenis mulsa reflektif di bawah kanopi perkebunan kelapa sawit pada: (a) lahan terbuka, (b) perkebunan kelapa sawit umur 4 tahun, (c) perkebunan kelapa sawit umur 5 tahun, dan (d) perkebunan kelapa sawit umur 8 tahun

Gambar 26a menyajikan intensitas refleksi radiasi dari mulsa reflektif organik, anorganik dan tanpa mulsa pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit. Intensitas refleksi radiasi dari mulsa reflektif semakin kecil seiring bertambahnya umur tanaman kelapa sawit. Penggunaan mulsa reflektif sistem tanaman sela kelapa sawit kedelai mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya dari permukaan secara konsisten baik pada lahan terbuka maupun di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun. Intensitas refleksi radiasi pada penggunaan mulsa reflektif anorganik lebih tinggi secara signifikan dibandingkan mulsa reflektif organik dan tanpa mulsa ($p < 0,05$). Pada lahan terbuka, intensitas refleksi radiasi pada mulsa reflektif anorganik, organik dan tanpa mulsa reflektif masing-masing sebesar 68,3; 45,1 dan 27,6 MJ m⁻² minggu⁻¹. Pada lahan kelapa sawit umur 4 tahun, intensitas refleksi radiasi pada mulsa reflektif anorganik, organik dan tanpa mulsa reflektif masing-masing sebesar 32,7; 19,7 dan 12,6 MJ m⁻² minggu⁻¹. Pada lahan kelapa sawit umur 5 tahun, intensitas refleksi radiasi pada mulsa reflektif anorganik, organik dan tanpa mulsa reflektif masing-masing sebesar 36,3; 20,4 dan 12,6 MJ m⁻² minggu⁻¹. Pada lahan kelapa sawit umur 8 tahun, intensitas refleksi radiasi pada mulsa reflektif anorganik, organik dan tanpa mulsa reflektif masing-masing sebesar 25,2; 15,5 dan 9,8 MJ m⁻² minggu⁻¹.

Gambar 26b menyajikan perbandingan persentase kenaikan refleksi radiasi pada masing-masing mulsa reflektif. Penggunaan mulsa reflektif pada lahan

terbuka meningkatkan radiasi refleksi pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan mulsa organik masing-masing sebesar 147% dan 63%. Sedangkan pada lahan ditanam di bawah tegakan kelapa sawit mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya pada mulsa reflektif anorganik dan mulsa reflektif organik masing-masing sebesar 169% dan 59%. Penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit meningkat intensitas refleksi radiasi surya dengan signifikan ($p < 0,05$) baik menggunakan mulsa reflektif anorganik maupun organik.



Keterangan : Huruf yang berbeda pada setiap kelompok lahan kelapa sawit menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

Gambar 26 Intensitas refleksi radiasi surya permukaan dengan penggunaan mulsa reflektif: (a) pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, (b) perbandingan refleksi radiasi surya permukaan pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit dan persentase kenaikan refleksi radiasi pada masing-masing mulsa reflektif

Radiasi surya yang sampai pada suatu tegakan tanaman akan mengalami peristiwa refleksi, intersepsi, dan transmisi yang memengaruhi intensitas radiasi yang diterima. Transmisi radiasi yang melalui suatu tegakan tanaman akan mengalami penurunan intensitas dan sebarannya yang tidak merata. Besarnya intensitas radiasi yang ditransmisikan sangat dipengaruhi oleh sudut datang radiasi, tingkat kecerahan atmosfer, angin, struktur tegakan, jenis tanaman, dan ukuran luas daun (Ross 1975; Mubarak *et al.* 2018). Transmisi radiasi yang sampai ke permukaan akan mengalami refleksi dan intersepsi. Refleksi permukaan akan besar bila albedo permukaannya besar, namun bila albedonya rendah maka sebagian besar radiasi transmisi tersebut telah diintersepsi. Radiasi transmisi dan radiasi refleksi dari permukaan lahan merupakan potensi radiasi surya yang dapat dimanfaatkan dalam budidaya tanaman sela (*intercropping*) di bawah tegakan tanaman utama.

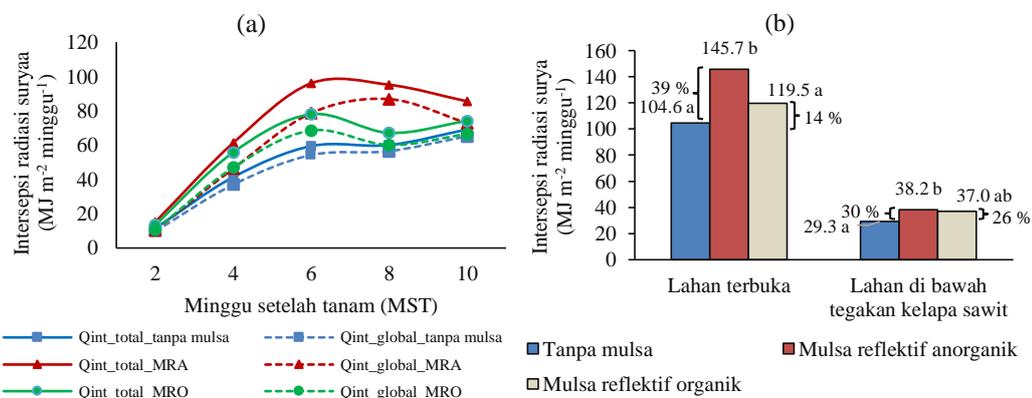
Radiasi hasil transmisi yang sampai ke permukaan akan mengalami peristiwa refleksi dan absorpsi oleh permukaan, albedo permukaan besar maka nilai refleksi atau pantulan akan besar namun albedonya rendah maka sebagian besar radiasi transmisi tersebut telah diabsorpsi. Radiasi transmisi dan radiasi refleksi dari permukaan lahan merupakan potensi radiasi yang dapat dimanfaatkan dalam budidaya tanaman sela (*intercropping*) di bawah tegakan tanaman utama. Intensitas radiasi rendah karena kondisi atmosfer atau faktor di bawah tegakan tanaman utama akan memberi respon terhadap tanaman (Yang *et al.* 2014).

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik merupakan modifikasi iklim mikro untuk meningkatkan refleksi radiasi atau intensitas cahaya di bawah tegakan. Mulsa reflektif anorganik mempunyai kemampuan memantulkan radiasi yang lebih tinggi dari pada mulsa reflektif organik. Hal ini disebabkan karena nilai albedo mulsa reflektif anorganik (mulsa plastik hitam perak) yang lebih tinggi dari nilai albedo mulsa reflektif organik (Hidayat *et al.* 2019). Kemampuan radiasi pantul permukaan lahan akan semakin rendah dengan semakin bertambahnya umur tanaman sela yaitu kedelai, dengan semakin sedikitnya radiasi transmisi yang sampai permukaan lahan karena ILD tanaman kedelai yang semakin meningkat.

4.4.3 Kontribusi intensitas radiasi surya reflektif terhadap intersepsi radiasi surya

Gambar 27a memperlihatkan intersepsi radiasi surya kedelai yang meningkat seiring bertambahnya umur tanaman, dan mencapai puncaknya pada minggu ke-8 MST kemudian mengalami penurunan hingga akhir musim tanam. Penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan intersepsi radiasi kedelai sejak awal hingga akhir pertumbuhan tanaman. Gambar 27a juga memperlihatkan hasil analisis intersepsi radiasi total yang merupakan akumulasi intersepsi radiasi global dan intersepsi refleksi radiasi surya dari permukaan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kontribusi positif mulsa reflektif anorganik dan organik terhadap peningkatan total intersepsi radiasi tanaman kedelai.



Gambar 27 Distribusi intersepsi radiasi surya kedelai dengan menggunakan radiasi global/atas (Qint global: *dotted line*) dan radiasi total (Qint total: *solid line*) pada beberapa jenis mulsa reflektif (a), peran mulsa reflektif dalam meningkatkan intersepsi radiasi surya total kedelai pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (b)

Peningkatan intersepsi radiasi surya kedelai dari radiasi global menjadi radiasi total, tertinggi terdapat pada lahan yang menggunakan mulsa reflektif anorganik yaitu $58,15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$ (17,7%), diikuti oleh mulsa reflektif organik sebesar $35,98 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$ (14,3%), dan terendah pada lahan tanpa mulsa sebesar $18,91 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$ (8,5%). Total intersepsi radiasi surya kedelai selama satu musim tanam pada masing-masing perlakuan mulsa reflektif, tertinggi terdapat pada kedelai dengan mulsa reflektif anorganik $352,63 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$, kemudian pada mulsa reflektif organik $287,92 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$, dan terendah pada lahan tanpa mulsa hanya $240,81 \text{ MJ m}^{-2} \text{ musim tanam}^{-1}$.

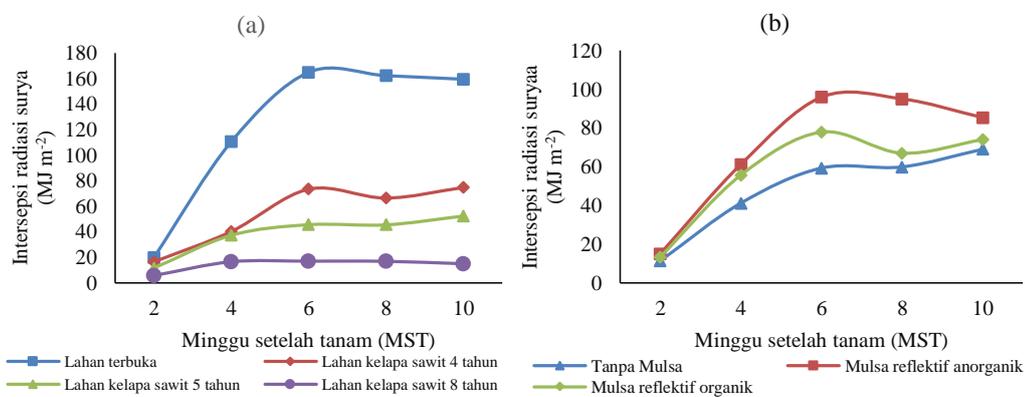
Gambar 27b memperlihatkan perbandingan intersepsi radiasi surya kedelai pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (rata-rata umur 4, 5 dan 8 tahun). Terlihat penurunan intersepsi radiasi surya pada kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit. Pada lahan terbuka penggunaan mulsa reflektif meningkatkan intersepsi radiasi surya 39% pada mulsa reflektif anorganik dan 14% pada mulsa reflektif organik dengan intersepsi radiasi lahan tanpa mulsa reflektif sebagai *baseline*. Intersepsi radiasi surya rata-rata kedelai di bawah tegakan kelapa sawit memperlihatkan peningkatan dengan penggunaan mulsa reflektif. Mulsa reflektif anorganik meningkatkan intersepsi radiasi 30%, dan mulsa reflektif organik sebesar 26%. Berdasarkan analisis statistik pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik meningkatkan intersepsi radiasi surya secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak signifikan pada penggunaan mulsa reflektif organik ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik berkontribusi kuat terhadap peningkatan intersepsi radiasi surya kedelai di bawah tegakan tanaman kelapa sawit.

Intensitas radiasi surya merupakan unsur iklim utama yang memengaruhi fotosintesis. Jumlah radiasi surya yang diintersepsi tanaman ditentukan oleh besarnya intensitas radiasi surya yang mencapai permukaan tanaman, teknik budidaya, dan jenis tanaman (Koesmaryono dan Sabaruddin 2005). Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya dari permukaan. Hal ini terlihat dari kontribusi terhadap peningkatan intersepsi radiasi total yang lebih tinggi daripada hanya mengandalkan radiasi global.

4.4.4 Intersepsi dan efisiensi radiasi surya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit

Intersepsi radiasi surya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit memperlihatkan nilai yang berbeda selama pertumbuhannya. Perbedaan yang menonjol terjadi sejak umur kedelai 4 MST, kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun mempunyai intersepsi radiasi terendah dibandingkan intersepsi radiasi kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit 4 dan 5 tahun. Gambar 28b memperlihatkan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik mampu meningkatkan intersepsi radiasi surya yang lebih tinggi dari mulsa organik dan tanpa mulsa sejak 4 MST hingga 8 MST, kemudian mengalami penurunan seiring dengan mulai berkurangnya ILD akibat daun yang mengering dan mulai rontok.

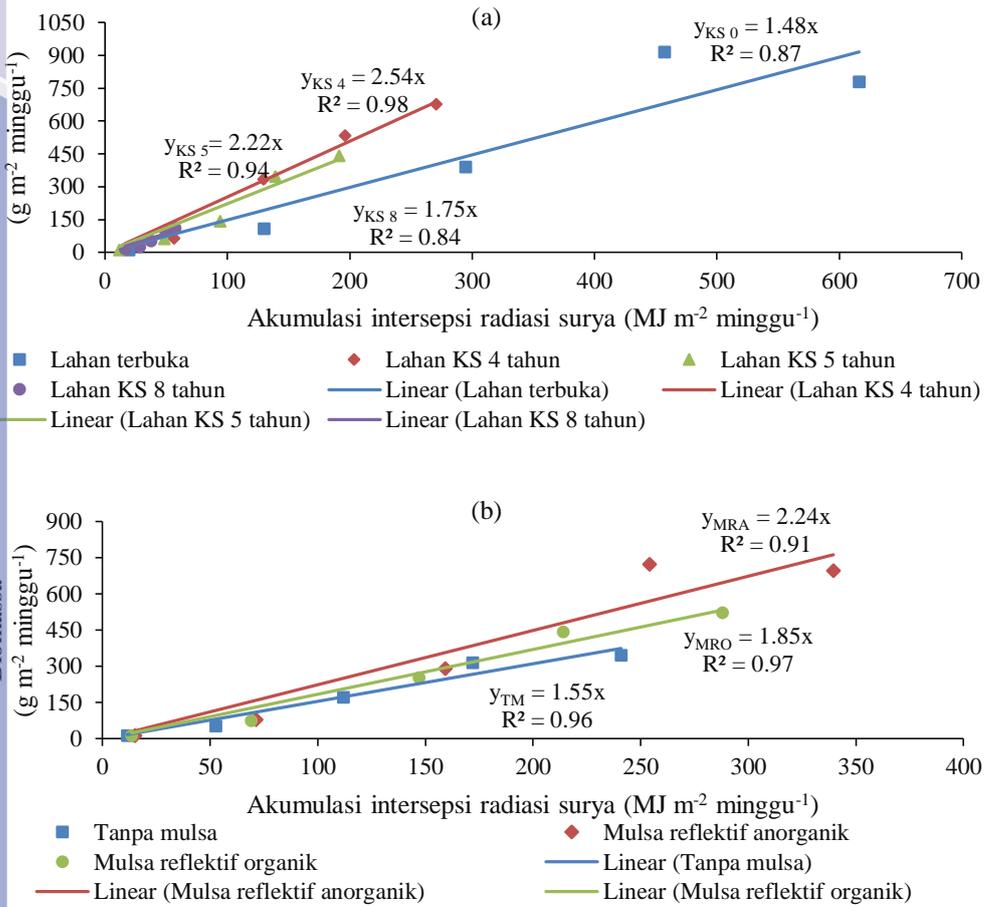
Intersepsi radiasi surya dipengaruhi oleh nilai ILD dan total intensitas radiasi surya yang sampai ke permukaan tegakan tanaman. Intersepsi radiasi surya kedelai tertinggi terdapat pada kedelai yang di tanam pada lahan terbuka, kemudian disusul oleh kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun. Pada lahan yang radiasi surya cukup akan menghasilkan jumlah dan ukuran daun yang sesuai potensinya, sedangkan pada tanaman yang kekurangan radiasi surya akan mengalami penurunan jumlah daun meskipun kecenderungannya luas daun rata-rata meningkat, namun akumulasi daun total per tanaman mengalami penurunan. Penggunaan mulsa reflektif yang memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan intersepsi radiasi surya. Mulsa reflektif anorganik berkontribusi tertinggi terhadap intersepsi radiasi surya, kemudian mulsa reflektif organik dan yang terendah pada kedelai tanpa penggunaan mulsa reflektif atau kontrol.



Gambar 28 Intersepsi radiasi surya kedelai pada di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan intersepsi radiasi surya kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)

Gambar 29a menyajikan RUE kedelai yang ditanam di lahan terbuka di bawah tegakan kelapa sawit. Pada lahan terbuka rata-rata RUE kedelai adalah 1,48 g MJ⁻¹, sedangkan RUE kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5, dan 8 tahun berturut-turut adalah 2,54 g MJ⁻¹; 2,22 g MJ⁻¹ dan 1,75 g MJ⁻¹. Terlihat adanya peningkatan nilai RUE dengan semakin bertambahnya umur tanaman kelapa sawit atau semakin rendah intensitas radiasi surya yang sampai ke tegakan tanaman kedelai, namun pada kondisi radiasi yang sangat rendah atau gelap maka RUE akan mengalami penurunan secara drastis.

Gambar 29b menyajikan nilai efisiensi pemanfaatan radiasi surya (RUE; *radiation use efficiency*) yang meningkat secara linier dengan semakin meningkatnya intersepsi radiasi surya dan biomassa kedelai. Terlihat bahwa RUE tertinggi terjadi pada tanamn kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik 2,24 g MJ⁻¹, kemudian pada penggunaan mulsa reflektif organik 1,85 g MJ⁻¹, dan terendah 1,55 g MJ⁻¹ pada kedelai yang tanpa menggunakan mulsa reflektif. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif dapat meningkatkan nilai RUE kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit.



Keterangan: KS adalah kelapa sawit, TM adalah tanpa mulsa, MRA adalah mulsa reflektif anorganik, MRO adalah mulsa reflektif organik

Gambar 29 RUE kedelai yang di tanam pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit 4, 5 dan 8 tahun (a) RUE kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)

Menurut Mubarak *et al.* (2017), nilai RUE kedelai pada lahan terbuka tanpa mulsa sebesar 1,31 g MJ⁻¹, dan pada penggunaan mulsa reflektif anorganik/mulsa plastik hitam perak 1,55 g MJ⁻¹, sedangkan pada lahan dengan naungan 50%, RUE kedelai pada lahan tanpa mulsa 1,72 g MJ⁻¹, dan pada penggunaan mulsa anorganik/MPHP 1,86 g MJ⁻¹. Kisaran nilai RUE kedelai antara 1,44 g MJ⁻¹ sampai 1,89 g MJ⁻¹ (Singer *et al.* 2011; Van Roekel dan Purcell 2014), sedangkan menurut Sinclair dan Muchow (1999) sebesar 2,52 g MJ⁻¹ PAR⁻¹.

Penggunaan mulsa reflektif pada budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit meningkatkan ILD dan selanjutnya akan meningkatkan intersepsi radiasi surya. Peningkatan ILD akan meningkatkan nilai koefisien pepadaman (*k*; leaf extinction coefficient) yang menyebabkan jumlah radiasi yang ditransmisikan berkurang sesuai dengan Hukum Beer. Menurut Ceotto *et al.* (2013), tingginya intersepsi radiasi dan RUE dipengaruhi oleh struktur kanopi, semakin tingginya ILD maka koefisien pepadaman kanopi juga akan semakin tinggi. Penggunaan mulsa reflektif meningkatkan intersepsi radiasi surya dan kemampuan tanaman

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

untuk mengkonversi energi surya menjadi biomassa melalui RUE (Mubarak *et al.* 2018).

4.4.5 Morfologi kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

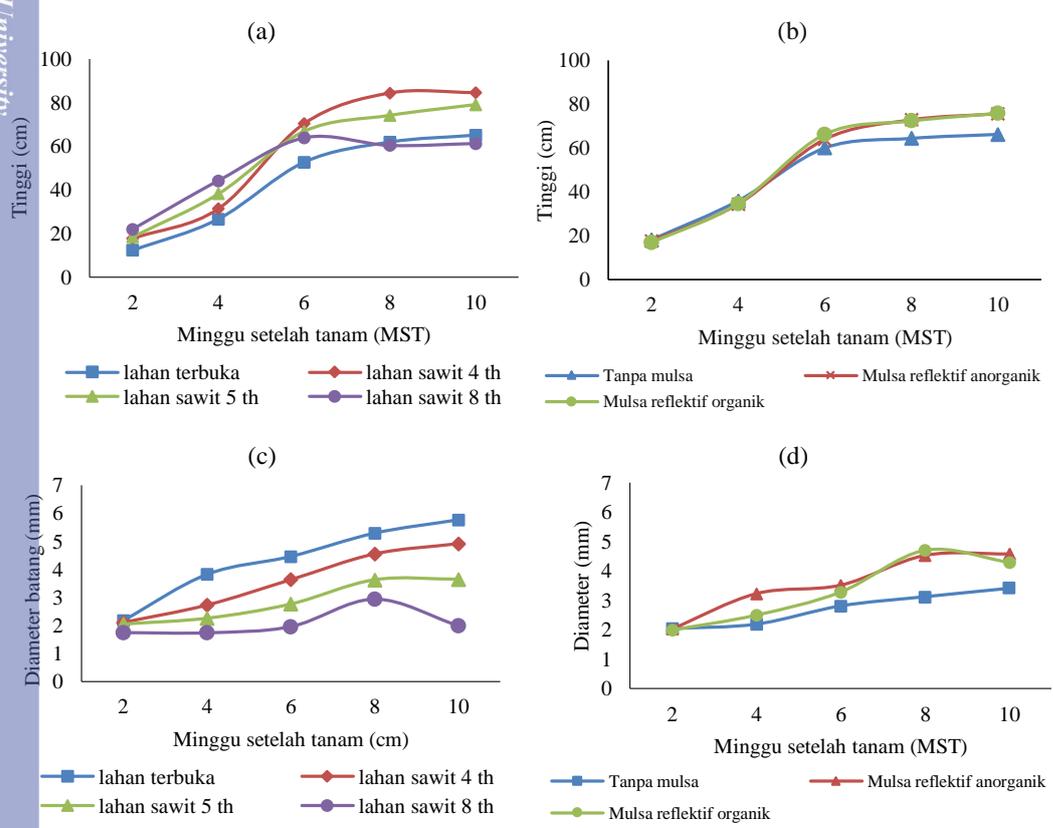
a) Tinggi dan diameter batang

Pertumbuhan tanaman dapat didekati menggunakan parameter tinggi dan diameter batang. Gambar 30 menyajikan pertambahan tinggi dan diameter batang kedelai sejak umur 2 MST hingga 10 MST pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik. Gambar 30a memperlihatkan peningkatan tinggi tanaman kedelai di bawah beberapa perlakuan kelompok umur kelapa sawit. Secara umum terlihat bahwa tinggi tanaman yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit yang umurnya lebih tua relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kedelai yang di tanam di lahan terbuka atau di bawah kelompok umur kelapa sawit yang lebih muda. Namun khusus pada tinggi kedelai yang di tanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun, mengalami penurunan rata-rata tinggi yang sangat drastis sejak umur 6 MST. Hal ini disebabkan karena intensitas radiasi di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun yang sangat rendah sehingga pertumbuhan tanaman menjadi terganggu. Rata-rata tinggi kedelai 8 MST atau fase R5, pada lahan terbuka 65,03 cm, pada lahan kelapa sawit 4 tahun 84,54 cm, pada lahan kelapa sawit 5 tahun 79,33 cm dan lahan kelapa sawit 8 tahun 61,20 cm.

Gambar 30b menyajikan pengaruh penggunaan mulsa reflektif terhadap tinggi tanaman kedelai. Tinggi tanaman kedelai sejak umur 2 MST hingga 5 MST baik yang menggunakan mulsa reflektif dan kontrol tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan, tetapi memasuki 6 MST pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mengalami peningkatan yang lebih tinggi dari kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan tinggi tanaman kedelai yang signifikan dibandingkan tanaman kontrol. Hasil uji *significant test* pada selang kepercayaan 95%, tidak ada perbedaan yang nyata antara mulsa reflektif anorganik dengan mulsa reflektif organik, namun berbeda nyata dengan kontrol. Tinggi kedelai rata-rata pada fase R5 atau 10 MST pada lahan tanpa mulsa sebesar 66,19 cm, dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik 75,60 cm, dan 75,80 cm pada penggunaan mulsa reflektif organik. Berdasarkan Kementan (2017), varietas anjasmoro mempunyai tinggi 64-68 cm, sedangkan menurut Dwiputra *et al.* (2015), varietas anjasmoro mempunyai tinggi rata-rata 29,81 cm.

Parameter pertumbuhan tanaman lainnya adalah diameter batang. Gambar 30c menyajikan diameter batang kedelai yang ditanam pada beberapa tingkat intensitas radiasi surya yaitu lahan terbuka (100%), dan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun dengan intensitas radiasi masing-masing 44,79%; 40,58% dan 25,14%. Terlihat bahwa semakin rendah intensitas radiasi yang sampai ke permukaan kedelai maka semakin kecil diameter batangnya. Diameter batang kedelai tertinggi terdapat pada kedelai yang di tanam lahan terbuka (4,30 mm,) kemudian di bawah lahan kelapa sawit umur 4, 5, 8 tahun berturut-turut adalah 3,59 mm; 2,88 mm dan 2,08 mm. Gambar 30d menyajikan diameter batang kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif. Diameter batang kedelai yang menggunakan mulsa reflektif anorganik dan organik lebih relatif lebih besar dibandingkan kontrol dan terlihat sejak 3 MST. Tanaman kedelai yang menggunakan mulsa reflektif

anorganik mempunyai diameter batang rata-rata tertinggi yaitu 3,58 mm, diikuti mulsa reflektif organik 3,35 mm, sedangkan pada kontrol atau tanpa mulsa reflektif hanya 2,71 mm (Gambar 30d). Menurut Dwiputra *et al.* (2015) rata-rata diameter batang kedelai varietas anjasmoro 3,50 mm. Berdasarkan *significant test* pada selang kepercayaan 95%, diameter batang kedelai yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik tidak berbeda nyata dengan mulsa reflektif organik, namun keduanya berbeda nyata dengan lahan terbuka/kontrol. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan diameter batang kedelai. Diameter batang merupakan indikator tingkat kekokohan batang, dan berdasarkan hasil penelitian memperlihatkan bahwa pada kedelai yang menggunakan mulsa reflektif batang kedelai menjadi tidak rebah.



Gambar 30 Tinggi tanaman kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (a) diameter kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif (b)

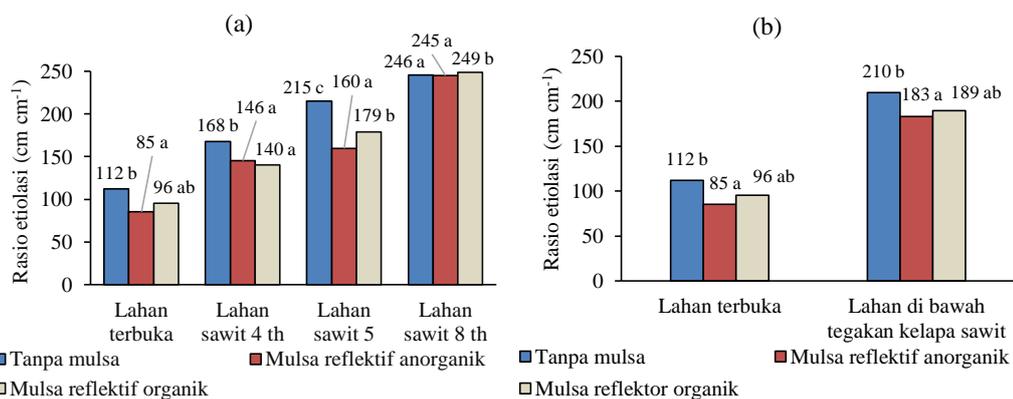
b) Rasio etiolasi

Gambar 31a menyajikan rasio etiolasi (RE) kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik. Nilai rasio etiolasi tanaman kedelai meningkat dengan semakin bertambahnya umur kelapa sawit atau semakin rendahnya radiasi transmisi yang sampai ke permukaan kedelai. Pada setiap lokasi budidaya kedelai di lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun terlihat secara konsisten bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik dapat menurunkan menurunkan rasio etiolasi secara signifikan ($p < 0,05$), namun hal ini tidak terjadi pada kedelai yang ditanam pada lahan kelapa sawit umur 8 tahun, penggunaan mulsa reflektif tidak menurunkan laju

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

etiologi secara signifikan ($p > 0,05$). Gambar 31b menyajikan perbandingan nilai rasio etiologi tanaman kedelai yang dibudidayakan pada lahan terbuka (kontrol) dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit. Penggunaan mulsa reflektif anorganik pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dapat menurunkan rasio etiologi secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak signifikan pada penggunaan mulsa reflektif organik ($p > 0,05$). Penggunaan mulsa reflektif pada lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit mampu menurunkan rasio etiologi tanaman kedelai dari 210 menjadi 183 atau turun 13% pada mulsa reflektif anorganik, sedangkan mulsa reflektif organik menjadi 189 atau turun sebesar 10%. Pada penggunaan mulsa reflektif organik meskipun mengalami penurunan namun tidak signifikan ($p > 0,05$).

Berdasarkan Gambar 31a maka dapat disusun kriteria rasio etiologi sebagai berikut, etiologi normal (RE: < 100), etiologi lemah (RE: 100-150), etiologi kuat (RE: 151-200) dan etiologi sangat kuat (RE: > 200). Dari kriteria tersebut dapat dilihat bahwa penggunaan mulsa reflektif dapat menurunkan status kedelai dari yang mengalami etiologi kuat menjadi etiologi lemah (lahan tanpa mulsa pada umur kelapa sawit 4 tahun), dan dari etiologi sangat kuat menjadi etiologi kuat (lahan tanpa mulsa pada umur kelapa sawit 5 tahun).



Keterangan: Huruf yang berbeda pada masing-masing bar pada lokasi yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

Gambar 31 Rasio etiologi kedelai pada beberapa kelompok umur kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif (a), perbandingan rasio etiologi kedelai yang diaplikasikan mulsa reflektif pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit (b)

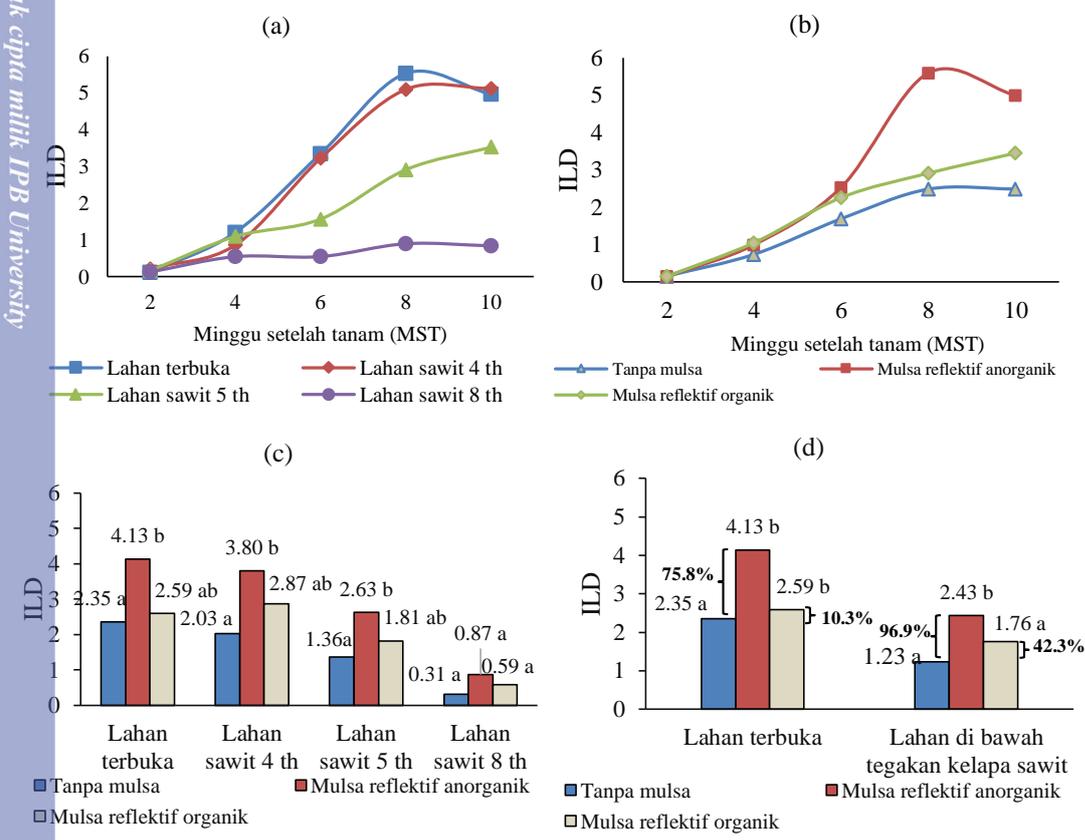
Etiologi merupakan fenomena batang tanaman yang tumbuh lebih cepat pada kondisi gelap atau kekurangan cahaya. Pada kondisi kekurangan cahaya hormon auksin pada tanaman akan aktif sehingga terjadinya etiologi. Pada tanaman yang mengalami gejala etiologi dicirikan oleh batang yang tinggi, diameter batang kecil, dan warna yang pucat. Bertambahnya tinggi tanaman tersebut disebabkan produksi dan distribusi hormon auksin berkerja sangat aktif pada kondisi kekurangan cahaya. Namun hal tersebut tidak diikuti oleh meningkatnya laju fotosintesis sehingga tidak dapat meningkatkan produktivitas biomassa untuk pertumbuhan (Rahmanda *et al.* 2017).

c) Indeks Luas daun

Indeks luas daun atau ILD mengalami peningkatan seiring bertambahnya umur tanaman kedelai (Gambar 32a dan 34b). Rata-rata ILD tertinggi terjadi pada minggu ke-8 MST. Kedelai yang ditanam pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun mempunyai ILD yang lebih tinggi dibandingkan dengan di bawah tegakan 5 tahun dan 8 tahun (Gambar 32a).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Keterangan : Huruf yang berbeda pada setiap kelompok lahan kelapa sawit menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$)

Gambar 32 Indeks luas daun (ILD) kedelai: (a) distribusi ILD kedelai dua minggu pada lahan di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, (b) distribusi ILD kedelai dua minggu dengan penggunaan mulsa reflektif, (c) rata-rata ILD kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan (d) persentase peningkatan ILD kedelai pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit yang diaplikasikan mulsa reflektif

ILD rata-rata pada lahan terbuka, di bawah lahan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun berturut-turut adalah 3,03; 2,90; 1,85 dan 0,95 (Gambar 32a; Tabel 12). Penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan ILD kedelai terutama sejak 6 MST. Mulsa reflektif anorganik memberikan pengaruh kuat terhadap peningkatan ILD kedelai dengan rata-rata luas daun 2,86, kemudian mulsa reflektif organik 1,97 dan kontrol atau tanpa mulsa reflektif 1,51 (Gambar 32b; Tabel 12).

Gambar 32c memperlihatkan pengaruh penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik terhadap ILD kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa

sawit umur 4, 5 dan 8 tahun. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan ILD secara signifikan pada lahan terbuka dan di bawah lahan kelapa sawit 4 tahun ($p < 0,05$), sedangkan di bawah lahan kelapa sawit 5 dan 8 tahun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$). Berdasarkan Gambar 32d, peningkatan ILD pada lahan terbuka dengan penggunaan mulsa anorganik terjadi secara signifikan ($p < 0,05$) sekitar 75,8 dan tidak signifikan pada penggunaan mulsa reflektif organik ($p > 0,05$) sekitar 10,3%. Sedangkan peningkatan ILD di bawah tegakan kelapa sawit (ILD kedelai rata-rata di bawah tegakan kelapa sawit umur 3, 4 dan 5 tahun) sebesar 96,9% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 42,3% pada penggunaan mulsa reflektif organik. Tabel 12 menyajikan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik mampu meningkatkan ILD secara signifikan ($p < 0,05$), sedangkan penggunaan mulsa reflektif organik dan tanpa penggunaan mulsa reflektif tidak meningkatkan ILD secara signifikan ($p > 0,05$).

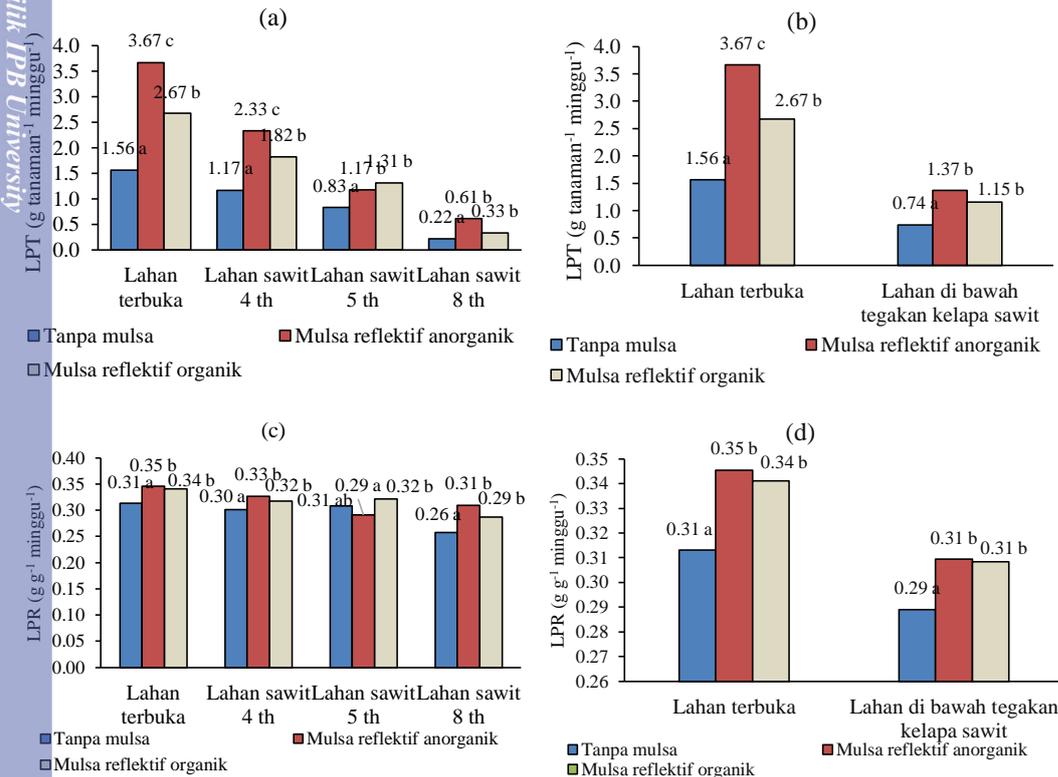
Nilai ILD ditentukan oleh total luas daun pertanaman, semakin besar nilai akumulasi luas daun maka akan semakin besar nilai ILD. Jumlah dan luas daun sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan fisiknya. Pada lahan dengan kecukupan radiasi surya yang lebih baik akan menghasilkan jumlah dan luas daun sesuai dengan potensinya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun mempunyai ILD yang tidak berbeda dengan pada lahan terbuka, namun kedelai di bawah tegakan kedelai umur 5 tahun terjadi penurunan yang signifikan, sedangkan pada di bawah lahan 8 tahun ILD kedelai sangat rendah. Rendahnya ILD lebih disebabkan oleh semakin berkurangnya jumlah daun dengan semakin rendahnya intensitas transmisi radiasi surya yang sampai ke tegakan permukaan kedelai. Penggunaan mulsa reflektif berperan penting terhadap peningkatan nilai ILD kedelai. Hal ini dapat terlihat dari Gambar 32b, mulsa reflektif anorganik yang mempunyai albedo tertinggi menyebabkan nilai ILD juga tinggi, kemudian disusul oleh ILD kedelai dengan menggunakan mulsa reflektif organik dan yang paling rendah pada penggunaan kedelai tanpa penggunaan mulsa.

d) Laju pertumbuhan tanaman dan laju pertumbuhan tanaman relatif

Berdasarkan data bobot kering tanaman, analisis pertumbuhan dapat didekati dengan laju pertumbuhan tanaman (LPT) dan laju pertumbuhan tanaman relatif (LPR). LPT menunjukkan kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi per satuan waktu ($\text{g tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$). LPR adalah kemampuan tanaman menghasilkan bahan kering hasil asimilasi per satuan bobot kering awal per satuan waktu ($\text{g g}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$) (Hasanah dan Rahmawati 2015).

Gambar 33 menyajikan LPT dan LPR tanaman kedelai yang dibudidayakan di bawah tegakan kelapa sawit berbeda umur dengan aplikasi beberapa mulsa reflektif. Pada lahan terbuka LPT mengalami peningkatan sebesar 135,2% (dari 1,56 menjadi 3,67 $\text{g tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$) pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 71,3% (dari 1,56 menjadi 2,67 $\text{g tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$) dengan mulsa reflektif organik. LPT rata-rata di bawah tegakan kelapa sawit (umur 4, 5 dan 8 tahun) dengan penggunaan mulsa reflektif meningkatkan sebesar 85,9% (dari 0,74 menjadi 1,37 $\text{g tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$) pada mulsa reflektif anorganik, dan 56,4% (dari 0,74 menjadi 1,15 $\text{g tanaman}^{-1} \text{ minggu}^{-1}$) pada mulsa reflektif organik. LPR juga mengalami peningkatan dengan penggunaan mulsa reflektif. Pada lahan terbuka, LPR dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik meningkat 12,5% (dari

0,31 menjadi 0,35 g g⁻¹ minggu⁻¹) dan pada mulsa reflektif organik meningkat sebesar 9,7% (0,31 menjadi 0,34 g g⁻¹ minggu⁻¹). LPR kedelai pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit (umur 4, 5 dan 8 tahun) meningkat sebesar 7,0% dengan pemakaian mulsa reflektif anorganik dan 6,7% untuk mulsa reflektif organik. Penggunaan mulsa reflektif meningkatkan LPT dan LPR pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan signifikan ($p < 0,05$), namun secara umum tidak ada perbedaan yang signifikan antara penggunaan mulsa reflektif anorganik dengan organik ($p > 0,05$).



Keterangan: Huruf yang berbeda pada masing-masing bar pada lokasi yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

Gambar 33 LPT pada beberapa kelompok umur kelapa sawit (a), perbandingan LPT pada lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (b), LPT pada beberapa kelompok umur kelapa sawit (c), LPR pada beberapa kelompok umur kelapa sawit, dan perbandingan LPR lahan terbuka dengan lahan di bawah tegakan kelapa sawit (d)

Menurut Mubarak *et al.* (2018) pada lahan terbuka, penggunaan mulsa reflektif meningkatkan LTP sebesar 29-38% dan di bawah naungan 50% sebesar 35-43%, sedangkan LPR pada lahan terbuka meningkat 12-15%, dan di bawah naungan 50% meningkat 10-15%. Penggunaan mulsa reflektif pada budidaya kedelai di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit dapat meningkatkan nilai laju pertumbuhan tanaman, karena dapat memperbaiki kualitas iklim mikro yang lebih kondusif. Iklim mikro yang tidak sesuai akan menyebabkan terjadi penurunan laju pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Kader *et al.* 2017).

e) Berat daun spesifik dan luas daun spesifik

Berat daun spesifik (*specific leaf weight*; SLW) kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif disajikan pada Tabel 12. Rata-rata SLW mengalami penurunan dengan semakin rendahnya intensitas radiasi yang sampai ke permukaan tanaman kedelai, hal ini terlihat dari rendahnya SLW dengan semakin meningkatnya umur tanaman kelapa sawit. Berdasarkan Tabel 12, terlihat bahwa penggunaan mulsa reflektif tidak meningkatkan SLW kedelai secara signifikan ($p>0,05$) meskipun pada penggunaan mulsa reflektif organik mempunyai nilai SLW tertinggi ($10,97 \text{ mg cm}^{-2}$), kemudian pada kedelai tanpa mulsa ($8,85 \text{ cm}^{-2}$) dan yang terendah perlakuan mulsa reflektif anorganik ($8,73 \text{ cm}^{-2}$), namun jenis mulsa (anorganik dan organik) dapat memengaruhi bobot daun spesifik secara signifikan ($p<0,05$).

Hasil analisis SLW tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan SLW tidak hanya ditentukan oleh meningkatnya intensitas radiasi surya pada tajuk namun harus diikuti oleh terpenuhinya faktor-faktor lainnya seperti terpenuhinya kebutuhan hara dan air. Pada penggunaan mulsa reflektif organik selain mampu meningkatkan refleksi radiasi surya pada tegakan kedelai juga mampu menyumbang hara dari dekomposisi mulsa organik yaitu daun kelapa sawit.

Tabel 12 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan rata-rata luas daun spesifik dengan berkurangnya intensitas radiasi surya akibat umur tanaman kelapa sawit. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik tidak memengaruhi SLA secara signifikan ($p>0,05$). Nilai SLA tertinggi terdapat pada kedelai dengan lahan tanpa mulsa mulsa reflektif $0,136 \text{ cm}^{-2} \text{ mg}^{-1}$, kemudian mulsa reflektif organik $0,122 \text{ cm}^{-2} \text{ mg}^{-1}$ dan terendah pada mulsa reflektif organik $0,119 \text{ cm}^{-2} \text{ mg}^{-1}$.

Luas daun spesifik atau SLA kedelai mengalami peningkatan dengan semakin rendah intensitas di bawah tegakan kelapa sawit. Hal ini menunjukkan bahwa pada intensitas radiasi surya yang rendah memerlukan luas daun yang lebih besar untuk menghasilkan 1 mg berat kering sebagai hasil fotosintesis (Chowdhury *et al.* 2016). Penggunaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai tidak memengaruhi luas daun spesifik daun kedelai.

f) Tebal daun

Tabel 12 menyajikan ketebalan daun kedelai pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai dan pengaruh penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik. Terlihat kecenderungan ketebalan daun kedelai semakin tipis dengan semakin bertambahnya umur kelapa sawit. Secara umum ketebalan daun kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun berbeda nyata dengan ketebalan daun kedelai pada lahan terbuka dan di bawah kelapa sawit umur 5 tahun ($p<0,05$). Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik tidak memengaruhi ketebalan daun secara signifikan ($p>0,05$). Berdasarkan Gambar 34a, penggunaan mulsa reflektif baik anorganik maupun organik pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan terhadap ketebalan daun kedelai ($p>0,05$).

Tabel 12 Indeks luas daun (ILD), tebal daun, kerapatan, panjang dan lebar stomata daun kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

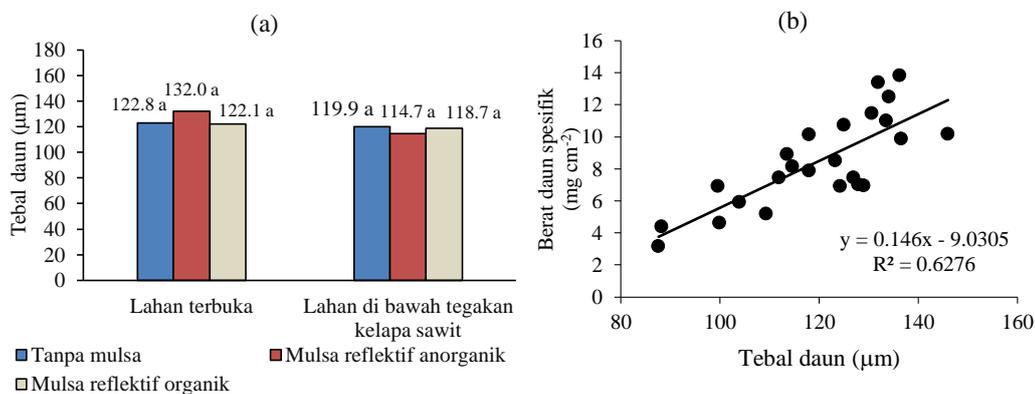
Parameter	Umur tegakan kelapa sawit	Mulsa reflektif			Rata-rata
		Tanpa mulsa	Anorganik	Organik	
ILD	Lahan terbuka	2,35 def	4,13 h	2,59 ef	3,03 C
	4 tahun	2,03 def	3,80 h	2,87 g	2,90 C
	5 tahun	1,36 bcd	2,62 ef	1,81 cde	1,93 B
	8 tahun	0,31 a	0,87 abc	0,59 ab	0,59 A
	Rata-rata	1,51 a	2,86 b	1,97 a	
Berat daun spesifik/SLW (mg cm ⁻²)	Lahan terbuka	11,57 bcd	10,34 abcd	14,48 d	12,13 C
	4 tahun	7,44 ab	8,68 abc	10,21 abcd	8,78 B
	5 tahun	10,06 abcd	10,40 abcd	13,32 cd	11,36 C
	8 tahun	6,34 ab	5,52 a	5,16 a	5,67 A
	Rata-rata	8,85 ab	8,73 a	10,79 b	
Luas daun spesifik/SLA (cm ² g ⁻¹)	Lahan terbuka	88,60 a	96,76 ab	72,37 a	85,58 A
	4 tahun	136,11 ab	120,67 ab	105,42 ab	120,73 A
	5 tahun	104,48 ab	71,96 ab	94,67 ab	90,37 A
	8 tahun	215,29 b	185,97 ab	214,15 b	205,14 B
	Rata-rata	135,87 a	118,84 a	121,65 a	
Tebal daun (µm)	Lahan terbuka	122,80 ab	132,00 b	122,10 ab	125,63 B
	4 tahun	116,30 ab	106,65 ab	128,15 ab	117,03 AB
	5 tahun	131,80 b	132,65 b	131,08 b	131,84 B
	8 tahun	111,45 ab	104,65 ab	95,80 a	103,97 A
	Rata-rata	120,59 a	118,99 a	119,28 a	
Kerapatan stomata (unit mm ⁻²)	Lahan terbuka	193,90 abc	403,10 d	280,60 c	292,52 B
	4 tahun	216,80 abc	229,60 abc	260,20 c	235,54 B
	5 tahun	191,30 abc	233,00 bc	199,00 abc	211,73 AB
	8 tahun	119,90 ab	170,90 abc	112,20 a	134,35 A
	Rata-rata	180,48 a	259,15 b	213,00 ab	
Panjang stomata (nm)	Lahan terbuka	15,00 a	15,30 a	16,80 a	15,70 A
	4 tahun	17,80 a	15,95 a	17,10 a	16,95 A
	5 tahun	16,50 a	17,17 a	16,30 a	16,69 A
	8 tahun	23,45 b	18,95 ab	18,30 a	20,23 B
	Rata-rata	18,19 a	16,84 a	17,13 a	
Lebar stomata (nm)	Lahan terbuka	9,15 a	10,80 ab	9,30 a	9,75 A
	4 tahun	10,80 ab	10,45 ab	11,45 b	10,90 B
	5 tahun	10,50 ab	10,77 ab	10,00 ab	10,44 AB
	8 tahun	13,30 c	10,65 ab	9,50 ab	11,15 B
	Rata-rata	10,94 b	10,67 ab	10,06 a	
Luas stomata (nm ²)	Lahan terbuka	138,95 a	166,0 a	155,89 a	153,63 A
	4 tahun	192,40 a	166,7 a	195,72 a	184,95 BC
	5 tahun	173,00 a	185,0 a	163,00 a	172,09 B
	8 tahun	227,36 a	201,6 a	173,20 a	195,39 C
	Rata-rata	176,58 a	178,66 a	171,95 a	

Keterangan : Huruf yang berbeda pada masing-masing baris dan atau kolom dengan karakter yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT (p<0,05)

Hak Cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Gambar 34b menyajikan hubungan ketebalan daun dan bobot daun spesifik. Berdasarkan hasil analisis linier regresi diketahui terdapat hubungan antara ketebalan daun dengan berat daun spesifik dengan nilai korelasi 62,8%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tebal daun maka akan semakin meningkat pula berat daun spesifik.



Keterangan : Huruf yang berbeda pada setiap kelompok lahan kelapa sawit menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

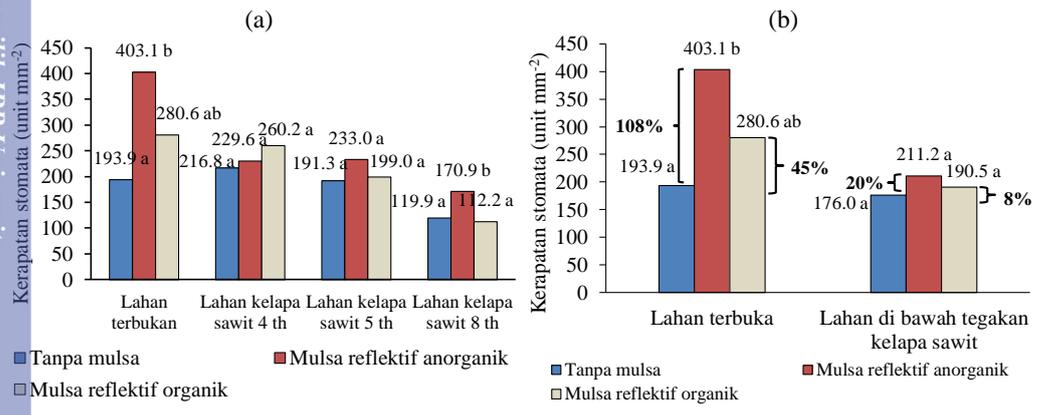
Gambar 34 Ketebalan daun kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif (a), hubungan ketebalan daun dengan berat daun spesifik (b)

Penggunaan mulsa reflektif tidak memperlihatkan perbedaan tebal daun yang berarti baik pada lahan terbuka maupun pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit. Hal ini lebih mengindikasikan bahwa radiasi surya yang sampai ke permukaan tanaman kedelai belum mencapai titik kritis yang menyebabkan perubahan terhadap tebal daun. Menurut Chowdhury *et al.* (2016), berat daun spesifik dapat menunjukkan tingkat ketebalan daun. Berat daun spesifik kedelai mengalami penurunan dengan semakin rendah intensitas radiasi surya yang mengenai tegakan. Hal ini teridentifikasi dari semakin rendahnya radiasi surya maka semakin rendah pula SLW dan semakin tipis daun kedelai, karena semakin besar nilai SLW maka makin tebal daun atau menyatakan berat daun dalam 1 cm². Hasil analisis tebal daun dan berat daun spesifik menunjukkan bahwa keduanya sangat terkait.

g) Kerapatan stomata daun

Gambar 35a menyajikan tingkat kerapatan stomata daun kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit yang menggunakan mulsa reflektif. Kerapatan stomata daun semakin rendah dengan semakin rendahnya radiasi transmisi yang sampai ke permukaan tanaman akibat meningkatnya umur tanaman kelapa sawit sebagai tanaman utama. Penggunaan mulsa reflektif pada lahan terbuka mampu meningkatkan kerapatan stomata daun kedelai secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak signifikan pada lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit ($p > 0,05$). Meskipun demikian, kerapatan stomata daun kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit mengalami peningkatan dengan penggunaan mulsa reflektif baik pada lahan terbuka dan lahan di bawah tegakan kelapa sawit. Rata-

rata kerapatan stomata daun kedelai pada lahan terbuka tanpa mulsa reflektif, dengan mulsa reflektif anorganik dan mulsa organik berturut-turut adalah 193,9 unit mm^{-1} ; 403,1 unit mm^{-1} dan 280,06 unit mm^{-1} , atau mengalami peningkatan pada penggunaan mulsa reflektif anorganik 108% dan 45% pada mulsa reflektif organik. Pada penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit mempunyai kerapatan stomata kedelai masing-masing 176,0 unit mm^{-1} pada lahan tanpa mulsa reflektif, 211,2 unit mm^{-1} pada mulsa anorganik (meningkat 20%) dan 190,5 unit mm^{-1} pada mulsa organik (meningkat 8%) (Gambar 35b).



Keterangan : Huruf yang berbeda pada setiap kelompok lahan kelapa sawit menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

Gambar 35 Kerapatan stomata daun kedelai: (a) di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit yang menggunakan mulsa reflektif, dan (b) persentase peningkatan kerapatan stomata daun kedelai pada lahan terbuka dan di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

Penurunan kerapatan stomata daun kedelai dengan semakin rendahnya intensitas radiasi surya juga diungkapkan oleh Allen (1975), pada daun-daun bagian atas terjadi penurunan dari 174 menjadi 125 unit mm^{-2} , untuk daun bagian bawah atau dekat permukaan turun dari 302 menjadi 278 unit mm^{-2} . Menurut Buttery *et al.* (1992), kerapatan stomata semakin rendah dengan semakin besarnya naungan yang diberikan kepada kedelai, juga terjadi perbedaan kerapatan stomata antara daun di atas dengan daun di bawah atau dekat permukaan. Daun kedelai bagian bawah (*lower leaf*) kerapatan stomatanya lebih tinggi dari daun-daun atas (*upper leaf*).

h) Panjang, lebar dan luas stomata

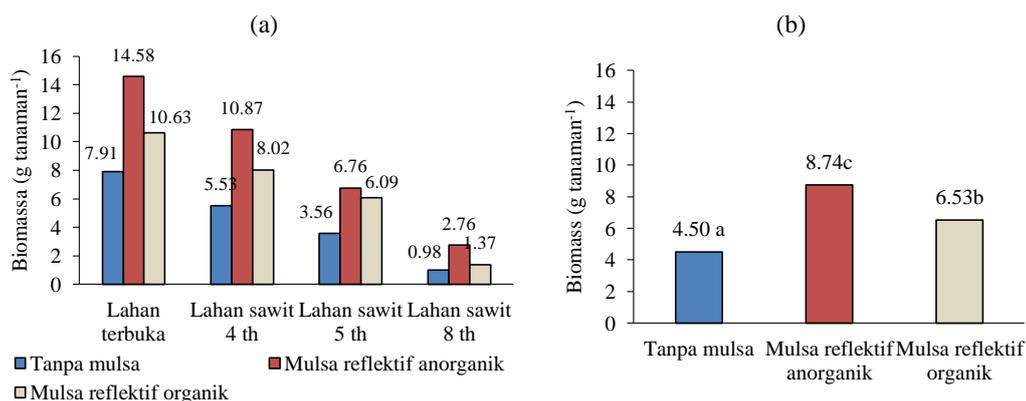
Tabel 12 menyajikan panjang, lebar dan luas stomata daun kedelai yang ditanam di bawah beberapa kelompok umur tegakan kelapa sawit dengan mulsa reflektif. Panjang, lebar dan luas stomata kedelai secara umum meningkat dengan bertambahnya umur tegakan kelapa sawit (semakin rendah radiasi surya yang diterima). Penggunaan mulsa reflektif berdasarkan hasil analisis statistik tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) antara penggunaan mulsa reflektif anorganik maupun organik terhadap panjang dan luas stomata daun kedelai, pengaruh signifikan hanya terjadi pada ukuran lebar stomata ($p < 0,05$). Rata-rata panjang stomata daun kedelai pada lahan terbuka sebesar 18,19 nm, pada mulsa reflektif anorganik sebesar 16,84 nm dan pada mulsa organik sebesar 17,13 nm.

Lebar stomata daun kedelai dengan pada lahan tanpa penggunaan mulsa reflektif sebesar 10,94 nm, kemudian pada mulsa reflektif anorganik sebesar 10,67 nm dan pada mulsa reflektif organik sebesar 10,06 nm. Rata-rata luas stomata daun kedelai yang ditanam dilahan terbuka sebesar 176,58 nm², pada mulsa reflektif anorganik sebesar 178,66 nm² dan pada mulsa reflektif organik sebesar 171,95 nm².

Kedelai akan beradaptasi dengan lingkungan yang radiasi surya rendah melalui peningkatan panjang dan lebar stomata guna meningkatkan laju fotosintesis. Radiasi surya rendah tanaman akan merespon dengan menghasilkan daun lebih lebar, lebih tipis dengan lapisan epidermis tipis, jaringan palisade sedikit, ruang antar sel lebih lebar dan jumlah stomata lebih banyak. Sebaliknya pada tanaman yang menerima intensitas cahaya tinggi menghasilkan daun yang lebih kecil, lebih tebal, lebih kompak dengan jumlah stomata lebih sedikit, lapisan kutikula dan dinding sel lebih tebal dengan ruang antar sel lebih kecil dan tekstur daun keras (Pantilu *et al* 2012). Hasil penelitian Morais *et al.* (2004), menunjukkan bahwa jumlah stomata daun pada perlakuan tanpa naungan lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan naungan.

i) Biomassa

Gambar 36a menyajikan biomassa tanaman kedelai yang ditanam di bawah tegakan beberapa kelompok tanaman kelapa sawit. Terlihat adanya penurunan biomassa kedelai dengan semakin tingginya umur tanaman kelapa sawit sebagai tanaman utama. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik secara konsisten mampu meningkatkan biomassa kedelai baik di luar maupun di bawah tegakan kelapa sawit. Rata-rata biomassa kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik disajikan pada Gambar 36b. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik meningkatkan biomassa kedelai secara signifikan ($p < 0,05$). Biomassa tertinggi terdapat pada penggunaan mulsa reflektif anorganik (8,74 g tanaman⁻¹), kemudian pada penggunaan mulsa reflektif organik (6,53 g tanaman⁻¹) dan terendah pada penggunaan mulsa reflektif 4,50 g tanaman⁻¹.



Keterangan : Huruf yang berbeda pada setiap kelompok lahan kelapa sawit atau perlakuan yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$).

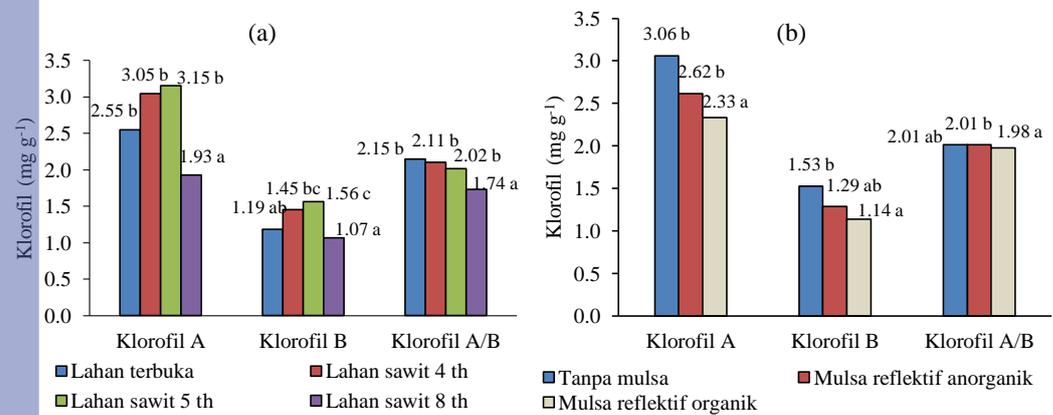
Gambar 36 Biomassa kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan biomassa kedelai rata-rata menggunakan mulsa reflektif anorganik dan organik

Budidaya tanaman di bawah tegakan menyebabkan radiasi surya yang tersedia menjadi rendah, hal ini akan berdampak pada besaran radiasi yang akan diubah menjadi biomassa juga menjadi rendah. Penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan biomassa dan RUE kedelai secara signifikan. Hal tersebut berdampak pada peningkatan nilai RUE pada kedelai yang aplikasi mulsa reflektif.

4.4.6 Fisiologi kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

a) Klorofil daun

Tabel 13 memperlihatkan kandungan klorofil A, B dan rasio klorofil A/B yang terkandung pada daun kedelai yang ditanam di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif. Klorofil A mempunyai konsentrasi yang tertinggi dibandingkan dengan klorofil B dan rasio A/B, baik pada lahan terbuka maupun di bawah tegakan kelapa sawit 4, 5 dan 8 tahun (Gambar 37a).



Keterangan : Huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT (p<0,05).

Gambar 37 Kandungan klorofil A, B dan A/B kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit (a), kandungan klorofil A, B, dan A/B kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif (b)

Konsentrasi klorofil A kedelai turun secara signifikan pada kedelai yang di tanam di bawah tegakan kelapa sawit 8 tahun (p<0,05), namun tidak signifikan pada umur 4 dan 5 tahun (p>0,05). Konsentrasi klorofil B kedelai memperlihatkan peningkatan dengan bertambahnya umur kelapa sawit pada 4 dan 5 tahun akibat radiasi surya transmisi yang semakin rendah, namun pada umur kelapa sawit 8 tahun dengan kondisi radiasi surya transmisi yang sangat rendah (25,10%), konsentrasi klorofil B kedelai turun signifikan (p<0,05). Rasio klorofil A/B kedelai mengalami penurunan dengan semakin rendahnya radiasi surya akibat bertambahnya umur kelapa sawit, namun demikian berdasarkan uji statistik hanya pada umur kelapa 8 tahun yang berpengaruh signifikan (p<0,05) (Gambar 37a).

Gambar 37b memperlihatkan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik tidak memengaruhi penurunan klorofil A, B dan rasio A/B secara signifikan (p>0,05). Namun pada penggunaan mulsa reflektif organik menyebabkan penurunan konsentrasi klorofil A dan B dengan signifikan (p<0,05), sedangkan

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

pada rasio klorofil A/B tidak memperlihatkan penurunan yang signifikan ($p>0,05$) (39b).

Berdasarkan Tabel 13, penggunaan mulsa reflektif berpengaruh terhadap kandungan klorofil tanaman kedelai. Penggunaan mulsa reflektif organik menurunkan jumlah kandungan klorofil A dengan signifikan ($p<0,05$) menjadi $2,33 \text{ mg g}^{-1}$, namun tidak berpengaruh signifikan ($p>0,05$) akibat penggunaan mulsa reflektif anorganik $2,62 \text{ mg g}^{-1}$. Pada klorofil B juga terjadi penurunan dengan penggunaan mulsa reflektif. Penurunan kandungan klorofil yang signifikan ($p<0,05$) terjadi pada penggunaan mulsa reflektif organik, sedangkan pada penggunaan mulsa reflektif anorganik tidak terjadi penurunan yang signifikan ($p>0,05$). Penggunaan mulsa reflektif tidak berpengaruh signifikan ($p>0,05$) terhadap kandungan rasio klorofil A/B, namun terdapat perbedaan yang signifikan ($p<0,05$) antara penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik.

Tabel 13 Kandungan klorofil daun kedelai di bawah tegakan beberapa kelompok umur kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

Parameter	Umur tegakan kelapa sawit	Mulsa reflektif			Rata-rata
		Tanpa mulsa	Anorganik	Organik	
Kandungan klorofil A (mg g^{-1})	Lahan terbuka	2,70 bcd	2,65 bcd	2,30 bc	2,55 B
	4 tahun	3,39 cd	2,60 cd	3,15 bcd	3,05 B
	5 tahun	3,07 cd	3,45 d	2,95 cd	3,15 B
	8 tahun	3,08 cd	1,78 ab	0,94 a	1,93 A
	Rata-rata	3,06 b	2,62 b	2,33 a	
Kandungan klorofil B (mg g^{-1})	Lahan terbuka	1,27 ab	1,21 ab	1,10 ab	1,19 AB
	4 tahun	1,71 ab	1,27 ab	1,39 ab	1,45 BC
	5 tahun	1,52 ab	1,65 b	1,53 ab	1,56 C
	8 tahun	1,62 ab	1,04 a	0,56 ab	1,07 A
	Rata-rata	1,53 b	1,29 ab	1,14 a	
Kandungan klorofil A/B (mg g^{-1})	Lahan terbuka	2,15 a	2,20 a	2,09 a	2,15 B
	4 tahun	1,98 a	2,05 a	2,29 a	2,11 B
	5 tahun	2,02 a	2,09 a	1,95 a	2,02 B
	8 tahun	1,90 a	1,71 a	1,59 a	1,74 A
	Rata-rata	2,01 ab	2,07 b	1,98 a	

Keterangan : Huruf yang berbeda pada masing–masing baris dan atau kolom dengan karakter yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p<0,05$)

Pada kondisi defisit radiasi surya atau cahaya tanaman akan meningkatkan kemampuan penyerapannya melalui peningkatan jumlah klorofil per unit luas daun (Sulistiyowati *et al.* 2016). Naungan dapat meningkatkan kandungan klorofil B dan rasio A/B klorofil menurun dengan penurunan PAR (Song dan Li 2016). Menurunnya rasio klorofil A/B pada tanaman yang toleran terhadap naungan bertujuan agar terjadi peningkatan efisiensi penangkapan cahaya bagi tanaman secara keseluruhan. Kemampuan menangkap cahaya klorofil B lebih efisien dibandingkan dengan klorofil A, hal ini menyebabkan tanaman yang toleran terhadap naungan dapat meningkatkan klorofil B. Hal ini diduga berkaitan dengan organisasi kompleks fotosistem pada *light harvesting complex* (Muhuria *et al.* 2006; Kisman *et al.* 2007).

b) Karakteristik fotosintesis kedelai

Karakteristik fotosintesis yang diukur dan dianalisis meliputi laju fotosintesis, laju transpirasi, *intercellular CO₂ concentration*, dan konduktansi stomata. Kondisi lingkungan fisik selama pengukuran karakteristik fotosintesis dengan LI-6400XT sebagai berikut: suhu udara berkisar antara 25,4-27,4 °C dengan rata-rata 26,33 °C, kelembaban udara 47,0-49,2% dengan rata-rata 48,0%, dan suhu permukaan daun antara 20,5-26,0 °C dengan rata-rata 24,00 °C.

(1) Laju fotosintesis

Pengukuran laju fotosintesis dilakukan pada kelompok daun bagian atas dan kelompok daun bagian bawah (Tabel 14). Penggunaan mulsa reflektif tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan ($p > 0,05$) terhadap peningkatan laju fotosintesis pada daun kedelai bagian atas. Laju fotosintesis daun bagian atas kedelai yang ditanam tanpa penggunaan mulsa, dengan mulsa reflektif anorganik dan organik masing-masing adalah $31,72 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $33,13 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan $33,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Pada daun bagian bawah, penggunaan mulsa reflektif berpengaruh secara signifikan ($p < 0,05$) terhadap peningkatan laju fotosintesis, namun antar jenis mulsa reflektif tidak berpengaruh signifikan ($p > 0,05$) (Tabel 14). Rata-rata laju fotosintesis daun bagian bawah kedelai yang ditanam tanpa mulsa, mulsa reflektif anorganik dan organik masing-masing sebesar $20,89 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $23,64 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (meningkat 13,2%) dan $24,74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (18,4%). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan mulsa reflektif berkontribusi nyata terhadap peningkatan laju fotosintesis pada daun kedelai yang terletak di bagian bawah kanopi.

Berdasarkan Tabel 14, baik pada kelompok daun bagian atas maupun bawah terlihat adanya kecenderungan penurunan laju fotosintesis seiring meningkatnya umur kelapa sawit. Penurunan laju fotosintesis ini diduga akibat semakin rendahnya transmisi radiasi surya yang sampai ke permukaan kedelai. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan transmisi dan refleksi intensitas radiasi surya adalah hal yang sangat penting untuk meningkatkan laju fotosintesis kedelai di bawah tegakan tanaman utama.

(2) Laju transpirasi

Tabel 14 memperlihatkan bahwa penggunaan mulsa reflektif tidak memperlihatkan pengaruh yang signifikan ($p > 0,05$) terhadap laju transpirasi kelompok daun kedelai di bagian atas. Rata-rata laju transpirasi daun kedelai bagian atas pada lahan tanpa mulsa sebesar $11,44 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar $10,25 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan penggunaan mulsa reflektif organik sebesar $11,48 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Hasil analisis terhadap kelompok daun bagian bawah menunjukkan terjadinya penurunan laju transpirasi yang signifikan ($p < 0,05$) dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik, namun tidak signifikan ($p > 0,05$) pada mulsa reflektif organik. Rata-rata laju transpirasi daun kedelai bagian bawah pada lahan tanpa mulsa sebesar $11,56 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar $9,33 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan penggunaan mulsa reflektif organik sebesar $10,64 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Tabel 14 Karakteristik fotosintesis daun kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif

Karakteristik fotosintesis	Posisi daun	Umur kelapa sawit	Mulsa reflektif			Rata-rata
			Tanpa mulsa	Anorganik	Organik	
Laju fotosintesis ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	atas	Lahan terbuka	33,85 b	37,19 b	35,53 b	35,52 B
		4 tahun	34,39 b	36,82 b	36,87 b	36,03 B
		5 tahun	34,91 b	33,56 b	37,26 b	35,24 B
		8 tahun	23,73 a	24,94 a	25,98 a	24,88 A
		Rata-rata	31,72 a	33,13 a	33,91 a	
	bawah	Lahan terbuka	28,00 ef	27,40 ef	26,19 def	27,20 B
		4 tahun	25,00 cdef	29,33 f	26,27 def	26,87 B
		5 tahun	19,24 bc	17,52 b	24,70 cdef	20,49 A
		8 tahun	11,31 a	20,31 bcd	21,82 bcde	17,81 A
		Rata-rata	20,89 a	23,64 b	24,74 b	
Laju transpirasi ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	atas	Lahan terbuka	11,89 bc	11,46 abc	11,87 bc	11,74 B
		4 tahun	11,68 abc	10,74 abc	10,35 abc	10,92 AB
		5 tahun	9,85 ab	8,64 a	10,19 ab	9,56 A
		8 tahun	12,33 bc	10,14 ab	13,51 c	11,99 B
		Rata-rata	11,44a	10,25a	11,48a	
	bawah	Lahan terbuka	12,10 b	11,25 ab	11,39 b	11,58 A
		4 tahun	12,10 b	10,39 ab	10,46 ab	10,98 A
		5 tahun	10,45 ab	8,79 ab	10,15 ab	9,80 A
		8 tahun	11,59 b	6,90 a	10,56 ab	9,68 A
		Rata-rata	11,56 b	9,33 a	10,64 ab	
<i>Intercellular CO₂ concentration</i> ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	atas	Lahan terbuka	314,41 ab	314,73 ab	318,90 ab	316,01 A
		4 tahun	313,62 ab	308,39 a	308,31 a	310,11 A
		5 tahun	304,94 a	313,36 ab	317,22 ab	311,84 A
		8 tahun	357,93 b	297,45 a	339,77 ab	331,72 A
		Rata-rata	322,73 a	308,48 a	321,05 a	
	bawah	Lahan terbuka	333,09 bc	331,23 bc	336,44 bc	333,59 AB
		4 tahun	337,90 bc	321,29 abc	335,93 bc	331,71 AB
		5 tahun	346,11 bc	354,67 bc	341,91 bc	347,56 B
		8 tahun	377,94 c	274,44 a	309,06 ab	320,48 A
		Rata-rata	348,76 b	320,41 a	330,84 ab	
Konduktansi stomata ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	atas	Lahan terbuka	0,94 ab	0,88 a	0,93 ab	0,92 A
		4 tahun	0,96 ab	0,85 a	0,88 a	0,90 A
		5 tahun	0,90 ab	0,86 a	1,19 b	0,98 A
		8 tahun	0,93 ab	0,74 a	0,92 ab	0,86 A
		Rata-rata	0,93 a	0,83 a	0,98 a	
	bawah	Lahan terbuka	0,96 bc	0,87 bc	0,89 bc	0,90 B
		4 tahun	1,00 bc	0,82 bc	0,91 bc	0,91 B
		5 tahun	0,95 bc	0,83 bc	1,15 c	0,98 B
		8 tahun	0,91 bc	0,48 a	0,69 ab	0,80 A
		Rata-rata	0,96 b	0,75 a	0,91 b	

Keterangan : Huruf yang berbeda pada masing-masing baris dan atau kolom dengan karakter yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$)

(3) *Intercellular CO₂ concentration*

Tabel 14 juga menyajikan *intercellular CO₂ concentration* daun kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit dengan penggunaan mulsa reflektif. Berdasarkan hasil analisis statistik umur tanaman kelapa sawit dan penggunaan mulsa reflektif tidak memengaruhi *intercellular CO₂ concentration* kedelai pada daun atas secara signifikan ($p > 0,05$). Sedangkan pada daun kedelai bagian bawah, penggunaan mulsa reflektif anorganik menurunkan *intercellular CO₂ concentration* secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak signifikan pada penggunaan mulsa reflektif organik ($p > 0,05$). Meskipun demikian, secara umum terlihat bahwa pada daun bawah terlihat terjadi penurunan *intercellular CO₂ concentration* kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif, pada kedelai tanpa mulsa $348,76 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, pada mulsa reflektif anorganik $320,41 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, dan mulsa reflektif organik $330,84 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

(4) Konduktansi stomata

Berdasarkan Tabel 14, nilai konduktansi stomata antara daun atas dengan daun bawah secara umum memperlihatkan penurunan dengan penggunaan mulsa reflektif. Pada kelompok daun atas, penggunaan mulsa reflektif tidak signifikan ($p > 0,05$) memengaruhi konduktansi stomata. Rataan nilai konduktansi stomata pada daun atas tanpa penggunaan mulsa reflektif sebesar $0,93 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, dengan mulsa reflektif anorganik sebesar $0,83 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ dan dengan mulsa reflektif organik sebesar $0,98 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Konduktansi stomata pada kelompok daun bagian bawah memperlihatkan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) dengan penggunaan mulsa reflektif. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dapat menurunkan konduktansi stomata secara signifikan dari $0,95 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (tanpa penggunaan mulsa reflektif), menjadi $0,748 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (pada mulsa organik), namun tidak signifikan bila dibandingkan dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dengan nilai konduktansi stomata sebesar $0,912 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Konduktansi stomata menunjukkan tingkat pertukaran CO₂ dan uap air antara lingkungan sekitarnya dan daun bagian dalam (Chowdhury *et al.* 2016). Saat konduktansi stomata rendah, tanaman akan menurunkan laju transpirasi sehingga air yang berada dalam mesofil daun dapat dimanfaatkan secara efisien selama proses fotokimia dari fotosintesis, hal ini akan menekan suhu daun dan transpirasi (June *et al.* 1993). Salah satu mekanisme tanaman beradaptasi dengan lingkungan abiotik adalah respons membuka dan menutupnya stomata atau konduktansi stomata. Stomata berperan sebagai alat untuk lalu-lintas gas (CO₂ dan H₂O) dari luar ke dalam tanaman, dan proses metabolisme berjalan seiring dengan tingkat buka-tutup stomata. Bila metabolisme terhambat maka konduktansi stomata akan menurun bahkan terhenti sama sekali. Pada kondisi mengalami cekaman, konduktansi stomata tanaman menurun (Davies dan Flore 1986), konsekuensinya laju fotosintesis akan menurun (Bertolde *et al.* 2012).

4.4.7 Komponen Hasil

Komponen hasil yang dianalisis terkait produktivitas dan kualitas hasil adalah jumlah polong bernas dan hampa, berat biji 100 butir dan produktivitas per satuan luas lahan (Tabel 15). Jumlah polong bernas kedelai pada lahan tanpa mulsa

reflektif/kontrol adalah 16,03 polong, merupakan yang terendah dibandingkan dengan lahan yang diaplikasikan mulsa reflektif anorganik yaitu 30,43 polong, dan mulsa reflektif organik sebanyak 30,33 polong. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik pada budidaya kedelai di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit secara signifikan ($p < 0,05$) mampu meningkatkan jumlah polong bernasnya hampir 2 kali lipat. Jumlah polong bernas antara kedelai yang menggunakan mulsa reflektif anorganik maupun organik tidak menunjukkan perbedaan yang nyata ($p > 0,05$). Jumlah polong hampa tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik, namun penggunaan mulsa reflektif organik dapat menurunkan jumlah polong hampa secara signifikan ($p < 0,05$) (Tabel 15).

Berat biji 100 butir merupakan salah satu indikator kualitas hasil kedelai. Penggunaan mulsa reflektif organik mampu menghasilkan berat biji 100 butir paling tinggi yaitu 16,57 g, mulsa reflektif anorganik 16,10 g dan terendah adalah pada kontrol hanya 12,70 g (Tabel 15). Berdasarkan analisis statistik, penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan berat biji 100 butir kedelai secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak ada perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) berat biji 100 butir antara penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik. Penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan kualitas kedelai yang dibudidayakan di bawah tegakan perkebunan sawit.

Tabel 15 menyajikan produktivitas kedelai di bawah tegakan kelapa sawit, dengan luas lahan yang telah dikoreksi untuk kebutuhan irigasi/pemeliharaan sebesar 15% untuk lahan terbuka. Sedangkan untuk produktivitas kedelai pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit (umur 4, 5 dan 8 tahun) dikoreksi menggunakan luas lahan efektif yaitu sebesar 51,35%. Analisis luas lahan efektif untuk budidaya kedelai di bawah tegakan lahan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun disajikan pada Lampiran 3.

Penggunaan mulsa reflektif meningkatkan produktivitas kedelai secara signifikan ($p < 0,05$), namun tidak ada perbedaan yang signifikan antara produktivitas kedelai yang menggunakan mulsa reflektif anorganik maupun organik ($p > 0,05$). Produktivitas kedelai masing-masing pada lahan tanpa mulsa, mulsa reflektif anorganik dan organik adalah 1,12 ton ha⁻¹; 1,47 ton ha⁻¹ (meningkat 31,3%) dan 1,55 ton ha⁻¹ (meningkat 38,4%). Berdasarkan lokasi penanaman, radiasi transmisi radiasi surya yang berbeda menyebabkan produktivitas kedelai mengalami penurunan yang signifikan ($p < 0,05$) antara lahan terbuka dengan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun. Produktivitas kedelai pada lahan terbuka, lahan kelapa sawit 4, 5, dan 8 tahun masing-masing adalah 3,35 ton ha⁻¹; 1,30 ton ha⁻¹; 0,76 ton ha⁻¹ dan 0,11 ton ha⁻¹ (Tabel 15).

Tegakan tanaman utama atau naungan tanaman dapat menghambat radiasi surya yang sampai pada tegakan di bawahnya, hal ini menyebabkan radiasi yang diintersepsi berkurang sehingga terjadinya penurunan produksi hijauan karena penurunan persentase bahan kering pada tanaman (Ericksen dan Whitney 1982). Tanaman yang kekurangan cahaya akan mengalami penurunan proses fisiologi sehingga pertumbuhan tanaman menjadi tidak maksimal dan menyebabkan produktivitas tanaman menjadi menurun. Selain itu, pengaruhnya juga berdampak terhadap kandungan kimia yang ada pada produktivitas tanaman (Shehata *et al.* 2013).

Tabel 15 Produksi kedelai pada beberapa jenis mulsa reflektif di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit

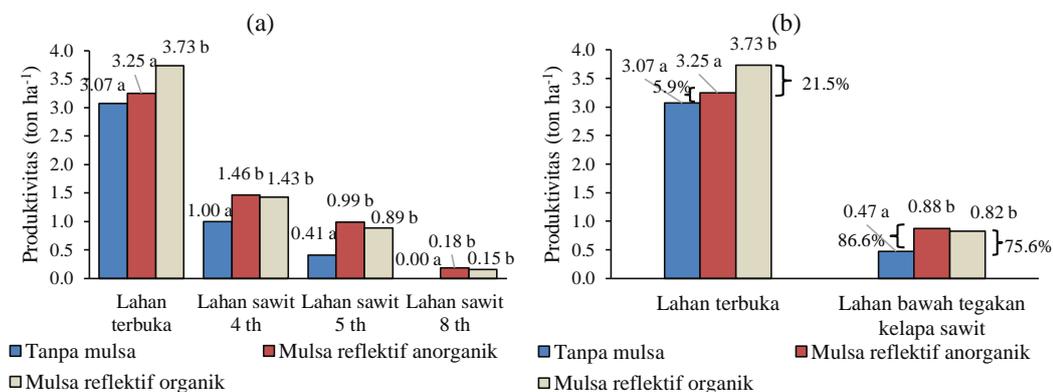
Parameter hasil	Umur tegakan kelapa sawit	Mulsa reflektif			Rata-rata
		Tanpa mulsa	Anorganik	Organik	
Jumlah polong bernas (polong tanaman ⁻¹)	Lahan terbuka	35,00 bc	52,56 cd	58,44 d	48,67 B
	4 tahun	20,78 ab	51,33 cd	43,11 cd	38,41 B
	5 tahun	7,78 a	11,00 a	15,67 ab	11,48 A
	8 tahun	0,56 a	6,82 a	4,11 a	3,83 A
	Rata-rata	16,03 a	30,43 b	30,33 b	
Jumlah polong hampa (polong tanaman ⁻¹)	Lahan terbuka	1,11 a	1,22 a	0,33 a	0,89 A
	4 tahun	1,33 a	1,67 a	1,00 a	1,33 A
	5 tahun	0,22 a	1,00 a	0,22 a	0,48 A
	8 tahun	0,89 a	0,31 a	0,22 a	0,47 A
	Rata-rata	0,89 b	1,05 b	0,44 a	
Berat biji 100 butir (g)	Lahan terbuka	17,53 cd	17,36 cd	17,63 d	17,51 B
	4 tahun	16,84 abc	15,87 abc	17,25 cd	16,66 B
	5 tahun	16,41 abc	17,29 cd	16,95 abc	16,88 B
	8 tahun	0,00 a	13,87 b	14,44 bc	9,44 A
	Rata-rata	12,70 a	16,00 b	16,57 b	
Produktivitas* (ton ha ⁻¹)	Lahan terbuka	3,07 d	3,25 d	3,73 d	3,35 D
	4 tahun	1,00 bc	1,46 c	1,43 c	1,30 C
	5 tahun	0,41 ab	0,99 bc	0,89 bc	0,76 B
	8 tahun	0,00 a	0,18 ab	0,15 ab	0,11 A
	Rata-rata	1,12 a	1,47 b	1,55 b	

Keterangan :

- Produktivitas*: produktivitas kedelai berdasarkan luas lahan yang telah dikoreksi untuk irigasi (15%) untuk lahan terbuka, dan dikoreksi dengan luas lahan efektif 51,35% untuk lahan di bawah tegakan perkebunan kelapa sawit (umur 4, 5 dan 8 tahun).
- Huruf yang berbeda pada masing-masing baris dan atau kolom dengan karakter yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan uji DMRT ($p < 0,05$)

Gambar 38a memperlihatkan kecenderungan produktivitas kedelai yang mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya umur tegakan kelapa sawit. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan produktivitas dengan signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan tanpa mulsa reflektif. Gambar 38b menyajikan perbandingan produktivitas kedelai pada lahan terbuka dengan produktivitas rata-rata kedelai di bawah tegakan kelapa sawit. Produktivitas kedelai pada lahan terbuka mengalami peningkatan sebesar 5,9% pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 21,5% pada penggunaan mulsa reflektif organik. Produktivitas kedelai pada lahan terbuka menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan ($p > 0,05$) antara kontrol/tanpa mulsa reflektif dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik, namun terdapat perbedaan yang signifikan ($p < 0,05$) pada penggunaan mulsa reflektif organik. Di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik mampu meningkat produktivitas kedelai rata-rata sebesar 86,8% dan pada penggunaan mulsa reflektif organik 75,6% dibandingkan tanpa mulsa/kontrol. Hasil uji statistik memperlihatkan bahwa penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik secara signifikan meningkatkan produktivitas kedelai, namun tidak ada

perbedaan yang signifikan ($p>0,05$) produktivitas antara penggunaan mulsa reflektif anorganik dengan organik. Menurut Mubarak *et al.* (2018), penggunaan mulsa reflektif anorganik pada lahan terbuka mampu meningkatkan produktivitas kedelai sebesar 17-34% dan di bawah naungan 50% meningkat sebesar 33-39%.



Gambar 38 Produktivitas kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif di bawah tegakan kelapa sawit (a), dan perbandingan produktivitas kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada lahan terbuka dengan di bawah tegakan kelapa sawit (b)

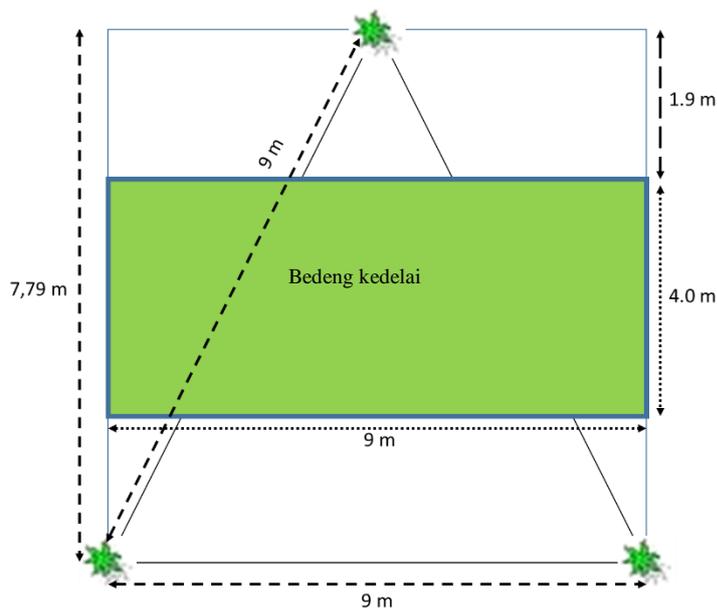
4.5 Analisis Produktivitas Lahan dan Kelayakan Nilai Ekonomi Sistem Tanam Sela Kelapa Sawit-Kedelai

Analisis produktivitas lahan dan kelayakan nilai ekonomi akan diawali dengan menghitung luas lahan efektif yang digunakan pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai.

4.5.1 Lahan efektif

Budidaya tanaman di bawah tegakan tanaman utama mengakibatkan tidak seluruh lahan dapat dimanfaatkan untuk tanaman sela. Hal ini juga terjadi pada budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit atau sistem tanam sela kedelai kelapa sawit. Areal lahan kelapa sawit yang tidak dapat digunakan secara keseluruhan karena akan mengganggu aktivitas pemeliharaan seperti pemupukan, dan pemanenan bagi tanaman yang sudah menghasilkan. Pada areal perkebunan kelapa sawit, dengan semakin meningkatnya umur maka lahan efektif yang dapat dimanfaatkan akan semakin kecil karena kebutuhan lahan akan pemeliharaan atau pemanenan yang semakin besar. Selain itu, penggunaan lahan untuk tanaman sela yang terlalu dekat dengan pangkal batang kelapa sawit dikhawatirkan akan mengganggu sistem perakaran tanaman utama serta rusaknya tanaman sela akibat aktifitas perkebunan. Pada penelitian ini menggunakan jarak batang kelapa sawit dengan bedengan kedelai adalah 1,9 m (Gambar 39). Hasil analisis lahan efektif untuk budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit adalah 51,35%, artinya dalam 1 hektar (10.000 m^2) luasan perkebunan kelapa sawit, lahan efektif untuk budidaya kedelai sekitar 5135 m^2 . Luas lahan efektif pada suatu perkebunan kelapa sifatnya dinamis atau dapat ditingkatkan terutama pada umur tanaman kelapa sawit

muda seperti umur 1, 2 atau 3 tahun. Perhitungan luas lahan efektif disajikan pada Lampiran 3.



Gambar 39 Ilustrasi lahan efektif

Tabel 16 menyajikan simulasi perubahan luas lahan efektif terhadap produktivitas kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit pada umur 1, 2 dan 3 tahun. Penelitian ini menggunakan lahan efektif 51,35%, dengan produktivitas kedelai yang di tanam di bawah kelapa sawit 4, 5 dan 8 tahun masing-masing adalah 1,30 ton ha⁻¹; 0,76 ton ha⁻¹ dan 0,11 ton ha⁻¹. Model simulasi yang disajikan pada Tabel 16 merupakan pendugaan produktivitas kedelai berdasarkan perubahan persentase lahan efektif pada suatu areal perkebunan kelapa sawit dengan mengasumsikan faktor produksi lainnya adalah seragam. Berdasarkan hal tersebut dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana maka dapat diduga produktivitas kedelai bila ditanam di bawah tegakan kelapa sawit 1, 2 dan 3 tahun. Selain itu juga dapat disimulasi dampak peningkatan atau penurunan lahan efektif terhadap produktivitas kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit umur 1, 2 dan 3 tahun. Bila areal yang tidak ditanami tanaman sela hanya dipiringan kelapa sawit, maka lahan efektif maksimum yang dapat ditanami kedelai untuk kelapa sawit umur <1 tahun mencapai 97% (asumsi r=75 cm), sedangkan pada umur kelapa sawit >3 tahun adalah 82% (asumsi r = 200 cm). Persentase luas lahan efektif yang terlalu tinggi akan menyulitkan pemeliharaan tanaman kelapa sawit. Dengan lahan efektif 51,35% untuk tanaman kelapa sawit >3 tahun akan memberikan keleluasaan untuk pemeliharaan kebun karena jalan atau jarak antar bedeng sekitar 3,8 meter.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tabel 16 Simulasi produktivitas kedelai di bawah tegakan berdasarkan luas lahan efektif dan umur kelapa sawit

Lebar bedeng (m)	Lahan efektif (%)	**Produktivitas kedelai di bawah tegakan kelapa sawit (ton ha ⁻¹)			Pendugaan produktivitas kedelai di bawah tegakan kelapa sawit (ton ha ⁻¹)			
		4 tahun	5 tahun	8 tahun	Model pendugaan	1 tahun	2 tahun	3 tahun
2,5	32,09	0,81	0,47	0,07	$y = -0,1737x + 1,4366$	1,26	1,09	0,92
3,0	38,51	0,97	0,57	0,08	$y = -0,2084x + 1,724$	1,52	1,31	1,10
3,5	44,93	1,14	0,66	0,10	$y = -0,2431x + 2,0113$	1,77	1,53	1,28
*4,0	51,35	1,30	0,76	0,11	$y = -0,2779x + 2,2986$	2,02	1,74	1,46
4,5	57,77	1,46	0,85	0,13	$y = -0,3126x + 2,5859$	2,27	1,96	1,65
5,0	64,18	1,62	0,95	0,14	$y = -0,3473x + 2,8733$	2,53	2,18	1,83
5,5	70,60	1,79	1,04	0,16	$y = -0,3821x + 3,1606$	2,78	2,40	2,01

Keterangan:

* Ukuran lebar bedeng yang diuji.

** Faktor-faktor di luar luas lahan efektif diasumsikan tidak berbeda.

4.5.2 Efisiensi penggunaan lahan

Efisiensi penggunaan lahan dianalisis menggunakan nilai nisbah kesetaraan lahan (NKL) atau *land equivalent ratio* (LER). Hasil analisis LER pada sistem pertanaman monokultur dan tanam sela kelapa sawit-kedelai disajikan pada Tabel 17. Produksi kedelai yang dianalisis adalah berat kering biji kedelai pada saat panen, sedangkan hasil produksi kelapa sawit adalah rata-rata berat tandan buah segar (TBS) per pohon sebelum budidaya kedelai dan setelah budidaya kedelai. Produksi TBS sebelum ditanami kedelai digunakan sebagai produksi sistem monokultur dan produksi TBS setelah tanam sebagai produksi sistem tanam sela.

Tabel 17 memperlihatkan bahwa sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai mampu meningkatkan LER. Peningkatan LER tertinggi terdapat pada lahan kelapa sawit umur 4 tahun yang ditanam sela dengan kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dengan LER 2,0; kemudian tertinggi kedua dan ketiga juga pada lahan yang sama namun pada perlakuan mulsa reflektif organik dan tanpa mulsa masing-masing adalah 1,9 dan 1,8. Pola yang sama juga terjadi pada lahan kelapa sawit 5 dan 8 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi mulsa reflektif dalam memperbaiki kualitas iklim mikro berperan dalam meningkatkan nilai LER. Nilai LER pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai tertinggi terdapat pada lahan dengan umur kelapa sawit 4 tahun, kemudian memperlihatkan penurunan dengan semakin bertambahnya umur kelapa sawit, hal ini disebabkan produksi tanaman sela/kedelai mengalami penurunan dengan semakin meningkatnya umur kelapa sawit, meskipun produksi kelapa sawit akan terus mengalami peningkatan dengan bertambahnya umur.

Sistem tanam sela kedelai dengan kelapa sawit pada kajian ini memperlihatkan nilai LER >1, hal ini mengindikasikan bahwa sistem tanam sela baik kelompok umur kelapa sawit 4, 5 maupun 8 tahun mampu meningkatkan produktivitas lahan per satuan luas lahan. Meskipun demikian, khusus untuk lahan di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun tidak direkomendasikan karena nilai LER tertinggi hanya 1,2; sedangkan pada lahan 4 dan 5 tahun sangat

direkomendasikan sistem pertanaman tanam sela tersebut dengan penggunaan mulsa reflektif. Penggunaan sistem tanam sela akan lebih efisien dalam pemanfaatan lahan dibanding dengan monokultur, namun perlu diperhatikan untuk memilih tanaman sela agar tidak mengganggu tanaman utama. Pemilihan kombinasi dan tanaman yang tepat akan menciptakan simbiosis mutualisme antar tanaman akan meningkatkan produktivitas lahan (Ceunfin *et al.* 2017). Simbiosis ini berhubungan erat dengan pemenuhan kebutuhan nitrogen bagi tanaman utama oleh tanaman sela yang mampu memfiksasi nitrogen dari atmosfer, sebaliknya tanaman sela mempunyai toleransi terhadap naungan agar dapat hidup di bawah legakan (Ceunfin *et al.* 2017).

Tabel 17 Land equivalent ratio (LER)

	Tanam sela (<i>intercropping</i>)	*Berat TBS (ton ha ⁻¹)	Hasil kedelai (ton ha ⁻¹)	LER
1	Kedelai monokultur (lahan terbuka + tanpa mulsa)	-	3,07	1
2	Kedelai monokultur (lahan terbuka + reflektif anorganik)	-	3,25	1
3	Kedelai monokultur (lahan terbuka + reflektif organik)	-	3,73	1
4	Kelapa sawit monokultur 4 tahun	6,53	-	1
5	Kelapa sawit monokultur 5 tahun	9,75	-	1
6	Kelapa sawit monokultur 8 tahun	12,78	-	1
7	KS 4 tahun + kedelai + tanpa mulsa	9,85	1,00	1,8
8	KS 4 tahun + kedelai + reflektif anorganik	9,85	1,46	2,0
9	KS 4 tahun + kedelai + reflektif organik	9,85	1,43	1,9
10	KS 5 tahun + kedelai + tanpa mulsa	13,41	0,41	1,5
11	KS 5 tahun + kedelai + reflektif anorganik	13,41	0,99	1,7
12	KS 5 tahun + kedelai + reflektif organik	13,41	0,89	1,6
13	KS 8 tahun + kedelai + tanpa mulsa	14,61	0,00	1,1
14	KS 8 tahun + kedelai + reflektif anorganik	14,61	0,18	1,2
15	KS 8 tahun + kedelai + reflektif organik	14,61	0,15	1,2

Keterangan: TBS adalah tandan buah segar, KS adalah kelapa sawit

4.5.3 Kelayakan nilai ekonomi sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai

Analisis kelayakan nilai ekonomi sistem tanam sela kedelai kelapa sawit didekati berdasarkan pendapatan, pengeluaran dan nilai rasio R/C. Perhitungan analisis tersebut disajikan pada Lampiran 4, 5, 6 dan 7. Tabel 18 memperlihatkan pendapatan hasil budidaya kelapa sawit dan kedelai secara monokultur dan tanam sela. Pendapatan tertinggi selama 4 bulan atau satu musim tanam (MT) kedelai adalah pada sistem budidaya monokultur kedelai dengan pendapatan Rp20.379.985,43 MT⁻¹ ha⁻¹, selanjutnya adalah pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun dengan menggunakan mulsa reflektif organik dengan pendapatan Rp17.067.563,04 MT⁻¹ ha⁻¹ kemudian diikuti oleh sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit 4 tahun sebesar Rp16.882.639,23 MT⁻¹ ha⁻¹. Sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun, baik yang tanpa mulsa maupun menggunakan mulsa reflektif mendapatkan pendapatan yang lebih besar dibandingkan pada sistem monokultur. Sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

umur 8 tahun memperoleh pendapatan yang lebih rendah dibandingkan pada sistem kelapa sawit monokultur umur 8 tahun.

Berdasarkan Tabel 18 diketahui bahwa pendapatan dari sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai lebih tinggi dari sistem monokultur kelapa sawit khusus untuk umur kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun terutama pada penggunaan mulsa reflektif organik. Dengan demikian bila ditinjau dari pendapatan, untuk kelapa sawit umur >5 tahun tidak dianjurkan menerapkan sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai karena pendapatan yang diperoleh akan lebih rendah dibandingkan sistem monokulturnya.

Tabel 18 Rekapitulasi pendapatan sistem monokultur kelapa sawit, kedelai dan tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada satu musim tanam per hektar

No	Sistem budidaya	Pendapatan tunai (Rp. MT ⁻¹ ha ⁻¹)		
		Tanpa mulsa	Mulsa reflektif anorganik	Mulsa reflektif organik
1	Monokultur KS 4 tahun	7.158.391,01		
2	Monokultur KS 5 tahun	11.499.158,73		
3	Monokultur KS 8 tahun	15.578.157,59		
4	Monokultur kedelai	15.258.119,15	11.507.158,49	20.379.985,43
5	Sela kedelai + KS 4 tahun	13.721.240,52	14.705.867,19	16.882.639,23
6	Sela kedelai + KS 5 tahun	13.489.611,83	15.435.672,76	17.067.563,04
7	Sela kedelai + KS 8 tahun	<i>11.633.238,35</i>	<i>10.200.942,32</i>	<i>12.443.365,29</i>

Keterangan :

- MT adalah musim tanam, KS adalah kelapa sawit, asumsi harga kedelai adalah Rp8500,00/kg dan kelapa sawit Rp1350,00/kg
- Angka cetak *bold* adalah pendapatan sistem tanam sela > monokultur kelapa sawit
- Angka cetak *italic* adalah pendapatan sistem tanam sela < monokultur kelapa sawit

Kelayakan usaha tani dianalisis menggunakan nisbah *total revenue* (penerimaan total) dengan *total cost* (biaya total) atau dikenal dengan rasio R/C. Berdasarkan Tabel 19 nilai rasio R/C tertinggi terdapat pada sistem budidaya monokultur kelapa sawit yaitu antara 5,3-10,3. Pada sistem budidaya tanam sela kedelai dengan kelapa sawit nilai rasio R/C tertinggi terdapat pada budidaya kedelai dengan mulsa organik di bawah tegakan kelapa sawit 4 tahun dan 5 tahun dengan nilai rasio R/C 3,0. Penggunaan mulsa reflektif anorganik tidak disarankan karena nilai rasio R/C lebih rendah dibandingkan dengan lahan kontrol atau tanpa mulsa. Tingginya nilai rasio R/C pada sistem monokultur kelapa sawit disebabkan oleh jumlah pengeluaran/belanja yang rendah, misalnya hanya untuk biaya pekerja, pemeliharaan fisik, pupuk, herbisida dan pestisida. Sedangkan pada sistem budidaya tanam sela kelapa sawit-kedelai, selain biaya yang disebutkan di atas (kecuali herbisida) juga terdapat pengeluaran tambahan untuk budidaya kedelai (sarana produksi) seperti biaya olah tanah, benih, pupuk, mulsa reflektif, dan lain sebagainya yang menyebabkan pengeluaran menjadi lebih besar.

Berdasarkan Tabel 19 hasil analisis nilai rasio R/C nilainya >1, baik pada sistem monokultur atau tanam sela, hal ini mengindikasikan bahwa kedua sistem budidaya tersebut adalah menguntungkan. Meskipun demikian perlu diketahui bahwa sistem budidaya yang paling menguntungkan secara ekonomi adalah yang

mempunyai nilai rasio R/C yang tertinggi. Sistem monokultur kelapa sawit pada umur 8 tahun dengan rasio R/C 10,3 adalah sistem budidaya yang paling menguntungkan dibandingkan dengan sistem budidaya dan umur kelapa sawit lainnya.

Tabel 19 Nilai rasio R/C sistem monokultur kelapa sawit, kedelai dan tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif pada satu musim tanam per hektar

No	Sistem budidaya	Nilai rasio R/C		
		Tanpa mulsa	Mulsa reflektif anorganik	Mulsa reflektif organik
1	Monokultur KS 4 tahun	5,3	-	-
2	Monokultur KS 5 tahun	7,9	-	-
3	Monokultur KS 8 tahun	10,3	-	-
4	Monokultur kedelai	2,4	1,7	2,8
5	Sela kedelai + KS 4 tahun	2,7	2,3	3,0
6	Sela kedelai + KS 5 tahun	2,7	2,4	3,0
7	Sela kedelai + KS 8 tahun	2,4	1,9	2,4

Keterangan : KS adalah kelapa sawit

Hak Cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

V PEMBAHASAN UMUM

5.1 Peran Mulsa Reflektif Terhadap Iklim Mikro

Modifikasi iklim mikro pada sistem tanaman budidaya merupakan upaya menciptakan kondisi lingkungan fisik yang kondusif di sekitar tanaman (atas dan bawah permukaan) agar pertumbuhan, perkembangan dan produksinya optimum. Introduksi mulsa reflektif pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai telah mengubah kondisi lingkungan fisik sekitar tanaman kedelai. Mulsa reflektif mempunyai kemampuan merefleksikan radiasi surya yang sampai ke permukaannya dengan lebih baik karena albedonya yang lebih tinggi dari permukaan tanah. Hal ini menyebabkan intensitas refleksi radiasi surya di bawah tegakan meningkat signifikan dibandingkan dengan lahan tanpa mulsa. Penggunaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya mencapai 169% pada mulsa reflektif anorganik dan 59% pada mulsa reflektif organik dibandingkan dengan kontrol. Mulsa reflektif anorganik mempunyai kemampuan refleksi yang lebih tinggi karena materialnya memiliki nilai albedo ($\alpha=49\%$) yang lebih tinggi dibandingkan dengan material mulsa reflektif organik ($\alpha=29\%$) (Hidayat *et al.* 2019).

Penggunaan mulsa reflektif telah mengubah kondisi iklim mikro disekitar pertanaman kedelai, diantaranya adalah terjadinya penurunan suhu tanah terutama pada siang hari dan memperkecil fluktuasi suhu tanah antar kedalaman. Mulsa reflektif organik mempunyai peran yang lebih besar dalam menurunkan suhu tanah yang tinggi pada siang hari dibanding mulsa reflektif anorganik. Suhu tanah rata-rata siang hari yang menggunakan mulsa reflektif organik turun secara signifikan ($p>0,05$) yaitu dari 29,8 °C menjadi 28,5 °C, sehingga dapat mengurangi cekaman suhu tinggi lingkungan. Fluktuasi suhu tanah berkurang antar kedalaman 5 cm dan 10 cm, pada kontrol 21,9 °C-25,1 °C (3,2 °C), mulsa reflektif anorganik 24,3 °C-25,5 °C (1,2 °C), dan mulsa reflektif organik 24,4 °C-24,7 °C (0,3 °C). Fluktuasi suhu tanah yang rendah akan menciptakan suasana yang kondusif terhadap fase awal perkecambahan dan pertumbuhan tanaman. Mulsa reflektif akan mengurangi energi radiasi surya yang sampai ke permukaan yang dapat meningkatkan suhu tanah serta memperkecil fluktuasi suhu tanah antar kedalaman.

Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu mempertahankan kelembaban tanah yang lebih tinggi baik pada lahan terbuka maupun di bawah tegakan kelapa sawit. Hal ini disebabkan oleh mulsa reflektif dapat mengurangi energi radiasi yang sampai ke permukaan tanah sehingga menekan proses evaporasi air dari permukaan tanah ke atmosfer. Persentase ketersediaan air rata-rata pada lahan terbuka pada lahan tanpa mulsa 29%, sedangkan pada lahan dengan mulsa reflektif mencapai 40%. Di bawah tegakan kelapa sawit kelembaban tanah lebih tinggi dari lahan terbuka, yaitu 42% pada lahan tanpa mulsa dan rata-rata 46% dengan penggunaan mulsa reflektif. Namun perlu diperhatikan, pada lahan dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik pada kondisi curah hujan rendah dan waktu yang singkat tidak mampu meningkatkan kelembaban tanah dengan baik karena sulitnya air masuk ke bawah mulsa tersebut. Kondisi seperti ini tidak terjadi pada penggunaan mulsa reflektif organik yang memiliki celah infiltrasi untuk masuknya air hujan yang lebih baik. Kelembaban tanah di bawah tegakan kelapa sawit lebih

tinggi dibandingkan lahan terbuka disebabkan oleh rendahnya intensitas radiasi surya di bawah tegakan, kelembaban udara tinggi, dan kecepatan angin yang rendah sehingga proses evaporasi terhambat. Penggunaan mulsa reflektif selain meningkatkan radiasi surya refleksi dari permukaan lahan yang menyebabkan iklim mikronya berubah, juga memengaruhi iklim mikro tanah yang berdampak signifikan terhadap perkembangan akar tanaman, menekan evaporasi dan gulma (Humaerah 2002; Odjugo 2008; Cambaba 2011).

Peningkatan intensitas refleksi radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit pada pertanaman kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif akan meningkatkan intersepsi dan efisiensi radiasi surya kedelai. Intersepsi radiasi surya pada suatu tegakan dipengaruhi oleh besarnya intensitas radiasi surya yang sampai dan ILD tegakan. Jumlah radiasi surya yang diintersepsi tanaman ditentukan oleh besarnya intensitas radiasi surya yang mencapai permukaan tanaman, teknik budidaya dan jenis tanaman (Koesmaryono dan Sabaruddin 2005). Pada lahan terbuka penggunaan mulsa reflektif meningkatkan intersepsi radiasi surya dari 104,65 MJ m⁻² menjadi 145,67 MJ m⁻² (39,2%) pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan pada mulsa reflektif organik menjadi 119,45 MJ m⁻² (14,1%). Lahan di bawah tegakan kelapa sawit, penggunaan mulsa reflektif anorganik meningkat dari 29,33 MJ m⁻² menjadi 38,19 MJ m⁻² (33,2%) dan 36,96 MJ m⁻² (21,4%) pada penggunaan mulsa reflektif organik.

Peningkatan intersepsi radiasi surya pada pertanaman kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif juga berdampak pada peningkatan efisiensi radiasi surya. Efisiensi radiasi surya (RUE) pertanaman kedelai merupakan fungsi dari intersepsi radiasi surya dan biomasnya. RUE kedelai pada lahan terbuka sebesar 1,48 g MJ⁻¹, kemudian di bawah tegakan kelapa sawit 4, 5 dan 8 tahun masing-masing 2,54 g MJ⁻¹; 2,21 g MJ⁻¹ dan 1,75 g MJ⁻¹ (Gambar 29a). Berdasarkan analisis tersebut, nilai RUE meningkat dengan semakin berkurangnya radiasi surya yang sampai ke tegakan kedelai akibat meningkatnya umur kelapa sawit (naungan meningkat), namun pada intensitas radiasi surya yang sangat rendah (kelapa sawit umur 8 tahun), nilai RUE akan turun drastis. Hal ini disebabkan pada kondisi naungan rendah kedelai beradaptasi dan mengefisienkan penggunaan radiasi surya, namun pada kondisi radiasi yang ekstrim hal tersebut tidak dapat dilakukan. Penggunaan mulsa reflektif berpengaruh positif terhadap meningkatnya nilai RUE kedelai di bawah tegakan kelapa sawit. RUE kedelai tertinggi terdapat pada penggunaan mulsa reflektif anorganik yaitu 2,24 g MJ⁻¹, kemudian pada mulsa reflektif organik 1,85 g MJ⁻¹, dan yang terendah pada pertanaman kedelai tanpa mulsa reflektif 1,55 g MJ⁻¹ (Gambar 29b).

Analisis radiasi surya pada tegakan kedelai yang ditanam di bawah tegakan kelapa sawit didekati dengan intersepsi radiasi surya dan efisiensi penggunaan radiasi surya. Penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik secara konsisten meningkatkan intersepsi radiasi surya oleh tegakan kedelai baik pada lahan terbuka maupun di bawah tegakan kelapa sawit umur 4, 5 dan 8 tahun. Pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun mempunyai nilai intersepsi radiasi surya tertinggi dibandingkan dengan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 5 dan 8 tahun baik pada lahan tanpa mulsa maupun pada lahan dengan mulsa reflektif. Intersepsi radiasi surya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun pada lahan tanpa mulsa sebesar 45,8 MJ m⁻² minggu⁻¹, dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik 60,9 MJ m⁻² minggu⁻¹ dan dengan mulsa organik 55,5 MJ m⁻²

minggu⁻¹. Hasil analisis terhadap efisiensi penggunaan radiasi surya (RUE) kedelai di bawah tegakan kelapa sawit juga memperlihatkan bahwa kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun mempunyai nilai RUE lebih tinggi (2,54 g MJ⁻¹) dibandingkan dengan RUE kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 5 dan 8 tahun. Dan berdasarkan hasil penelitian ini juga memperlihatkan bahwa RUE kedelai mengalami peningkatan dengan penggunaan mulsa reflektif yaitu dari 1,55 g MJ⁻¹ pada lahan tanpa mulsa menjadi 2,24 g MJ⁻¹ pada penggunaan mulsa reflektif anorganik dan 1,85 g MJ⁻¹ dengan mulsa reflektif organik. Berdasarkan kedua hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik merupakan yang paling optimal memanfaatkan radiasi surya sehingga akan berkontribusi dengan baik terhadap pertumbuhan, perkembangan dan produksi kedelai.

Menurut Mubarak (2018), penggunaan mulsa mampu meningkatkan RUE kedelai baik pada kondisi lahan terbuka maupun pada lahan yang ternaungi, pada kondisi ternaungi 50%, RUE kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar 1,97 g MJ⁻¹. Nilai RUE rata-rata kedelai adalah 1,44 g MJ⁻¹ (Singer *et al.* 2011); 1,46-1,89 g MJ⁻¹ (Roekel dan Purcell 2014) dan 1,31 g MJ⁻¹ PAR (Adeboye *et al.* 2016). Nilai RUE di pengaruhi oleh radiasi intersepsi PAR dan biomassa yang juga ditentukan oleh jumlah populasi dan jarak tanam (Liu *et al.* 2017; Wang *et al.* 2015) serta jenis kultivar kedelai yang digunakan (Schneider *et al.* 2016).

5.2 Respons Kedelai dengan Penggunaan Mulsa Reflektif

Kedelai sebagai salah satu tanaman C3 merespon terhadap cekaman cahaya rendah (naungan) dalam bentuk perubahan karakteristik morfologis, kandungan klorofil dan karakteristik fotosintesis (Gong *et al.* 2014; Su *et al.* 2014; Yang *et al.* 2014). Berikut adalah beberapa parameter karakteristik morfofisiologis kedelai berpengaruh dengan penggunaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela-kelapa sawit, diantaranya luas daun, berat daun spesifik, kerapatan stomata dan lebar stomata, klorofil A, B dan A/B, laju fotosintesis, laju transpirasi, *intercellular CO₂ concentration*, konduktansi stomata kedelai.

Hasil studi memperlihatkan bahwa penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan luas dan tebal daun, kerapatan dan lebar stomata secara signifikan ($p < 0,05$). Luas daun (cm² tanaman⁻¹), kerapatan stomata dan lebar stomata meningkat dengan penggunaan mulsa reflektif organik, peningkatan terbesar terjadi pada penggunaan mulsa reflektif anorganik kemudian mulsa reflektif organik. Peningkatan luas daun kedelai ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi distribusi radiasi surya di sekitar tegakan menyebabkan peningkatan kualitas morfologis kedelai di bawah tegakan kelapa sawit. Pengaruh naungan tegakan kelapa sawit juga sangat terlihat pada umur kelapa sawit >5 tahun (naungan tertinggi) terutama pada luas daun, kerapatan stomata dan lebar stomata yang mengalami penurunan terbesar. Oleh karena itu, kelapa sawit umur >5 tahun tidak efektif lagi untuk ditanami kedelai sebagai tanaman sela karena akan menyebabkan penurunan kualitas morfologis kedelai yang akan berdampak pada performans yang pada akhirnya akan menurunkan produktivitas kedelai. Penurunan kualitas morfologis tersebut merupakan respon tanaman kedelai terhadap intensitas cahaya yang rendah di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun akibat persentase naungan yang tinggi



menyebabkan daunnya menjadi lebih tipis. Pantilu *et al.* (2012) menyatakan bahwa kedelai mampu beradaptasi dengan lingkungan pada kondisi radiasi surya rendah melalui peningkatan panjang dan lebar stomata guna meningkatkan laju fotosintesis. Sebaliknya, kerapatan stomata akan semakin rendah pada kondisi radiasi rendah atau berada di bawah naungan (Allen *et al.* 1975; Buttery *et al.* 1992; Morais *et al.* 2004). Studi ini menunjukkan bahwa kerapatan stomata dapat ditingkatkan secara signifikan melalui penggunaan mulsa reflektif.

Penggunaan mulsa reflektif organik menyebabkan penurunan kandungan klorofil A dan B pada daun kedelai secara signifikan ($p < 0,05$), sedangkan rasio A/B tidak mengalami perubahan dibandingkan kontrol atau tanpa mulsa reflektif (Gambar 37b). Meskipun kandungan klorofil A dan B pada daun kedelai mengalami penurunan akibat penggunaan mulsa reflektif, namun laju fotosintesis pada tanaman kedelai mengalami peningkatan khususnya pada kelompok daun bagian bawah. Sedangkan pada kelompok daun bagian atas, laju fotosintesis tidak berbeda dibandingkan kontrol. Daun bagian bawah kedelai lebih dominan memanfaatkan intensitas radiasi surya yang dihasilkan oleh mulsa reflektif, sedangkan daun bagian atas lebih banyak memanfaatkan intensitas radiasi global (dari atas). Intensitas refleksi radiasi surya dari mulsa reflektif semakin kecil dengan semakin jauh dari permukaannya (Hidayat *et al.* 2019), hal ini menyebabkan daun kedelai di bagian kurang efektif terhadap penggunaan mulsa reflektif, selain itu juga terhalang oleh daun-daun bawah.

Hasil studi ini memperlihatkan bahwa peningkatan kandungan klorofil tidak selalu disertai dengan peningkatan laju fotosintesis. Hasil yang sama juga dilaporkan oleh beberapa studi sebelumnya yang dilakukan oleh Su *et al.* (2014), Yao *et al.* (2017), Yang *et al.* (2018) dan Fan *et al.* (2019). Namun, beberapa studi lainnya menunjukkan hasil yang kontradiksi. Korelasi positif terdapat antara kandungan klorofil dengan laju fotosintesis (Marchiori *et al.* 2014; Khalid *et al.* 2019). Antar peneliti masih memperlihatkan hasil yang kontradiksi terkait kandungan klorofil tanaman kedelai yang berada di bawah naungan. Studi tahap awal membuktikan bahwa penggunaan mulsa reflektif juga mampu memperbaiki kualitas lingkungan fisik menjadi lebih baik seperti suhu dan kadar air tanah yang lebih kondusif bagi pertumbuhan tanaman kedelai (Hidayat *et al.* 2020).

Kandungan klorofil A dan B kedelai semakin meningkat seiring bertambahnya umur kelapa sawit (hingga umur 5 tahun), namun menurun secara signifikan ($p < 0,05$) pada kedelai yang ditanam dibawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun (Gambar 37a). Di bawah tegakan kelapa sawit umur 8 tahun transmisi radiasi surya yang sampai ke permukaan sangat rendah yaitu sekitar 25,10% akibat naungan yang besar (74,9%). Peningkatan klorofil B mengakibatkan kandungan klorofil A/B menurun seiring bertambahnya umur kelapa sawit. Peningkatan kandungan klorofil A dan B pada kedelai di bawah tegakan kelapa sawit disertai dengan penurunan laju fotosintesis. Hal ini diduga akibat PAR yang rendah (Song dan Li 2016; Fan *et al.* 2019), perubahan kemampuan kedelai untuk menangkap dan menggunakan radiasi surya (Zhang *et al.* 2016), peningkatan kadar protein yang berhubungan dengan proses pembentukan klorofil (Fan *et al.* 2019) sehingga meningkatkan jumlah klorofil per unit luas daun (Sulistyowati *et al.* 2016), dan defisiensi energi untuk proses asimilasi karbon pada reaksi gelap (Su *et al.* 2014). Sebaran klorofil dipengaruhi oleh radiasi yang mengenai daun, adanya radiasi yang sampai pada bagian bawah daun menyebabkan translokasi klorofil ke bagian

tersebut sehingga penyerapan cahaya untuk proses fotosintesis menjadi lebih meningkat (June 2002). Fan *et al.* (2019) juga melaporkan bahwa tanaman kedelai yang ditanam di bawah naungan mengalami peningkatan efisiensi penangkapan cahaya pada PSII, namun menurunkan kemampuan transpor elektron dari PSII menuju PSI.

Laju fotosintesis pada tanaman yang tumbuh di bawah naungan lebih rendah dibandingkan pada tanaman yang berkembang dalam kondisi cahaya normal (Marchiori *et al.* 2014), namun pemanfaatan mulsa reflektif dapat mengurangi permasalahan rendahnya intensitas radiasi surya di bawah naungan. Radiasi surya diketahui berperan penting terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Fiorucci dan Fankhauser 2017). Laju fotosintesis tanaman termasuk kedelai akan meningkat seiring peningkatan ILD, intersepsi dan efisiensi penggunaan radiasi surya (Nagasuga 2019), dan hal ini terbukti pada studi ini. Penggunaan mulsa reflektif juga berdampak pada perubahan karakteristik fotosintesis lainnya yaitu laju transpirasi, *intercellular CO₂ concentration*, dan konduktansi stomata. Ketiga variabel tersebut memiliki pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terutama pada daun bagian bawah pada penggunaan mulsa reflektif anorganik. Hasil ini didukung oleh studi yang dilakukan oleh Khalid *et al.* (2019) yang memperlihatkan bahwa naungan/cahaya rendah dan tahapan perkembangan tanaman memengaruhi laju transpirasi secara signifikan. *Intercellular CO₂ concentration* mengindikasikan ketersediaan CO₂ untuk proses asimilasi (Tominaga *et al.* 2018). Penurunan *intercellular CO₂ concentration* dapat mengakibatkan proses fotosintesis terhambat sehingga akan mengurangi produksi dari tanaman (Kelly *et al.* 2016). Pada kondisi mengalami cekaman, konduktansi stomata tanaman menurun (Davies dan Flore 1986) dan konsekuensinya laju fotosintesis dan transpirasi juga akan menurun (Nagy dan Galiba 1995; Bertolde *et al.* 2012). Karakteristik fotosintesis terutama laju fotosintesis dan konduktansi stomata yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan nilai yang dilaporkan oleh Mubarak *et al.* (2017). Tingginya nilai tersebut diduga akibat perbedaan nilai PAR yang digunakan. Namun demikian, nilai karakteristik fotosintesis yang diperoleh pada penelitian ini masih berada pada kisaran yang dilaporkan oleh Evans dan Santiago (2014).

Penggunaan mulsa reflektif dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas produksi kedelai. Produktivitas kedelai meningkat dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar 31,3% (1,47 ton ha⁻¹) dan 38,4% (1,55 ton ha⁻¹) pada penggunaan mulsa reflektif organik, dengan lahan efektif 51,35%. Mulsa reflektif juga meningkatkan kualitas hasil kedelai, hal ini terlihat dari berat biji 100 butir yang meningkat dengan penggunaan mulsa reflektif baik anorganik maupun organik (Tabel 15). Peningkatan produktivitas kedelai tersebut seiring dengan peningkatan laju fotosintesis dan biomassa tanaman kedelai. Laju fotosintesis meningkat akibat peningkatan intensitas refleksi radiasi surya dari permukaan dengan penggunaan mulsa reflektif. Peningkatan fotosintesis dengan penggunaan mulsa reflektif secara signifikan terutama terjadi pada daun-daun bagian bawah (*lower leaf*). Peningkatan laju fotosintesis dengan penggunaan mulsa reflektif sejalan dengan peningkatan biomassa dan produktivitas kedelai. Peningkatan produktivitas kedelai tertinggi terdapat pada penggunaan mulsa reflektif organik. Selain disebabkan oleh kemampuan merefleksikan intensitas radiasi surya dan memperbaiki kualitas iklim mikro, mulsa reflektif organik juga berkontribusi

terhadap peningkatan unsur hara akibat pelapukan oleh dekomposer. Sebagai tanaman C3, kedelai tidak memerlukan jumlah radiasi yang sangat tinggi, sehingga penambahan radiasi yang berlebihan tidak akan meningkatkan hasil secara signifikan. Pada lahan di bawah tegakan kelapa sawit, penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik mampu meningkatkan produktivitas secara signifikan ($p < 0,05$) dibandingkan dengan lahan tanpa mulsa. Hal ini disebabkan mulsa reflektif mampu merefleksikan radiasi transmisi sehingga kebutuhan cahaya lebih terpenuhi.

Produksi tanaman termasuk kedelai tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan radiasi tetapi juga ditentukan oleh ketersediaan hara dan iklim mikro lainnya. Material mulsa sangat memengaruhi iklim mikro yang akan berdampak positif atau negatif pada proses fisiologi dan hasil tanaman (Kader *et al.* 2017). Penggunaan mulsa organik yang menutupi tanah dapat berperan sebagai penghalang fisik untuk membatasi penguapan air tanah, mengendalikan gulma, mempertahankan struktur tanah dan melindungi tanaman dari kontaminasi tanah (Sanbagavalli *et al.* 2017). Penggunaan mulsa organik akan meningkatkan kelembaban tanah akibat peningkatan infiltrasi dan retensi yang lebih baik serta menekan pertumbuhan gulma sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman lebih optimal serta produksi yang lebih tinggi (Teame *et al.* 2017).

Produktivitas merupakan salah satu hasil akhir dalam budidaya pertanian. Penggunaan mulsa reflektif mampu meningkatkan produktivitas kedelai secara signifikan. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara produktivitas kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik dan organik. Sehingga mulsa reflektif organik lebih unggul dibandingkan dengan mulsa reflektif anorganik, karena memiliki kemampuan refleksi yang baik, mudah diperoleh, ekonomis, mudah mengaplikasikannya, berkontribusi terhadap hara dan ramah lingkungan.

5.3 Potensi Pengembangan Kedelai di Bawah Tegakan Kelapa Sawit

Pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit muda untuk pengembangan kedelai dengan sistem tanam sela sangat potensial. Perkebunan kelapa sawit sebagai suatu agroekosistem diharapkan dapat meningkatkan produktivitas lahan dengan menerapkan sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai. Pengembangan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit dengan sistem tanam sela di masa yang akan datang diharapkan dapat berkontribusi terhadap produksi kedelai nasional. Pengembangan agroekosistem kelapa sawit-kedelai membutuhkan introduksi teknologi sistem budidaya dan modifikasi lingkungan sehingga keterbatasan lahan di bawah tegakan dapaturangi. Modifikasi iklim mikro dengan penggunaan mulsa reflektif organik merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya di bawah tegakan kelapa sawit yang menjadi permasalahan utama pada sistem tanam sela. Sistem tanaman sela kelapa sawit-kedelai merupakan salah satu sistem pertanian ramah lingkungan (*ecologically friendly*), karena dapat meningkatkan infiltrasi, mengurangi laju evaporasi, mengendalikan hama dan gulma pada perkebunan kelapa sawit (Zahran 1999; Merten *et al.* 2016; Teame *et al.* 2017). Kedelai sebagai salah satu tanaman C3 sangat potensial untuk dikembangkan di bawah tegakan kelapa sawit karena kedelai tidak memerlukan radiasi surya penuh untuk pertumbuhannya (Ong dan Huxley 1996). Tanaman kedelai juga mampu memfiksasi N di atmosfer sehingga

turut menyuburkan lahan perkebunan sehingga dapat mengurangi jumlah pemupukan tanaman kelapa sawit (Putra *et al.* 2012)

Penggunaan mulsa reflektif sangat efektif untuk memperbaiki kualitas lingkungan fisik khususnya peningkatan intensitas refleksi radiasi surya dan morfofisiologis kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur ≤ 5 tahun dan berdampak pada peningkatan produktivitas kedelai. Pemanfaatan lahan di bawah tegakan kelapa sawit di atas umur >5 tahun tidak mampu meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas kedelai meskipun telah menggunakan mulsa reflektif disebabkan transmisi radiasi surya yang sudah sangat rendah.

Respons pertumbuhan, morfofisiologi dan produksi kedelai dari penggunaan mulsa reflektif organik (daun kering kelapa sawit) dan anorganik (mulsa plastik hitam perak) tidak memperlihatkan perbedaan yang signifikan, namun penggunaan mulsa reflektif organik pada kedelai lebih direkomendasikan. Mulsa reflektif organik/daun kering kelapa sawit merupakan material atau bahan baku hasil sampingan kebun, harga murah, dan mudah terdekomposisi sehingga menambah unsur hara. Selain itu, penggunaan mulsa reflektif organik lebih baik dari mulsa reflektif anorganik, karena tidak mengurangi atau membatasi proses laju infiltrasi air dari permukaan mulsa menuju ke permukaan tanah, baik air yang bersumber dari presipitasi atau irigasi. Hal ini menyebabkan kelembaban tanah lebih terjaga meskipun pada daerah dengan curah hujan rendah.

Analisis efisiensi penggunaan lahan dianalisis menggunakan nisbah kesetaraan lahan atau *land equivalent ratio* (LER). Nilai LER tertinggi terdapat pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif anorganik sebesar 2,0. Selanjutnya tertinggi ke 2 dan 3, juga pada lokasi yang sama namun dengan penggunaan mulsa reflektif organik sebesar 1,9 dan tanpa mulsa sebesar 1,8. Pola yang sama juga ditunjukkan pada sistem tanam sela kedelai pada kelapa sawit umur 5 dan 8 tahun, meskipun nilai LER lebih kecil namun penggunaan mulsa reflektif konsisten berkontribusi positif terhadap peningkatan nilai LER.

Hasil analisis usaha tani pada sistem monokultur dan tanam sela kelapa sawit-kedelai untuk satu musim tanam (4 bulan) per satu hektar menghasilkan pendapatan beragam. Sistem monokultur kedelai dengan mulsa reflektif organik, memperoleh pendapatan tertinggi (Rp20.379.985,43), kemudian diikuti oleh tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun dengan mulsa (Rp17.067.563,04). Berdasarkan Tabel 18, pemanfaatan lahan untuk sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai lebih menguntungkan dibandingkan dengan monokultur kelapa sawit khusus untuk umur 4 dan 5 tahun. Pendapatan sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai lebih kecil dari sistem monokultur kelapa sawit. Pendapatan rata-rata per bulan dengan sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun tanpa mulsa sebesar Rp3.430.310,13/bulan, dengan mulsa reflektif anorganik sebesar Rp3.676.466,78/bulan, dan dengan mulsa reflektif organik sebesar Rp4.220.659,81/bulan. Pendapatan pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun pada lahan tanpa mulsa sebesar Rp3.372.402,96/bulan, pada lahan dengan mulsa reflektif anorganik Rp3.858.918,20/bulan, dan pada lahan dengan penggunaan mulsa reflektif organik sebesar Rp4.266.890,76/bulan.

Selisih pendapatan sistem tanam sela dengan monokultur kelapa sawit masing-masing adalah pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun tanpa mulsa Rp6.562.489,51 $MT^{-1} ha^{-1}$, dengan mulsa reflektif anorganik



Rp7.547.476,18 MT⁻¹ ha⁻¹ dan dengan mulsa reflektif organik sebesar Rp9.724.248,21 MT⁻¹ ha⁻¹. Pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun selisih pendapatan sebesar Rp1.990.453,10 MT⁻¹ ha⁻¹ pada lahan tanpa mulsa, Rp3.936.514,04 MT⁻¹ ha⁻¹ lahan dengan mulsa reflektif anorganik dan Rp5.568.404,31 MT⁻¹ ha⁻¹ pada penggunaan mulsa reflektif organik. Sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 8 tahun pendapatannya lebih rendah dibandingkan dengan sistem monokultur kelapa sawit. Berdasarkan Lampiran 5, Lampiran 6, dan Lampiran 7 persentase kontribusi terhadap penerimaan dari kelapa sawit semakin meningkat dengan bertambahnya umur kelapa sawit, sedangkan persentase kontribusi penerimaan dari kedelai semakin kecil dengan bertambahnya umur tanaman kelapa sawit. Menurunnya pendapatan disebabkan oleh produktivitas kedelai yang turun dengan semakin bertambahnya umur kelapa sawit akibat radiasi surya yang rendah, sedangkan pengeluaran untuk budidaya kedelai tidak berkurang.

Nilai rasio R/C tertinggi terdapat pada sistem monokultur kelapa sawit monokultur 8 tahun, 5 tahun dan 4 tahun masing-masing 10,3; 7,9 dan 5,3. Sedangkan pada sistem tanam sela-kedelai kelapa sawit nilai rasio R/C tertinggi terdapat pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit 4 dan 5 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif organik sebesar 3,0. Tingginya nilai rasio R/C pada sistem monokultur kelapa sawit disebabkan oleh pengeluaran hanya memperhitungkan biaya selama satu musim tanam kedelai sekitar 3-4 bulan, tanpa memperhitungkan biaya investasi pembukaan perkebunan. Hal ini menyebabkan pengeluaran untuk sistem monokultur kelapa sawit lebih rendah dibandingkan dengan sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai. Sedangkan pengeluaran pada sistem tanam sela kedelai relatif besar sehingga akan mengurangi pendapatan turunya nilai rasio R/C. Nilai rasio R/C 3,0 pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit 4 dan 5 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif organik bermakna setiap pengeluaran atau biaya yang dikeluarkan oleh petani sebesar Rp1,00 akan mendapatkan penerimaan sebesar Rp3,40 maka akan memperoleh pendapatan sebesar Rp2,40.

Berdasarkan analisis kelayakan ekonomi, sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit potensial untuk dikembangkan hingga umur kelapa sawit 5 tahun meskipun selisih pendapatan tertinggi terdapat pada umur kelapa sawit 4 tahun. Penggunaan mulsa reflektif organik memberikan respons terbaik terhadap peningkatan pendapatan dan nilai rasio R/C. Sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit muda (4 dan 5 tahun) selain meningkatkan pendapatan petani juga akan berkontribusi perbaikan kualitas lahan (meningkatkan infiltrasi dan mengurangi erosi), diversifikasi komoditi, sebagai lahan penyangga untuk produksi benih (khususnya kedelai), dan meningkatkan pertumbuhan kelapa sawit muda (Putra *et al.* 2012; Guillaume *et al.* 2015; Merten *et al.* 2016).

Pengembangan budidaya kedelai di bawah tegakan kelapa sawit juga diharapkan berkontribusi terhadap pemenuhan kebutuhan kedelai nasional. Luas lahan perkebunan kelapa sawit nasional umur 1-4 tahun mencapai 3,2 juta hektar dan umur 5 tahun sekitar 0,6 juta ha (Kementan 2019b; BPS 2019c). Bila asumsi produktivitas kedelai di bawah tegakan kelapa sawit umur 1-4 tahun sebesar 1,4 ton ha⁻¹ dan umur 5 tahun 0,9 ton ha⁻¹ yang didasari hasil penelitian ini, maka potensi produksi kedelai per tahun mencapai 5,02 juta ton tahun⁻¹. Namun bila hanya menggunakan luas lahan perkebunan kelapa sawit milik rakyat umur 1-4 tahun (1,86 juta ha) dan umur 5 tahun (0,23 juta ha) maka potensi produksi kedelai per

tahunnya adalah 2,81 juta ton tahun⁻¹ (BPS 2018). Produksi kedelai nasional saat ini yang ditanam di luar perkebunan kelapa sawit adalah 0.98 juta ton tahun⁻¹ (BPS 2019c). Maka bila produksi kedelai nasional tersebut diakumulasi dengan potensi kedelai dari lahan perkebunan kelapa sawit milik rakyat umur 1-5 tahun, maka potensi produksi kedelai per tahunnya mencapai 3,79 ton tahun⁻¹, dan potensi produksi tersebut melebihi kebutuhan kedelai nasional saat ini yaitu sebesar 3,58 juta ton tahun⁻¹ (Kementan 2019a). Berdasarkan hasil kajian ini, maka pengembangan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit hingga umur 5 tahun dengan penerapan teknologi melalui penggunaan mulsa reflektif organik, memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan, pendapatan petani, dan pemenuhan kebutuhan kedelai nasional.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

VI SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

@Hak cipta milik IPB University

1. Penggunaan mulsa reflektif pada sistem tanam sela kedelai- kelapa sawit mampu meningkatkan intensitas refleksi radiasi surya sebesar 169% pada mulsa reflektif anorganik, dan 59% pada mulsa reflektif organik. Intersepsi radiasi surya kedelai meningkat sebesar 30% pada mulsa reflektif anorganik dan 26% pada mulsa reflektif organik. RUE meningkat dari 1,55 g MJ⁻¹ menjadi 2,24 g MJ⁻¹ pada mulsa reflektif anorganik dan 1,85 g MJ⁻¹ pada mulsa reflektif organik. Mulsa reflektif menurunkan suhu tanah pada siang hari dan memperkecil perbedaan suhu tanah antar kedalaman dari 3,2 °C menjadi 0,3-1,2 °C, serta mampu mempertahankan kelembaban tanah di atas 45% pada sistem tanam sela kelapa sawit-kedelai.
2. Mulsa reflektif anorganik dan organik berpengaruh positif terhadap pertumbuhan kedelai di bawah tegakan kelapa sawit yaitu tinggi, diameter batang, indeks luas daun, lebar stomata, biomassa, berat daun spesifik, laju pertumbuhan tanaman, laju pertumbuhan relatif, dan mampu menekan rasio etiolasi. Penggunaan mulsa reflektif meningkatkan laju fotosintesis kedelai pada daun-daun bawah secara signifikan ($p < 0,05$), dari 20,89 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada lahan tanpa mulsa, menjadi 23,64 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada mulsa reflektif anorganik dan 24,74 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ pada mulsa reflektif organik. Produktivitas kedelai tertinggi terdapat pada penggunaan mulsa reflektif organik sebesar 1,55 ton ha⁻¹, kemudian diikuti oleh mulsa reflektif anorganik 1,47 ton ha⁻¹, dan lahan tanpa mulsa sebesar 1,12 ton ha⁻¹.
3. Efisiensi penggunaan lahan tertinggi terdapat pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun dengan mulsa reflektif anorganik dengan LER 2,0; kemudian mulsa reflektif organik dengan LER 1,9 dan tanpa mulsa dengan LER 1,8 pada lokasi yang sama. Pendapatan tertinggi terdapat sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 5 tahun dengan mulsa reflektif organik sebesar Rp17.067.563,04 MT⁻¹ ha⁻¹. Selisih pendapatan tertinggi antara sistem tanam sela dengan monokultur kelapa sawit terdapat pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 tahun dengan mulsa reflektif organik sebesar Rp9.724.248,21 MT⁻¹ ha⁻¹. Nilai rasio R/C tertinggi pada tanam sela terdapat pada sistem tanam sela kedelai-kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun dengan mulsa reflektif organik sebesar 3,0.
4. Penelitian ini merekomendasikan untuk pengembangan agroekosistem kedelai-kelapa sawit umur ≤ 5 tahun dengan penggunaan mulsa reflektif organik (daun kelapa sawit kering) dan ditanam pada akhir musim hujan serta menerapkan sistem budidaya kedelai secara intensif.

6.2 Saran

1. Lahan di bawah tegakan kelapa sawit umur 4 dan 5 tahun atau ≤ 5 tahun, potensial untuk pengembangan agroekosistem tanam sela kelapa sawit-kedelai dengan penggunaan mulsa reflektif organik, meskipun demikian penting dilakukan penelitian lanjutan pada lokasi dan musim berbeda untuk memperkuat hasil penelitian ini.
2. Lahan di bawah tegakan kelapa sawit >5 tahun tidak disarankan untuk pengembangan agroekosistem kelapa sawit- kedelai karena intensitas radiasi surya yang sangat rendah.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



DAFTAR PUSTAKA

- Adeboye OB, Schultz B, Adekalu KO, Prasad K. 2016. Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of soybeans (*Glycine max* L. Merr.) in Nigeria. *Brazilian Journal of Science and Technology* 3(15):1-21. DOI:10.1186/s40552-016-0028-1.
- Afandi AB. 2014. Karakteristik radiasi matahari pertanaman kelapa sawit (implikasinya terhadap iklim mikro dan potensi tanaman sela) [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Allen Jr LH. 1975. Shade-cloth microclimate of soybeans. *Agronomy Journal* 67(2):175-181. DOI:10.2134/agronj1975.00021962006700020001.
- Andrade FH, Otegui ME, Vega C. 2000. Intercepted radiation at flowering and kernel number in maize. *Agronomy Journal* 92(1):92-97. DOI:10.1007/s100870050011.
- Asadi D, Arsyad M, Zahara H, Darmijati. 1997. Pemuliaan kedelai untuk toleran naungan dan tumpang sari. *Buletin AgroBio* 1(2):15-20.
- Asyardi. 1993. Pengaruh jarak barisan dengan pemangkasan daun bawah tanaman jagung dalam kacang tanah terhadap efisiensi radiasi surya dan produksi [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Awal MA, Ismail WIW, Harun MH, Endan J. 2005. Methodology and measurement of radiation interception by quantum sensor of the oil palm plantation. *Songklanakar Journal of Science and Technology* 27(5):1083-1093.
- Barri NL. 2012. Transmisi radiasi matahari dan profil iklim mikro serta hubungannya dengan pertumbuhan dan produksi tanaman sela pada beberapa umur kelapa [disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Beets WC. 1982. *Multiple Cropping and Tropical Farming System*. Chicago: Gower Publ Co.
- Bertolde FZ, Almeida AAF, Pirovani CP, Gomes FP, Ahnert D, Baligar VC, Valle RR. 2012. Physiological and biochemical responses of *Theobroma cacao* L. genotypes to flooding. *Photosynthetica* 50(3):447-457. DOI:10.1007/s11099-012-0052-4.
- Baird AS, Anderegg LDL, Lacey ME, Lambers JHR, Volkenburgh EV. 2017. Comparative leaf growth strategies in response to low-water and low-light availability: variation in leaf physiology underlies variation in leaf mass per area in *Populus tremuloides*. *Tree Physiology* 37: 1140–1150 DOI:10.1093/treephys/tpx035.
- Biscoe PV, Gallagher JN. 1977. *Weather, Dry Matter Production and Yields Environmental Effects on Crop Physiology*. Lansberg JJ, Cutting CV, editor. London: Academic Pr.
- Boer R. 1983. Pengaruh penggunaan reflektor terhadap masa pembungaan dan produksi tanaman tomat yang di tumpangsarikan dengan jagung serta keadaan beberapa unsur mikro [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2015a. Luas Panen Kedelai Menurut Provinsi (ha), 1993-2015. [diunduh 2020 April 20] <https://www.bps.go.id/dynamictable/2015/09/09/870/luas-panen-kedelai-menurut-provinsi-ha-1993-2015.html>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2015b. Produktivitas Kedelai Menurut Provinsi (kuintal/ha), 1993-2015. [diunduh 2020 April 20]. <https://www.bps.go.id/>

- dynamictable/2015/09/09%2000:00:00/872/produktivitas-kedelai-menurut-provinsi-kuintal-ha-1993-2015.html.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2015c. Produksi Kedelai Menurut Provinsi (ton), 1993-2015. [diunduh 2020 April 20]. <https://www.bps.go.id/dynamictable/2015/09/09%2000:00:00/871/produksi-kedelai-menurut-provinsi-ton-1993-2015.html>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. Stastistik Kelapa sawit Indonesia 2018. [diunduh 2020 Agustus 11]. <https://www.bps.go.id/publication/download.html>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019a. Impor Kedelai Menurut Negara Asal Utama, 2010-2019. [diunduh 2020 April 20]. <https://www.bps.go.id/statictable/2019/02/14/2015/impor-kedelai-menurut-negara-asal-utama-2010-2019.html>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019b. Luas panen dan produksi padi di Indonesia 2019. [diunduh 2020 April 20] <https://www.bps.go.id/publication/download>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019c. Luas Tanaman Perkebunan Menurut Provinsi (Ribuan Hektar). [diunduh 2020 April 20]. <https://www.bps.go.id/site/resultTab>.
- Buttery BR, Gaynor JD, Buzzell RI, MacTavish DC, Armstrong RJ. 1992. The effects of shading on kaempferol content and leaf characteristics of five soybean lines. *Physiologia Plantarum* 86(2):279-284. DOI:10.1034/j.1399-3054.1992.860213.x.
- Cambaba S. 2011. Pengaruh pemberian mulsa jerami terhadap populasi hama kepik hijau (*Nezara viridula*) yang menyerang tanaman kedelai (*Glycine max L*) varietas burangrang. *Jurnal Dinamika* 2(2):52-56.
- Campillo C, Fortes R, Prieto MDH. 2012. *Solar Radiation Effect on Crop Production*. In book: *Solar Radiation*. Centro de Investigación finca la Orden-Valdesequera. Spain. www.intechopen.com. DOI:10.5772/34796.
- Ceotto E, Candilo MD, Castelli F, Badeck FW, Rizza F, Soavee C, Voltaf A, Villani G, Marletto V. 2013. Comparing solar radiation interception and use efficiency for the energy crops giant reed (*Arundo donax L.*) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor L. Moench*). *Field Crops Research* 149:159-166. DOI:10.1016/j.fcr.2013.05.002
- Ceunfin S, Prajitno D, Suryanto P, Putra ETS. 2017. Penilaian kompetisi dan keuntungan hasil tumpang sari jagung kedelai di bawah tegakan kayu putih. *Savana Cendana* 2(1):1-3.
- Chang YH. 1971. *Climate and Agriculture, an Acological Survey*. Chicago: Aldine Publishing Co.
- Chaturvedi GS, Ram PC, Singh AK, Ram P, Ingram KT, Singh BB, Singh RK, Singh VK. 1994. Carbohydrate status of rainfed lowland rice in relation to submergence, drought and shade tolerance. In Proceeding: *Physiology of Stress Tolerance in Rice*. Los Banos (PH): IRRI.
- Chotechuen S. 1996. Breeding of mungbean for resistance to various environmental stresses. p. 52-59. InP. Srinives, Kitbamroong C, Miyazaki S, Editor. Proceeding of Mungbean Germplasm: Collection, Evaluation and Utilization for Breeding Program. Bangkok, Thailand 17 August 1995.
- Chowdury PK, Thangaraj M, Jayapragasam. 1994. Biochemical changes in low irradiance tolerant and susceptible rice cultivars. *Biologia Plantarum* 36(2): 237-242. DOI:10.1007/BF02921092.



- Chowdhury JA, Karim MA, Khaliq QA, Ahmed U, Khan MSA. 2016. Effect of drought stress on gas exchange characteristics of four soybean genotypes. *Bangladesh Journal of Agricultural Research* 41(2):195-205. DOI:10.3329/bjar.v41i2.28215.
- Chozin, MA, Sopandie D, Sastrosumarjo S, Suwarno. 1999. Physiology and genetic of upland rice adaptation to shade. Final report of graduate team research grant, URGE Project. Jakarta (ID): Directorate General of Higher Education, Ministry of Education and Culture.
- Davies FS, Flore JA. 1986. Flooding, gas exchange and hydraulic root conductivity of highbush blueberry. *Physiologia Plantarum* 67(4):545-551. DOI:10.1111/j.1399-3054.1986.tb05053.x.
- Djukri, Purwoko BS. 2003. Pengaruh naungan paranet terhadap sifat toleransi tanaman talas (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *Ilmu Pertanian* 10(2):17-25.
- Dobos E. 2003. *Albedo*. *Encyclopedia of Soil Science*. Miskolc-Egyetemvaros: University of Miskolc. DOI: 10.1081/E-ESS120014334.
- Dwiputra AH, Indradewa D, Susila ET. 2015. Hubungan komponen hasil dan hasil tiga belas kultivar kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.). *Vegetalika* 4(3):14-28.
- Echarte L, Maggiora AD, Cerrudo D, Gonzalez, VH, Abbate P, Cerrudo A. 2011. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. *Field Crop Research* 121(3):423-429. DOI:10.1016/j.fcr.2011.01.011.
- Eriksen F, Whitney S. 1982. Effect of light intensity on growth of some tropical forages species. Interaction of light intensity and Nitrogen fertilisation on six forage grasses. *Agronomy Journal* 73: 427-433.
- Evans JR, Santiago LS. 2014. PrometheusWiki Gold Leaf Protocol: gas exchange using LI-COR 6400. *Functional Plant Biology* 41(3):223-226. DOI:10.1071/FP10900.
- Fan Y, Chen J, Cheng Y, Raza MA, Wu X, Wang Z, Liu Q, Wang R, Wang X, Yong T, *et al.* 2019. Effect of shading and light recovery on the growth, leaf structure, and photosynthetic performance of soybean in a maize-soybean relay-strip intercropping system. *PLoS ONE* 13(5):e0198159. DOI:10.1371/journal.pone.0198159.
- Feng Y, Huang S, Gao R, Weiguo L, Yong T, Wang X, Wu X, Yang W. 2014. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: far-red ratio. *Field Crops Research* 155:245-253. DOI:10.1016 /j.fcr.2013.08.011.
- Fiorucci AS, Fankhauser C. 2017. Plant strategies for enhancing access to sunlight. *Current Biology* 27(17):R931-R940. DOI:10.1016/j.cub.2017.05.085.
- Gallagher JN, Biscoe PV. 1978. Radiation, absorption, growth and yield of cereals. *Journal of Agricultural Science* 91(1):47-60. DOI:10.1017/S0021859600056616.
- Gan P, Liu F, Li R, Wang S, Luo J. 2019. Chloroplasts-Beyond Energy Capture and Carbon Fixation: Tuning of Photosynthesis in Response to Chilling Stress. *International Journal of Molecular Sciences* 20(20): 5046. DOI:10.3390/ijms20205046.
- Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. 1991. *Physiology of Crop Plants*. Susilo H, penerjemah. Jakarta: Universitas Indonesia Pr.

- Ghulamahdi M, Chaerunisa SR, Lubis I, Taylor P. 2016. Response of five soybean varieties under saturated soil culture and temporary flooding on tidal swamp. *Procedia Environmental Science* 33:87-93. DOI:10.1016/j.proenv.2016.03.060.
- Gitelson AA, Gamon JA. 2015. The need for a common basis for defining light use efficiency: Implications for productivity estimation. *Remote Sensing of Environment* 156: 196–201.
- Gong WZ, Qi PF, Du JB, Sun X, Wu XL, Song C, Liu WG, Wu YS, Yu XB, Yong TW, Wang XC, Yang F, Yan YH, Yang WY. 2014. Transcriptome analysis of shade-induced inhibition on leaf size in relay intercropped soybean. *PLoS One* 9(6):e98465. DOI:10.1371/journal.pone.0098465.
- Govindappa, M, Pallavi, Seenappa C. 2015. Importance of mulching as a soil and water conservative practice in fruit and vegetable production-review. *International Journal of Agriculture Innovations and Research* 3(4):1014-1017.
- Guillaume T, Damris M, Kuzyakov Y. 2015. Losses of soil carbon by converting tropical forest to plantations: erosion and decomposition estimated by $\delta^{13}C$. *Global Change Biology*. 21:3548–3560. DOI: 10.1111/gcb.12907.
- Hairiah K, Widiyanto, Sri RU, Betha L. 2002. *Model Simulasi untuk Sistem Agroforestri*. Bogor: International Centre for Research Agroforestry.
- Hall DO, Rao KK. 1978. *Photosynthesis*. London: Edward Arnold.
- Hamim. 2018. *Fisiologi Tumbuhan 1: Air, Energi dan Metabolisme Karbon*. Bogor: IPB Pr.
- Handayani. 2003. Pola pewarisan sifat toleran terhadap intensitas cahaya rendah pada kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) dengan penciri spesifik karakter anatomi, morfologi, dan molekuler [disertasi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Handoko. 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Handoko, Kodarsih T, Ariyan A. 2010. Koefisien pemadaman tajuk dan efisiensi penggunaan radiasi surya pada tanaman kentang (*Solanum tuberosum* L.) varietas Granola di Galudra, Cianjur, Jawa Barat. *Agromet* 24(2):27-32, 2010.
- Hasanah Y, Rahmawati N. 2015. Growth analysis of soybean under dry land with application of *Bradyrhizobium japonicum* induced by genistein and organic fertilizer. *Jurnal Pertanian Tropik* 2(2):116-123. DOI:10.32734/jpt.v2i2.2892.
- Hidayat T, Koesmaryono Y, Impron, Ghulamahdi M. 2019. Intensifying of reflected radiation under oil palm canopy and its effect on growth and production of soybean. Di dalam IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Munawar AA, Nasution IS, Jaya RP, editor. International Conference on Agricultural Technology, Engineering, And Environmental Sciences; 2019 Agustus 21-22; Banda Aceh, Indonesia. Banda Aceh: [diunduh 2020 Januari 10]. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/365/1/012001/pdf>
- Hidayat T, Koesmaryono Y, Impron, Ghulamahdi M. 2020. Canopy microclimate modification with reflective mulches under oil palm and its role to soybean growth. *Agromet* 34(1):1-10. DOI:10.29244/j.agromet.34.1.1-10.

- Humaerah AD. 2002. Modifikasi iklim mikro, pertumbuhan dan produksi padi gogo dibawah naungan karet menggunakan reflector [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Impron. 1999. Kapita Selekta Agroklimatologi. Tanggap Transpirasi terhadap Lingkungan. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB. Bogor.
- Jiang CD, Wang X, Gao HY, Shi L, Chow WS. 2011. Systemic regulation of leaf anatomical structure, photosynthetic performance, and high-light tolerance in sorghum. *Plant Physiology* 155:1416-1424. DOI:10.1104/pp.111.172213.
- Mumrani K, Bhatia VA. 2018. Impact of combined stress of high temperature and water deficit on growth and seed yield of soybean. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 24(1):37-50. DOI: 10.1007/s12298-017-0480-5.
- June T. 1993. The effect of light on growth of cassava and sorghum I light distribution and extinction coefficient. *Agromet* 9(2):35-41. DOI:10.29244/j.agromet.9.2.35-41.
- June T. 2002. Environmental Effects on photosynthesis of C3 plants: scaling up from electron transport to the canopy (Study case: *Glycine max* L. Merr) [disertasi]. Canberra: Australian National University.
- Kader M, Senge M, Mojid MA, Ito K. 2017. Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil and Tillage Research* 168:155-166. DOI:10.1016/j.still. 2017.01.001.
- Kassam AH. 1978. Agro climatic suitability assesment of rainfed crops in African by growing period zones. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Kelly JWG, Duursma RA, Atwell BJ, Tissue DT. 2016. Drought x CO₂ interactions in trees: a test of the low-intercellular CO₂ concentration (C_i) mechanism. *New Phytologist* 209(4):1600-1612. DOI:10.1111/nph.13715.
- [Kementan] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2017. Deskripsi varietas unggul kedelai 1918-2016. [diunduh 2020 Oktober 12]. <http://balitkabi.litbang.pertanian.go.id/wp-content/uploads/2016/09/kedelai.pdf>.
- [Kementan] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2019a. Data Lima Tahun Terakhir: Merupakan data terbaru yang terkait produksi, luas panen serta populasi sub sektor Kementerian Pertanian selama lima tahun yaitu tahun 2014-2018. Sub-sektor Tanaman Pangan (*Food Crops Sub-sector*). [diunduh 2020 Juni 12]. <https://www.pertanian.go.id/home/?show=page&act=view&id=61>.
- [Kementan] Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2019b. Luas Areal Kelapa Sawit Menurut Provinsi di Indonesia, 2016-2020. Direktorat Jenderal Perkebunan. [diunduh 2020 September 12]. <https://www.pertanian.go.id>
- Khalid MHB, Raza MA, Yu HQ, Sun FA, Zhang YY, Lu FZ, Si L, Iqbal N, Khan I, Fu FL, *et al.* 2019. Effect of shade treatments on morphology, photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics of soybeans (*Glycine max* L. Merr.). *Applied Ecology and Environmental Research* 17(2):2551-2569. DOI:10.15666/aeer/1702_25512569.
- Kharisma B. 2018. Determinan Produksi Kedelai di Indonesia dan Implikasi Kebijakannya. *E-Jurnal Ekonomi dan Bisnis Universitas Udayana* 7(3):679-710.

- Khumaida N. 2002. Studies on Adaptability of Soybean and Upland Rice to Shade Stress [disertasi]. Tokyo: University of Tokyo.
- Kisman, Khumaida N, Trikoesoemaningtyas, Sobir, Sopandie D. 2007. Karakter morfo-fisiologi daun, penciri adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah. *Jurnal Agronomi Indonesia* 35(2): 96-102. DOI:10.24831/jai.v35i2.1317.
- Koesmaryono Y, Sabaruddin L, Stigter K. 2005. Derived agrometeorological information serving government and farmers decisions in some intercropping systems in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Journal of Agriculture Meteorology* 60 (5):343-347.
- Koesmaryono Y, Sabaruddin L. 2005. Scientific agrometeorological aspect of efficient resources use in some intercropping system in Southeast Sulawesi, Indonesia. *Journal of Agriculture Meteorology* 60(5):331-335.
- Koesmaryono Y, Sugimoto H, Ito D, Haseba T, Sato T. 1998. Photosynthetic and transpiration rates of soybean as effected by different irradiances during growth. *Photosynthetica* 35(4):573-578. DOI:10.1023/A:1006935125111.
- Koester R P, Skoneczka JA, Cary RT, Diers BW, Ainsworth EA. 2014. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. *Journal of Experimental Botany* 65(12): 3311–3321.
- Li T, Liu LN, Jiang CD, Liu YJ, Shi L. 2014. Effects of mutual shading on the regulation of photosynthesis in field-grown sorghum. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 137:31-38. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2014.04.022.
- Lithourgidis AS, Dordas CA, Damalas CA, Vlachostergios DN. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science* 5(4):396-410.
- Liu X, Rahman T, Yang F, Song C, Yong T, Liu J, Zhang C, Yang W. 2017. PAR interception and utilization in different maize and soybean intercropping patterns. *PLoS ONE* 12(1): e0169218. DOI:10.1371/journal.pone.0169218.
- Loomis RS, William WA, Duncan WG, Dornat A, Nunez F. 1968. Quantitative description of foliage display and light absorbtion in field communities of corn plants. *Crop Science* 8(3):352-356. DOI:10.2135/cropsci1968.0011183X000800030027x.
- Ma BL, Morrison MJ, Voldeng HD. 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. *Crop Science* 35(5):1411-1414. DOI:10.2135/cropsci1995.0011183x0035000500.
- Mahmud Z. 1998. Tanaman sela di bawah kelapa. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 17(2):61-67.
- Marchiori PER, Machado EC, Ribeiro RV. 2014. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in field-grown sugarcane varieties. *Field Crop Research* 155:30-37. DOI:10.1016/j.fcr.2013.09.025.
- Mejias PB. 2012. Effect of crushed glass, used as a reflective mulch, on Pinot noir performance. A thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Horticultural Science [thesis]. New Zealand: Lincoln University.
- Merten J, Röhl A, Guillaume T, Mejjide A, Tarigan S, Agusta H, Dislich C, Dittrich C, Faust H, Gunawan D, *et al.* 2016. Water scarcity and oil palm expansion:

social views and environmental processes. *Ecology and Society* 21(2):5. DOI:10.5751/ES-08214-210205.

Meyer GE, Pappozzi ET, Walter-Shea AE, Blankenship EE, Adams SA. 2012. An investigation of reflective mulches for use over capillary mat systems for winter-time greenhouse strawberry production. *Applied Engineering in Agriculture*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Monsi M, Uchijima Z, Iwokana T. 1973. Structure of foliage canopies and photosynthesis. *Annual Review of Ecology and Systematics* 4:301-327. DOI:10.1146/annurev.es.04.110173.0015 05.

Monteith JL, Moss CJ. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain [and discussion]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Science* 281: 277-294. DOI:10.1098/rstb.1977.0140.

Monteith JL. 1970. *Light Interception and Radiative Exchange in Crop Stands. Physiological Aspects of Crop Yield*. Eastin JD, editor. Wisconsin: American Society of Agronomy.

Monteith JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology* 9(3):747-766. DOI:10.2307/2401901.

Morais H, Medri ME, Marur CJ, Caramori PH, de Arrura Ribeiro AM, Gomes JC. 2004. Modifications on leaf anatomy of *Coffea arabica* caused by shade of pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47(6):863-871. DOI:10.1590/S1516-89132004000600005.

Mubarak S, Impron, June T. 2017. Investigation of reflective mulches effect on soybean physiology character at low light intensity. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research* 10(4): 50-56.

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):247-253. DOI:10.24831/jai.v46i3.18220.

Muhuria L, Tyas KN, Khumaida N, Trikoesoemaningtyas, Sopandie D. 2006. Adaptasi tanaman kedelai terhadap intensitas cahaya rendah: karakter daun untuk efisiensi penangkapan cahaya. *Bulletin Agronomi*. 34(3):133-140. DOI:10.24831/jai.v34i3.1292.

Nagasuga K. 2019. *Soybean Seed Production and Canopy Photosynthesis in Cultivation*. Di dalam Kasai M, Editor. *Soybean: Biomass, Yield, and Productivity*. London: IntechOpen. DOI:10.5772/intechopen.81808.

Nagy Z, Galiba G. 1995. Drought and salt tolerance are not necessarily linked: a study on wheat varieties differing in drought tolerance under consecutive water and salinity stress. *Journal of Plant Physiology* 145(1-2):168-174. DOI:10.1016/S0176-1617(11)81865-1.

Nobel PS. 1974. *Introduction to Biophysical Plant Physiology*. San Fransisco (SF): WH Freeman nd Co.

Nurhayati AP, Lontoh, Koswara J. 1985. Pengaruh intensitas dan saat pemberian naungan terhadap produksi ubi jalar (*Ipomoea batatas* (L.) Lamp.). *Bulletin Agronomi* 16:28-38.

Nyngtyas K. 2006. Adaptasi kedelai terhadap intensitas cahaya rendah melalui efisiensi penangkapan cahaya [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Odjugo PAO. 2008. The effect of tillage systems and mulching on soil microclimate, growth and yield of white yam (*Dioscorea rotundata*) in Midwestern Nigeria. *African Journal of Biotechnology* 7(24):4500-4507.
- Oke TR. 1978. *Boundary Layer Climate*. London: Methuen and Co. Ltd.
- Ong CK, Huxley P. 1996. *Tree-Crop Interactions*. Cambridge (US): CAB International University Press.
- Pantilu LI, Mantiri FR, Ai NS, Pandiangan D. 2012. Respons morfologi dan anatomi kecambah kacang kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) terhadap intensitas cahaya yang berbeda. *Jurnal Bios Logos* 2(2):79-87. DOI:/10.35799/jbl.2.2.2012.1044.
- Polthanee A, Promsaena K, Laoken A. 2011. Influence of low light intensity on growth and yield of four soybean cultivars during wet and dry seasons of Northeast Thailand. *Agricultural Sciences* 2(2):61-67. DOI:10.4236/as.2011.22010.
- Prawiranata W, Haran S, Tjondronegoro P. 1989. *Fisiologi Tumbuhan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Putra ETS, Simatupang AF, Supriyatna, Waluyo S, Indradewa D. 2012. The growth of one year-old oil palms intercropped with soybean and groundnut. *Journal of Agricultural Science* 4(5):169-179. DOI:10.5539/jas.v4n5p169.
- Qadir A. 2012. *Pemodelan pertumbuhan tanaman kedelai (Glycine max (L.) Merrill) di bawah cekaman naungan [disertasi]*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Qin AZ, Huang GB, Chai Q, Yu AZ, Huang P. 2013. Grain yield and soil respiratory response to intercropping systems on arid land. *Field Crops Research* 144:1-10. DOI: 10.1016/j.fcr.2012. 12.005.
- Rahmanda R, Sumarni T, Tyasmoro SY. 2017. Respon dua varietas kedelai (*Glycine max* (L.) Merr) terhadap perbedaan intensitas cahaya pada sistem agroforestri berbasis Sengon. *Jurnal Produksi Tanaman* 5(9):1561-1569. DOI:10.21176/protan.v5i9.541.
- Rechid D, Raddatz TJ, Jacob D. 2009. Parameterization of snow-free land surface albedo as a function of vegetation phenology based on MODIS data and applied in climate modelling. *Theoretical and Applied Climatology* 95(245-255). DOI:10.1007/s00704-008-0003-y.
- Roekel RJV, Purcell LC. 2014. Soybean biomass and nitrogen accumulation rates and radiation use efficiency in a maximum yield environment. *Crop Science* 54(3):1189-1196. DOI:10.2135/cropsci2013.08.0546.
- Ross J. 1975. *Radiative Transfer in Plant Communities. Vegetation and The Atmosphere*. Volume 1. Monteith J, editor. New York (NY): Academic Pr.
- Sanbagavalli S, Vaiyapuri K, Marimuthu S. 2017. Impact of mulching and anti-transpirants on growth and yield of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Advances in Environmental Biology* 11(1):84-90.
- Sebayang L, Winarto L. 2014. *Teknologi budidaya kedelai untuk mengoptimalkan sela tanaman kelapa sawit yang belum menghasilkan (TBM)*. Medan (ID): Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Sumatera Utara. [Diunduh 2018 Maret 15]. <http://sumut.litbang.pertanian.go.id/ind/images/DokumenPdf/Brosur/Draf%20buku%20kedelai%20sela%20kelapa%20sawitbukubrosur.pdf>.
- Schneider JR, Caron BO, Elli EF, Schwerz F, Rockenbach AP, Engroff TD. 2016. Conversion efficiency of photosynthetically active radiation in soybean

cultivars during planting seasons. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 10(15):209-214.

Shehata S, Elsagheer AA, El-Helaly MA, Saleh SA, Abdallah AM. 2013. Shading effect on vegetative and fruit characters of tomato plant. *Journal of Applied Sciences Research* 9(3):1434-1437.

Sinclair TR, Lemeur ER. 1974. Penetration of photosynthetically active radiation on corn canopies. *Agronomy Journal* 66:201-205.

Sinclair TR, Muchow RC. 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215-265.

Singer JW, Meek DW, Sauer TJ, Prueger JH, Hatfield JL. 2011. Variability of light interception and radiation use efficiency in maize and soybean. *Field Crops Research* 121(1):147-152. DOI 10.1016/j.fcr.2010.12.007.

Sitaniapessy PM. 1981. Pengaruh reflektor dan populasi tanaman jagung (*Zea mays* L.) terhadap beberapa unsur iklim mikro dan produksi [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Song X, Li H. 2016. Effects of building shade on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of *Euonymus fortunei*. *Acta Ecologica Sinica* 36(5):350-355. DOI:10.1016/j.chnaes.2016.05. 008.

Sopandie D, Chozin MA, Sastrosumarjo S, Juhaeti T, Sahardi. 2003a. Toleransi padi gogo terhadap naungan. *HAYATI Journal of Biosciences* 10(2):71-75.

Sopandie D, Chozin MA, Tjitrosemitoz S, Sahardi. 2003b. Keefektifan uji cepat ruang gelap untuk seleksi ketenggangan terhadap naungan pada padi gogo. *HAYATI Journal of Biosciences* 10(3):91-95.

Sopandie D, Trikoesoemaningtyas. 2011. Pengembangan tanaman sela di bawah tegakan tanaman tahunan. *Iptek Tanaman Pangan* 6(2):168-182.

Stephann, H., M.T. Van Genuchten, C.M. Grieve. 2005. Root-zone salinity: I. Selecting a product-yield index and response function for crop tolerance. *Crop Science* 45:209-220. DOI:10.2135/cropsci2005.0209.

Su BY, Song YX, Song C, Cui L, Yong TW, Yang WY. 2014. Growth and photosynthetic responses of soybean seedlings to maize shading in relay intercropping system in Southwest China. *Photosynthetica* 52:332-340. DOI:10.1007/s11099-014-0036-7.

Sugimoto H, Koesmaryono Y, Miyahara N. 2005. Canopy photosynthesis of maize-soybean intercropping systems. *Journal of Agricultural Meteorology* 60(5):937-940. DOI:10.2480/agromet.937.

Sulistiyowati D, Chozin MA, Syukur M, Melati M, Guntoro D. 2016. Karakter fotosintesis genotipe tomat senang naungan pada intensitas cahaya rendah. *Jurnal Hortikultura* 26(2):181-188. DOI:10.21082/jhort.v26n2.2016.p181-188.

Sunarti, Sinukaban N, Sanim B, Darma S. 2008. Konversi hutan menjadi lahan usaha tani karet dan kelapa sawit serta pengaruhnya terhadap aliran permukaan dan erosi tanah di DAS Batang Pelepat. *Jurnal Tanah Tropika* 13(3): 253-260.

Supriyono B, Chozin MA, Sopandie D, Darusman LK. 2000. Perimbangan pati-sukrosa dan aktivitas enzim sukrosa fosfat sintase pada padi gogo yang toleran dan peka terhadap naungan. *Hayati* 7(2):31-34.

Taiz L, Zeiger E.2002. *Plant Physiology* (3rd edition). Massachusetts. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Chapter 9. 690 pages.

- Tan KH. 2005. Soil Sampling, Preparation, and Analysis. New York: Taylor & Francis group.
- Teame G, Tsegay A, Abrha B. 2017. Effect of organic mulching on soil moisture, yield, and yield contributing components of sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Agronomy* 2017: Article ID 4767509. DOI:10.1155/2017/4767509.
- Tominaga J, Shimada H, Kawamitsu Y. 2018. Direct measurement of intercellular CO₂ concentration in a gas-exchange system resolves overestimation using the standard method. *Journal of Experimental Botany* 69(8):1981-1991. DOI:10.1093/jxb/ery044.
- Uchimiya H. 2001. Genetic engineering for abiotic stress tolerance in plants. SCOPAS. <http://www.sciencecouncil.cgiar.org>. [11 Februari 2018].
- Unsworth MH, Monteith JL. 1972. Aerosol and solar radiation in Britain. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 98(418):778-797. DOI:10.1002/qj.49709841806.
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2020. Corn and Soybean Area Planted, Left to be Planted, and Harvested – United States 2019 and 2020. [diunduh 28 September 2020]. https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/acrg0620.pdf.
- Van Roekel RJ, Purcell LC. 2014. Soybean biomass and nitrogen accumulation rates and radiation use efficiency in a maximum yield environment. *Crop Science* 54(3):1189-1196. DOI: 10.2135/cropsci2013.08.0546.
- Wahab TIA, El-Rahman RAA. 2016. Response of some soybean cultivars to low light intensity under different intercropping patterns with maize. *International Journal of Applied Agricultural Sciences* 2(2):21-31. DOI:10.11648/j.ijaas.20160202.11.
- Wang R, Cheng T, Hu L. 2015. Effect of wide-narrow row arrangement and plant density on yield and radiation use efficiency of mechanized direct-seeded canola in Central China. *Field Crops Research* 172:42-52. DOI:10.1016/j.fcr.2014.12.005.
- Wassink FC. 1953. Specification of radiant lux and radiant flux density in irradiation of plant with artificial light. *Journal of Horticulture* 28:177-184.
- Wen J, Qinhua L, Qiang L, Qing X, Xiaowen L. 2009. Parametrized BRDF for atmospheric and topographic correction and albedo estimation in Jiangxi Rugged Terrain, China. *International Journal of Remote Sensing* 30(11): 2875 -2896. DOI: 10.1080/01431160802558618.
- Whatley JM, Whatley FR. 1980. *Light and Plant life: Studies in Biology*. London: Edward Arnold.
- White JW, Izquierdo J. 1993. Physiology of yield potential and stress tolerance. In A. V. Schoonhoven and O. Voysest (eds). Pp 287-382. *Common Beans: Research for crop improvement*. CAB International. Wallingford.
- Wirawati T, Purwoko BS, Sopandie D, Hanarida I. 2002. *Studi Fisiologi Adaptasi Talas terhadap Kondisi Naungan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Yang F, Feng L, Liu Q, Wu X, Fan Y, Raza MA, Cheng Y, Chen J, Wang X, Yong T, et al. 2018. Effect of interactions between light intensity and red-to-far-red ratio on the photosynthesis of soybean leaves under shade condition. *Environmental and Experimental Botany* 150:79-90. DOI:10.1016/j.envexpbot.2018.03.008

- Yang F, Liao DP, Wu XL, Gao RC, Fan YF, Raza MA, Wang XC, Yong TW, Liu WG, Liu J, *et al.* 2017. Effect of aboveground and belowground interactions on the intercrop yields on maize-soybean relay intercropping systems. *Field Crops Research* 203:16-23. DOI:10.1016/j.fcr.2016.12.007.
- Yang F, Wang XC, Liao DP, Lu FZ, Gao RC, Liu WG, Yong TW, Wu XL, Du JB, Liu J, *et al.* 2014. Yield response to different planting geometries in maize-soybean relay strip intercropping systems. *Agronomy Journal* 107(1):296-304. DOI:10.2134/agronj14.0263.
- Yao X, Li C, Li S, Zhu Q, Zhang H, Wang H, Yu C, Martin SKS, Xie F. 2017. Effect of shade on leaf photosynthetic capacity, light-intercepting, electron transfer and energy distribution of soybeans. *Plant Growth Regulation* 83:409-416. DOI:10.1007/s10725-017-0307-y.
- Ying S, Yin Z, Yuanmao J, Kai S, Juhong G, Dingyou Z, Jixiang Z. 2016. Leaf Potential Productivity at Different Canopy Levels in Densely-planted and Intermediately-thinned Apple Orchards. *Horticultural Plant Journal* 2(4): 181–187. DOI: 10.1016/j.hpj.2016.07.003
- Zahrán HH. 1999. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe conditions and in an arid climate. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 63(4):968-989.
- Zhang J, Liu J, Yang C, Du S, Yang W. 2016. Photosynthetic performance of soybean plants to water deficit under high and low light intensity. *South Africa Journal of Botany* 105:279-287. DOI:10.1016/j.sajb.2016.04.011.
- Zhang N, Westreenen AV, Anten NPR, Evers JB, Marcelis LFM. 2020. Disentangling the effects of photosynthetically active radiation and red to far-red ratio on plant photosynthesis under canopy shading: a simulation study using a functional–structural plant model. *Annals of Botany* 126: 635–646. DOI: 10.1093/aob/mcz197.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Desa Beureugang Kecamatan Kaway XVI Kabupaten Aceh Barat Provinsi Aceh, pada tanggal 10 Mei 1978 sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Drs. H. Djalaluddin Syah dan Ibu Hj. Cut Nurhayani. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Agrometeorologi, Jurusan Geofisika dan Meteorologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor pada tahun 1996 dan lulus pada tahun 2001. Pada tahun 2002, penulis diterima sebagai mahasiswa program magister (S2) di Program Studi Agroklimatologi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) dan menamatkannya pada tahun 2005 dengan Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan Nasional (BPPS-DIKTI). Kesempatan untuk melanjutkan ke program doktor pada Program Studi Klimatologi Terapan Sekolah Pascasarjana IPB diperoleh pada tahun 2016 dengan beasiswa Program Beasiswa Unggulan Dosen Indonesia-Dalam Negeri (BUDI-DN), kerja sama antara Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti) dengan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) dari Kementerian Keuangan.

Penulis berkerja sebagai Staf Pengajar pada Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala (Unsyiah) Banda Aceh sejak tahun 2006 dan ditempatkan di Laboratorium Agroklimatologi. Penulis juga aktif di beberapa organisasi profesi yaitu ketua PERHIMPI (Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia) Provinsi Aceh, anggota PAGI (Perkumpulan Agroteknologi/Agroekoteknologi Indonesia), dan anggota APIK (Jejaring Ahli Perubahan Iklim dan Kehutanan Indonesia). Selama mengikuti program S3, penulis aktif pada paguyuban kedaerahan diantaranya sebagai ketua FORKUB (Forum Komunikasi Keluarga Unsyiah Bogor) di Bogor dari tahun 2018/2019 dan 2019/2020, dan dewan pengawas IKAMAPA (Ikatan Keluarga Mahasiswa Pascasarjana Aceh) di Bogor pada tahun 2018/2019.

Selama mengikuti program S3, penulis telah mempublikasikan beberapa artikel ilmiah diantaranya:

1. “Modifikasi Iklim Mikro untuk Perbaikan Kualitas Lahan Kering” pada Seminar Nasional tema: Perbaikan Kualitas Lahan Kering untuk Meningkatkan Produksi Pertanian dan Ketahanan Pangan kerjasama pada September 2017 di Banda Aceh.
2. “Analisis Pertumbuhan, Perkembangan dan Produksi Kedelai (*Glycine max L. Mer*) di Bawah Tegakan Beberapa Tipe Penggunaan Lahan” pada Seminar Nasional Perkumpulan Agroteknologi/Agroekoteknologi Indonesia di Makasar 10-11 September 2018, dengan tema: Inovasi Teknologi Pertanian Lahan Kering dalam Mewujudkan Kemandirian Pangan Nasional Berkelanjutan, Makasar, 10-11 September 2018. Penerbit: Fakultas Pertanian Universitas Muslim Indonesia (UMI).
3. “*Intensifying of reflected radiation under oil palm canopy and its effect on growth and production of soybean*” dipublikasikan IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 365 (2019) 012001 doi:10.1088/1755-1315/365/1/012001 *International Conference on Agricultural Technology*,

Engineering, and Environmental Sciences (ICATES), themme: Challanges and opportunities toward industry 4.0. 21-23 Agustus 2019 Banda Aceh.

4. “*Microclimate Modified by Reflective Mulch Under Oil Palm Plantation and Its Role to Soybean Plants*”, Pemakalah dalam Simposium IX dan Kongres VIII PERHIMPI, dengan Tema Inovasi iklim pertanian menuju kemandirian pangan, ekonomi, energi dan lingkungan, Bogor 2-3 Oktober 2019.
5. “*Penggunaan Mulsa Reflektif pada Sistem Tumpangsari Kedelai - Kelapa Sawit*”. *Jurnal Agromet*. 33(2):71-83, 2019. Doi: <https://doi.org/10.29244/j.agromet.33.2.71-83>.
6. “*Canopy Microclimate Modification with Reflective Mulches Under Oil Palm and Its Role to Soybean Growth*”. *Jurnal Agromet*. 34 (1): 1-10, 2020. Doi: [10.29244/j.agromet.34.1.1-10](https://doi.org/10.29244/j.agromet.34.1.1-10)
7. “*The effectiveness of reflective mulch in the intercropping system between soybeans and oil palm: effects on growth, chlorophyll content and photosynthetic characteristics*” *Journal of Agricultural Meteorology (JAM)*. Japan. (*Status: accepted*).

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.