

Studi Komparatif Budidaya Kedelai di Bawah Panel Surya

(Menilai Perbedaan Pertumbuhan dan Produksi pada Tanaman Kedelai)



IPB University
— Bogor Indonesia —

DEPARTEMEN ILMU TANAH DAN SUMBERDAYA LAHAN

FAKULTAS PERTANIAN

INSTITUT PERTANIAN BOGOR

BOGOR

2025

Studi Komparatif Budidaya Kedelai di Bawah Panel Surya

Subjudul : Menilai Perbedaan Pertumbuhan dan Produksi pada Tanaman Kedelai
Penulis : Bambang Hendro Trisasongko, Affan Chahyahasna, Ketut Ksatria Mas
Dananjaya, Neng Siti Sindia N
Institusi : Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan

Abstrak

Permintaan global yang meningkat untuk pangan dan energi terbarukan telah memperketat persaingan untuk lahan subur, sehingga mendorong solusi inovatif seperti agriphotovoltaik (APV). Penelitian ini secara ketat mengevaluasi integrasi produksi energi surya dengan budidaya kedelai (*Glycine max*), tanaman penting di Indonesia, dengan membandingkan pertumbuhan dan hasil panen di bawah panel surya dibandingkan dengan lahan terbuka. Penelitian dilakukan di kebun percobaan Cikabayan, Bogor, Jawa Barat, dari Desember 2024 hingga Maret 2025, menggunakan desain eksperimen komparatif, dengan kedelai ditanam di bawah naungan langsung, naungan tidak langsung, dan kondisi lahan terbuka tanpa naungan. Data dari sampel tanaman menunjukkan tidak ada perbedaan fenologi yang signifikan ($t > 0,05$), yang menegaskan kemampuan adaptasi kedelai terhadap naungan. Namun, kedelai di bawah APV menunjukkan pertumbuhan vegetatif yang lebih baik, dengan luas daun yang jauh lebih besar ($75,9 \text{ cm}^2$ vs. 51 cm^2), tanaman lebih tinggi ($84,6 \text{ cm}$ vs. $65,2 \text{ cm}$), dan luas daun maksimum yang lebih besar ($1061,9 \text{ cm}^2$ vs. $538,6 \text{ cm}^2$). Hasil panen juga jauh lebih tinggi di bawah APV, ditunjukkan oleh jumlah polong yang lebih banyak ($70,9$ vs. $44,8$), bobot biji yang lebih berat ($46,5 \text{ g}$ vs. $26,5 \text{ g}$), dan bobot 1000 biji yang lebih besar (367 g vs. 299 g). Data pada tingkat petak mendukung temuan ini, dengan bobot total tanaman per petak rata-rata $25,275 \text{ kg}$ di bawah APV dibandingkan $10,925 \text{ kg}$ di lahan terbuka. Hasil ini secara meyakinkan menunjukkan bahwa sistem APV meningkatkan produktivitas kedelai melalui modifikasi mikroiklim, kemungkinan dengan mengurangi stres panas dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Penelitian ini secara tegas membuktikan potensi APV untuk mengoptimalkan penggunaan lahan dan meningkatkan hasil panen secara berkelanjutan, memberikan kontribusi signifikan bagi ilmu agronomi dan aplikasi praktis untuk mengintegrasikan energi terbarukan dengan pertanian. Penelitian di masa depan perlu mengevaluasi kesehatan tanah jangka panjang dan kelayakan ekonomi untuk menyempurnakan desain APV.

Kata Kunci: Agriphotovoltaik, Budidaya Kedelai, Panel Surya, Efek Naungan, Produktivitas Tanaman, Optimalisasi Penggunaan Lahan, Pertanian Berkelanjutan

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Penelitian : Studi Komparatif Budidaya Kedelai di Bawah Panel Surya: Menilai Perbedaan Pertumbuhan dan Produksi pada Tanaman Kedelai

Peneliti : Bambang Hendro Trisasongko, Affan Chahyahunsa, Ketut Ksatria Mas Dananjaya, Neng Siti Sindia N

Afiliasi : Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian IPB

Diketahui,
Plt Ketua Departemen
Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan

Dr. Sri Malahayati Yusuf, S.P., M.Si.
NIP. 198406102019032012

Pendahuluan

Latar Belakang

Permintaan global yang meningkat untuk pangan dan energi terbarukan telah memperketat persaingan untuk lahan subur, mendorong solusi inovatif seperti agriphotovoltaik (APV), yang mengintegrasikan produksi energi surya dengan budidaya tanaman di lahan yang sama. Dalam sistem APV, panel surya yang dipasang di atas lahan pertanian menciptakan mikroiklim yang teduh, mengubah intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan, yang berpotensi menguntungkan tanaman dengan mengurangi stres panas dan menghemat kelembapan tanah (Barron-Gafford et al., 2019). Meskipun APV telah diteliti untuk berbagai tanaman, penerapannya pada kedelai (*Glycine max*), tanaman penting di Indonesia dengan nilai ekonomi dan gizi yang signifikan, masih kurang dieksplorasi. Kedelai sensitif terhadap faktor lingkungan, dan naungan dapat memengaruhi fotosintesis, akumulasi biomassa, dan perkembangan fenologi (Wu et al., 2022).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa naungan sering kali memicu adaptasi morfologi, seperti peningkatan tinggi tanaman dan luas daun untuk meningkatkan penangkapan cahaya (Valladares & Niinemets, 2008), tetapi naungan berlebihan dapat mengurangi hasil panen dengan membatasi fotosintesis (Fan et al., 2018). Penelitian tentang sistem APV menunjukkan hasil yang beragam, dengan tanaman toleran naungan terkadang menghasilkan lebih tinggi di bawah panel surya (Marrou et al., 2013), sementara spesies yang bergantung pada sinar matahari menghadapi tantangan akibat berkurangnya ketersediaan cahaya (Agostini et al., 2022). Meskipun demikian, penelitian yang berfokus pada kedelai dalam konteks APV masih terbatas. Penelitian ini berhipotesis bahwa kedelai yang ditanam di bawah panel surya akan menunjukkan pola pertumbuhan yang berbeda dan berpotensi menghasilkan panen yang lebih tinggi karena mikroiklim yang dimodifikasi dibandingkan dengan lahan terbuka, mengatasi kesenjangan kritis dalam memahami bagaimana APV dapat mengoptimalkan penggunaan lahan dan meningkatkan produktivitas kedelai secara berkelanjutan (Dupraz et al., 2011).

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan pertumbuhan dan produksi tanaman kedelai yang dibudidayakan di bawah panel surya dengan yang di lahan terbuka. Tujuan spesifik meliputi:

- Menilai perbedaan tahap fenologi (misalnya, perkecambahan, pembungaan, pembentukan polong).
- Mengevaluasi parameter pertumbuhan vegetatif (misalnya, luas daun, tinggi tanaman).
- Menganalisis hasil panen dan kualitasnya (misalnya, produksi polong dan biji).

Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan di Bogor, Jawa Barat, Indonesia, dari Desember 2024 hingga Maret 2025. Penelitian ini melibatkan budidaya kedelai dalam tiga kondisi: naungan langsung panel surya, naungan tidak langsung (di bawah panel tetapi tidak langsung teduh), dan lahan terbuka tanpa naungan. Data dikumpulkan dari 36 sampel tanaman (12 per kondisi) menggunakan kultivar DETAP 1.

Signifikansi Penelitian

Secara teoretis, penelitian ini memajukan pengetahuan tentang respons tanaman terhadap naungan dalam sistem APV, berkontribusi pada ilmu agronomi. Secara praktis, penelitian ini memberikan wawasan bagi petani dan pembuat kebijakan tentang integrasi infrastruktur energi terbarukan dengan produksi kedelai, mempromosikan pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan efisiensi sumber daya.

Research Methodology

Desain Penelitian

Desain eksperimen komparatif digunakan, dengan kedelai ditanam di bawah panel surya (naungan langsung dan tidak langsung) serta di lahan terbuka.

Lokasi dan Durasi Penelitian

Penelitian dilakukan di kebun percobaan Cikabayan, Bogor, Jawa Barat, Indonesia, dari Desember 2024 hingga Maret 2025.

Data Budidaya

Proses budidaya kedelai dilakukan dengan praktik agronomi spesifik untuk memastikan pertumbuhan optimal. Lokasi budidaya, yang sebelumnya digunakan untuk rumput lahan terbuka, memiliki kedalaman muka air tanah lebih dari 1 meter, tanpa kemiringan, dan tanpa gangguan radiasi matahari, sehingga cocok untuk menanam kultivar kedelai DETAP 1. Penyemaian dilakukan pada 4 Januari 2025, menggunakan metode penanaman langsung dengan dua biji per lubang, dengan jarak 15 cm x 50 cm dalam arah timur-barat dan ditanam pada kedalaman 2–3 cm. Irigasi diterapkan secara manual melalui sistem sprinkler, memberikan 15 liter per alur tiga kali per minggu. Pemupukan dilakukan pada 11 Januari dan 8 Februari 2025, menggunakan pupuk majemuk (NPK + KCL) dengan dosis 500 g NPK dan 100 g KCL per alur, menyediakan 80 g N, 80 g P₂O₅, 180 g K₂O, dan 500 g dolomit, diterapkan 10 cm dari baris tanaman pada kedalaman 7–10 cm. Kompos, terdiri dari 20 kg kotoran sapi per alur, diterapkan pada 27 Desember 2024, pada kedalaman 10 cm. Pengolahan tanah dilakukan pada 18–19 Desember 2024, menggunakan kombinasi metode mesin dan manual hingga kedalaman 20–30 cm. Tindakan perlindungan tanaman meliputi aplikasi insektisida Matador 25 EC pada 30 Januari 2025, dengan dosis 1,75 liter (0,5 ml/L) untuk melindungi tanaman dari hama. Praktik-praktik ini secara kolektif mendukung pertumbuhan vegetatif kedelai dalam kondisi yang ditentukan.

Pengumpulan Data dan Parameter

Data dikumpulkan dari 36 sampel tanaman:

- 12 di bawah naungan langsung panel surya
- 12 di bawah naungan tidak langsung
- 12 di lahan terbuka

Parameter:

Fenologi: Perkecambahan biji, kemunculan, pembungaan, polong pertama, biji pertama

Pertumbuhan Vegetatif: Luas daun, jumlah daun trifoliat, tinggi tanaman, lebar kanopi, lebar batang

Panen: Bobot total tanaman, bobot akar, bobot bagian atas tanah, jumlah dan bobot polong, jumlah dan bobot biji, jumlah cabang, bobot batang, bobot 1000 biji

Data diperoleh selama fase vegetatif dan generatif.

Teknik Analisis Data

Analisis statistik, uji-t, diterapkan untuk membandingkan parameter antar kondisi (tingkat signifikansi $t < 0,05$).

Hasil dan Pembahasan

1. Pengamatan Fenologi

Perkecambahan dan Kemunculan: Konsisten di seluruh kondisi (9 dan 14 Januari 2025).

Pembungaan: Rata-rata tanggal: 16 Februari (di bawah APV) vs. 16-17 Februari (lahan terbuka); rentang: 12 vs. 8 hari.

Polong Pertama: Rata-rata tanggal: 25 Februari (di bawah APV) vs. 25 Februari (lahan terbuka); rentang: 8 vs. 5 hari.

Biji Pertama: Rata-rata tanggal: 2-3 Maret (di bawah APV) vs. 3 Maret (lahan terbuka); rentang: 9 vs. 6 hari.

Analisis Statistik: Nilai $t > 0,05$ (tidak ada perbedaan signifikan).

Tidak ada perbedaan fenologi yang signifikan ($t > 0,05$), menunjukkan kedelai beradaptasi baik dengan naungan. Variabilitas yang lebih besar di bawah panel (misalnya, rentang pembungaan 12 hari vs. 8 hari) mungkin mencerminkan heterogenitas mikroiklim.

2. Pertumbuhan Vegetatif di Bawah APV

Analisis statistik pertumbuhan vegetatif kedelai menunjukkan perbedaan signifikan antara tanaman yang dibudidayakan di bawah panel surya dan di lahan terbuka, dengan tanaman di bawah panel surya umumnya menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik di sebagian besar parameter. Pada tahap pertumbuhan awal, tanaman di bawah panel surya menunjukkan tinggi tanaman, luas daun maksimum, lebar tanaman, dan lebar batang yang jauh lebih besar, sementara luas daun menunjukkan perbedaan yang hampir signifikan dan jumlah daun tetap sebanding (Gambar 1). Kedelai di bawah APV (Tabel 1) menunjukkan luas daun yang lebih besar dan tanaman yang lebih tinggi (65,4 vs. 55,2 cm), kemungkinan karena etiolasi dan optimalisasi penangkapan cahaya. Adaptasi ini menunjukkan ketahanan terhadap cahaya

yang berkurang. Semua parameter kecuali lebar batang menunjukkan perbedaan signifikan pada tahap pertumbuhan, dengan tanaman di bawah panel surya secara konsisten menunjukkan nilai lebih tinggi untuk luas daun, jumlah daun, luas daun maksimum, tinggi tanaman, dan lebar tanaman (Gambar 1).

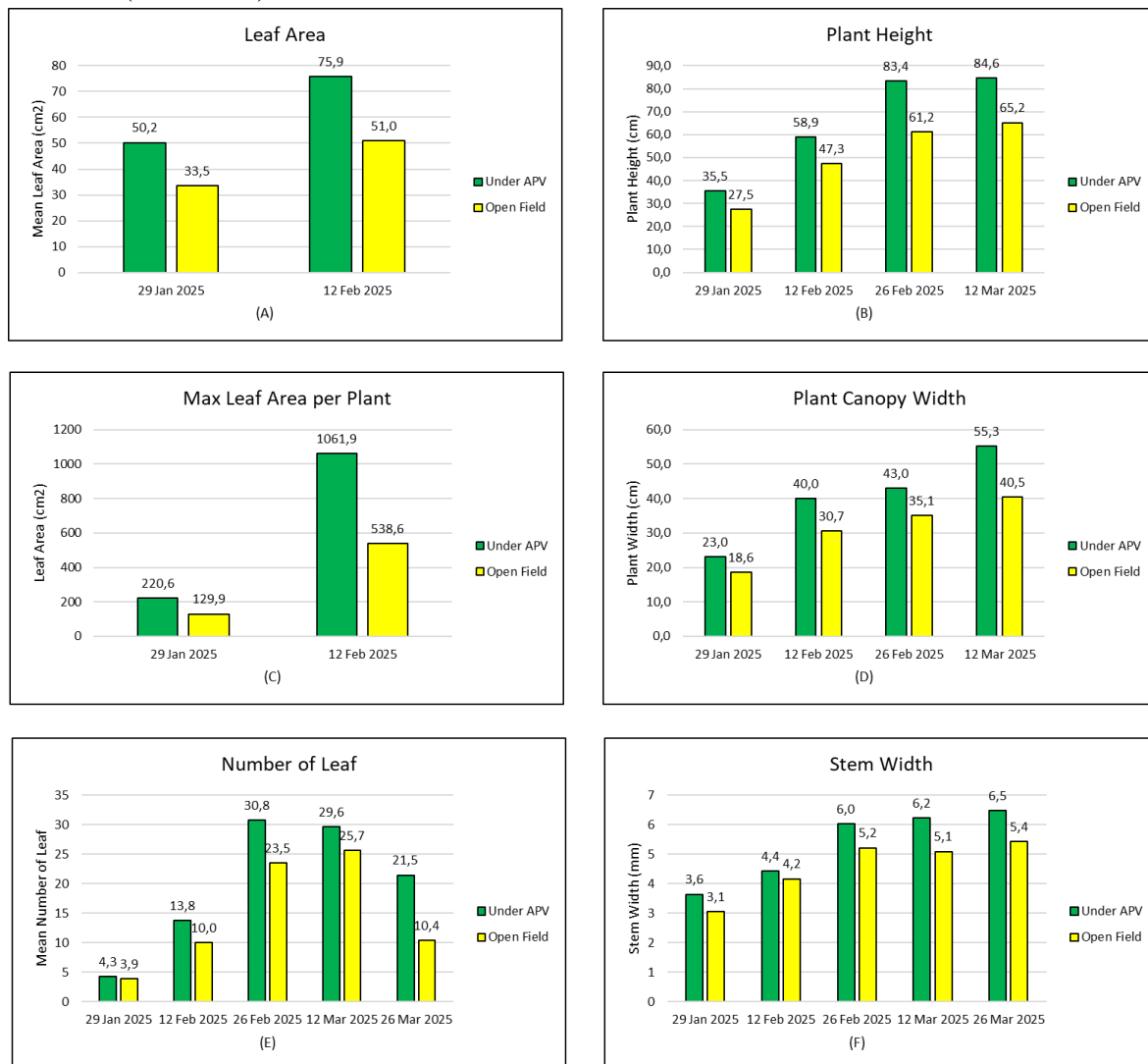


Figure 1. Sample Plant Growth Average (Vegetation Stage): Leaf Area (A); Plant Height (B); Max Leaf Area per Plant (C); Plant Canopy Width (D); Number of Leaf (E); and Stem Width (F)

Peristiwa ini menunjukkan bahwa lingkungan mikro di bawah panel surya, meskipun dengan sinar matahari langsung yang berkurang (terutama untuk sampel bernomor genap yang langsung teduh), mungkin memberikan keuntungan seperti perlindungan dari radiasi matahari berlebihan, kelembapan yang lebih stabil, atau suhu yang lebih teratur, yang mendorong pertumbuhan vegetatif yang lebih baik. Temuan ini menggarisbawahi potensi sistem agriphotovoltaik untuk budidaya kedelai, menawarkan manfaat ganda berupa penggunaan lahan yang efisien dan kinerja tanaman yang kompetitif atau bahkan lebih unggul dibandingkan dengan pertanian lahan terbuka tradisional. Namun, analisis ini terbatas oleh ketergantungan pada hanya dua titik waktu karena data yang tidak lengkap untuk tanggal lain, dan asumsi normalitas serta homogenitas varians tidak diuji secara eksplisit. Untuk lebih memvalidasi hasil

ini dan mengoptimalkan praktik agriphotovoltaik, penelitian tambahan yang mengintegrasikan data lingkungan terperinci, seperti kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan suhu, direkomendasikan.

Hasil Panen dan Implikasinya

Analisis statistik data panen kedelai menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam pertumbuhan dan hasil antara kedelai yang dibudidayakan di bawah panel surya dan di lahan terbuka (Gambar 2). Secara spesifik, pengukuran tanaman individu menunjukkan bahwa kedelai yang ditanam di bawah panel surya memiliki bobot tanaman yang jauh lebih besar (sekitar 108 g vs. 63 g), jumlah polong yang lebih banyak (sekitar 71 vs. 45), dan bobot biji yang lebih besar (sekitar 47 g vs. 26 g) dibandingkan dengan yang di lahan terbuka (Tabel 2), dengan perbedaan ini signifikan secara statistik ($t < 0,05$). Data tingkat petak lebih lanjut memperkuat temuan ini, menunjukkan bahwa bobot total tanaman per petak di bawah panel surya rata-rata 25,275 kg, jauh lebih tinggi daripada 10,925 kg di lahan terbuka, sementara bobot polong per petak juga lebih besar yaitu 13,7625 kg vs. 6,6625 kg.

Table 2. Soybean Harvest Data

Parameters	Under APV	Open Field
Plant Weight (gr)	107,7	63,2
Plant Weight Without Root (gr)	103,1	63,0
Leaf Weight (gr)	9,5	4,1
Number of Pods	70,9	44,8
Pods Weight (gr)	77,1	43,8
Number of Beans	156,0	99,0
Bean Weight (gr)	46,5	26,5
Number of Branches	12,1	7,8
Stem Weight (gr)	24,4	13,3
Average 1000 Kernel Weight (gr)	367,0	299,0

Kinerja yang lebih baik di bawah panel surya ini kemungkinan disebabkan oleh mikroiklim yang dimodifikasi, yang berpotensi memberikan keuntungan seperti pengurangan stres panas, perlindungan dari sinar matahari berlebihan, atau peningkatan efisiensi penggunaan air. Menariknya, dalam kelompok panel surya, tanaman yang tidak langsung teduh (sampel bernomor ganjil) sedikit lebih unggul dibandingkan yang langsung teduh (sampel bernomor genap), meskipun kedua kelompok ini melampaui tanaman di lahan terbuka. Hasil ini menggarisbawahi potensi sistem agriphotovoltaik untuk meningkatkan produktivitas kedelai sambil memanfaatkan lahan secara efisien. Namun, analisis ini memiliki keterbatasan, termasuk tidak adanya penyesuaian untuk pengujian berganda dan asumsi normalitas serta homogenitas varians yang belum diverifikasi, menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut tentang faktor lingkungan yang mendorong manfaat ini dan optimalisasi desain agriphotovoltaik untuk budidaya kedelai.

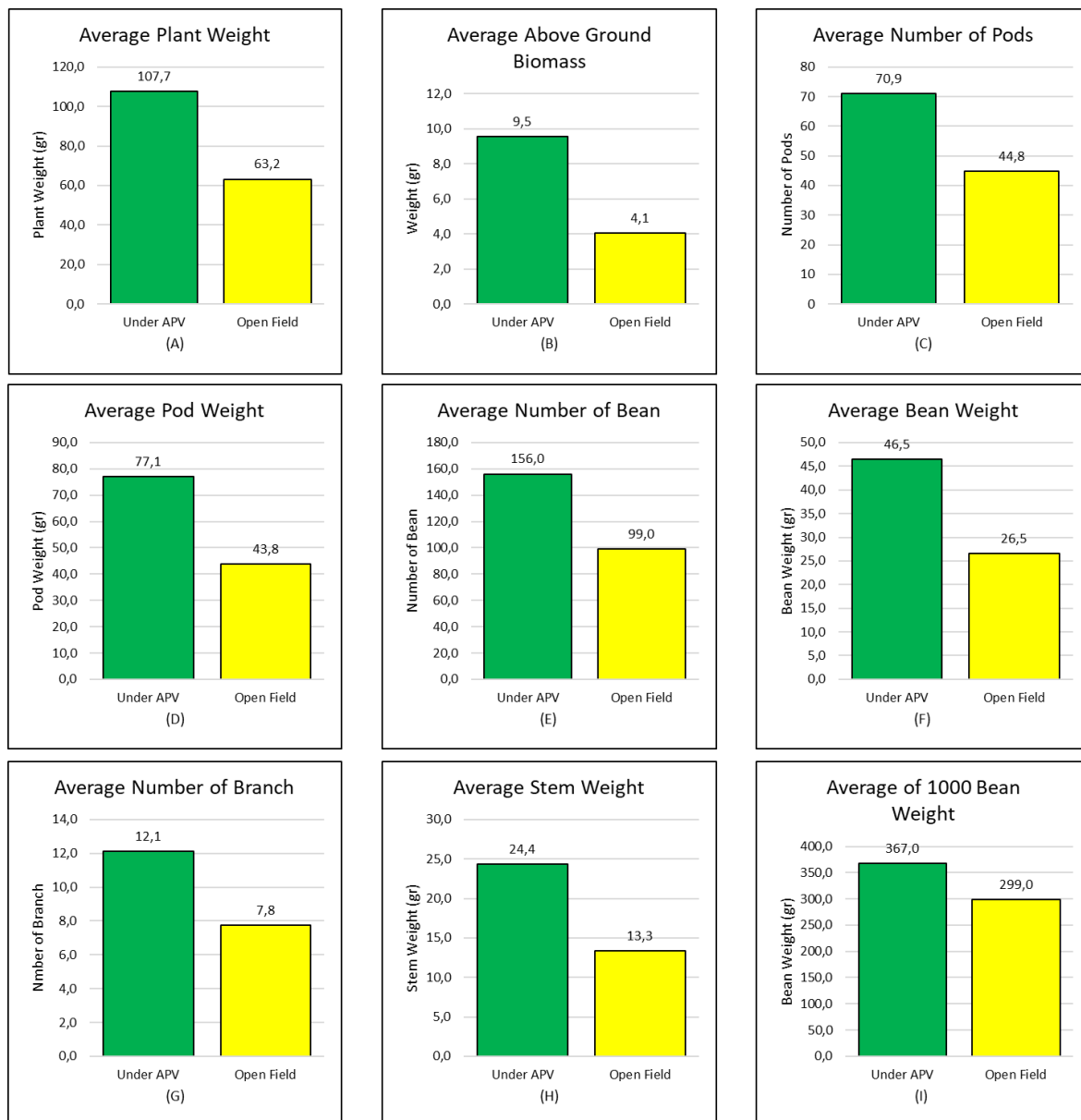


Figure 2. Average Sample Harvest Parameter: Plant weight (A); Above ground biomass (B); Nnumber of Pods (C); Pod weight (D); Number of bean (E); Bean weight (F); Number of branch; Stem Weight (G); Stem weight (H) and 1000 bean weight (I).

Kesimpulan dan Saran

Penelitian ini mengungkapkan bahwa kedelai yang dibudidayakan di bawah sistem agriphotovoltaik (APV) mengungguli yang ditanam di lahan terbuka dalam hal pertumbuhan vegetatif dan hasil panen, meskipun tidak menunjukkan perbedaan signifikan dalam tahap perkembangan fenologi. Pengamatan fenologi menunjukkan pola pertumbuhan yang konsisten di kedua kondisi. Namun, variabilitas yang lebih besar dalam waktu pembungaan di bawah APV (rentang 12 hari vs. 8 hari di lahan terbuka) menunjukkan bahwa mikroiklim yang teduh menyebabkan beberapa heterogenitas dalam respons tanaman.

Dalam hal pertumbuhan vegetatif, kedelai di bawah APV menunjukkan kinerja yang lebih baik di beberapa parameter. Analisis statistik mengkonfirmasi perbedaan signifikan di sebagian besar parameter, kecuali lebar batang, menunjukkan bahwa kedelai beradaptasi secara efektif dengan kondisi cahaya yang berkurang, mungkin melalui etiolasi dan optimalisasi penangkapan cahaya. Pertumbuhan vegetatif yang lebih baik ini kemungkinan didukung oleh lingkungan mikro di bawah panel surya, yang mungkin memberikan perlindungan dari radiasi matahari berlebihan, suhu yang lebih teratur, atau kelembapan yang lebih baik.

Data hasil panen lebih lanjut menyoroti keunggulan sistem APV. Kedelai yang ditanam di bawah panel surya menunjukkan nilai yang jauh lebih tinggi. Hasil pada tingkat petak memperkuat temuan ini, dengan bobot total tanaman per petak di bawah APV rata-rata 25,275 kg dibandingkan 10,925 kg di lahan terbuka, dan bobot polong per petak mencapai 13,7625 kg vs. 6,6625 kg. Perbedaan ini signifikan secara statistik ($t < 0,05$), menunjukkan bahwa mikroiklim yang dimodifikasi di bawah panel surya—kemungkinan mengurangi stres panas dan meningkatkan efisiensi penggunaan air—meningkatkan produktivitas dan kualitas biji.

Temuan ini menggarisbawahi potensi sistem APV untuk mengintegrasikan produksi energi terbarukan dengan pertanian, menawarkan manfaat ganda berupa peningkatan hasil kedelai dan penggunaan lahan yang efisien. Namun, keterbatasan penelitian, termasuk ketergantungan pada titik data terbatas, data deret waktu yang tidak lengkap, dan asumsi normalitas serta homogenitas varians yang belum diverifikasi, menyarankan kehati-hatian dalam menggeneralisasi hasil ini. Penelitian di masa depan harus fokus pada pengumpulan data lingkungan terperinci—seperti kelembapan tanah, intensitas cahaya, dan suhu—untuk mengidentifikasi faktor spesifik yang mendorong manfaat ini dan untuk mengoptimalkan desain APV untuk budidaya kedelai yang berkelanjutan.

Saran untuk Penelitian Masa Depan

- Menilai dampak kesehatan tanah jangka panjang dalam sistem APV.
- Mengevaluasi kelayakan ekonomi dan output energi bersama dengan hasil panen.

Daftar Pustaka

- Agostini, A., Colauzzi, M. and Amaducci, S., 2021. Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. *Applied Energy*, 281, p.116102.
- Barron-Gafford, G.A., Pavao-Zuckerman, M.A., Minor, R.L., Sutter, L.F., Barnett-Moreno, I., Blackett, D.T., Thompson, M., Dimond, K., Gerlak, A.K., Nabhan, G.P. and Macknick, J.E., 2019. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. *Nature Sustainability*, 2(9), pp.848-855. doi:10.1038/s41893-019-0364-5
- Dupraz, C., Marrou, H., Talbot, G., Dufour, L., Nogier, A. and Ferard, Y., 2011. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. *Renewable energy*, 36(10), pp.2725-2732.. doi:10.1016/j.solener.2011.06.025
- Fan, Y., Chen, J., Cheng, Y., Raza, M.A., Wu, X., Wang, Z., Liu, Q., Wang, R., Wang, X., Yong, T. and Liu, W., 2018. 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), p.e0198159.
- Marrou, H., Guillioni, L., Dufour, L., Dupraz, C. and Wery, J., 2013. Microclimate under agrivoltaic systems: Is crop growth rate affected in the partial shade of solar panels?. *Agricultural and Forest Meteorology*, 177, pp.117-132. doi:10.1016/j.agrformet.2013.04.010
- Valladares, F. and Niinemets, Ü., 2008. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 39(1), pp.237-257. doi:10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173506
- Wu, Y., Chen, P., Gong, W., Gul, H., Zhu, J., Yang, F., Wang, X., Yong, T., Liu, J., Pu, T. and Yan, Y., 2022. Morphological and physiological variation of soybean seedlings in response to shade. *Frontiers in Plant Science*, 13, p.1015414.