

POTENSI BUDIDAYA TANAMAN KEDELAI DI BAWAH NAUNGAN KELAPA SAWIT DI KABUPATEN ASAHAH

Lokot Ridwan Batu Bara, Deddy Wahyudin Purba*

Fakultas Pertanian, Universitas Asahan, Jl. Jend. A. Yani, Kisaran Naga, Kisaran, Sumatera Utara, Indonesia. Postcode 21216

Correponding author: deddywahyudin086@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan ruang bawah tegakan kelapa sawit melalui sistem tumpangsari merupakan salah satu upaya strategis untuk meningkatkan efisiensi penggunaan lahan dan pendapatan petani. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi budidaya tanaman kedelai di bawah naungan kelapa sawit di Kabupaten Asahan ditinjau dari aspek pertumbuhan, hasil, ekonomi, dan keberlanjutan sistem. Naungan tajuk kelapa sawit menyebabkan penurunan intensitas cahaya yang memengaruhi pertumbuhan vegetatif dan komponen hasil kedelai, terutama pada fase generatif. Namun demikian, tanaman kedelai menunjukkan kemampuan adaptasi pada tingkat naungan tertentu melalui perubahan morfologi dan fisiologi. Keberhasilan budidaya sangat dipengaruhi oleh pemilihan varietas toleran naungan serta penerapan teknik budidaya adaptif, seperti pengaturan waktu tanam, jarak tanam, dan manajemen hara. Dari sisi ekonomi, sistem tumpangsari kedelai-kelapa sawit berpotensi meningkatkan pendapatan petani, khususnya pada perkebunan kelapa sawit fase tanaman belum menghasilkan, serta mendukung optimalisasi pemanfaatan lahan tanpa perlu pembukaan lahan baru. Selain itu, integrasi kedelai sebagai tanaman leguminosa berkontribusi terhadap perbaikan kesuburan tanah dan mendukung prinsip pertanian berkelanjutan. Dengan demikian, budidaya kedelai di bawah naungan kelapa sawit di Kabupaten Asahan memiliki prospek yang layak untuk dikembangkan sebagai bagian dari strategi intensifikasi pertanian berkelanjutan, dengan dukungan penelitian lanjutan, penyuluhan, dan kebijakan yang tepat.

Kata kunci: *kedelai; kelapa sawit; tumpangsari; naungan; keberlanjutan; Kabupaten Asahan*

ABSTRACT

Utilizing the understory of oil palm plantations through an intercropping system is a strategic effort to improve land use efficiency and farmer income. This study aims to assess the potential for soybean cultivation under oil palm canopy in Asahan Regency in terms of growth, yield, economics, and system sustainability. Shading from oil palm canopies reduces light intensity, which affects vegetative growth and soybean yield components, especially during the generative phase. However, soybean plants demonstrate the ability to adapt to certain levels of shade through morphological and physiological changes. Cultivation success is strongly influenced by the selection of shade-tolerant varieties and the application of adaptive cultivation techniques, such as planting time, spacing, and nutrient management. From an economic perspective, the soybean-oil palm intercropping system has the potential to increase farmer income, especially in immature oil palm plantations, and supports the optimization of land use without the need for new land clearing. In addition, the integration of soybean as a legume contributes to improving soil fertility and supports the principles of sustainable agriculture. Thus, soybean cultivation under oil palm plantations in Asahan Regency has good prospects for development as part of a sustainable agricultural intensification strategy, with the support of further research, extension, and appropriate policies.

Keywords: *soybean; oil palm; intercropping; shade; sustainability; Asahan Regency*

Pendahuluan

Kabupaten Asahan merupakan salah satu daerah dengan luas perkebunan kelapa sawit yang signifikan di Sumatera Utara; produksi Tandan Buah Segar (TBS) dan kontribusi ekonomi sektor perkebunan

menjadi sumber pendapatan penting bagi masyarakat setempat. Keberadaan hamparan kelapa sawit yang luas membuka peluang pemanfaatan ruang bawah tegakan (*understorey*) untuk tanaman pangan bernilai tambah, termasuk kedelai (Asahan,

2024). Kedelai (*Glycine max L.*) adalah sumber protein nabati penting dan komoditas strategis bagi ketahanan pangan nasional; namun produksi domestik seringkali belum memenuhi permintaan, sehingga peningkatan produksi melalui diversifikasi sistem tanam mendapat perhatian kebijakan dan penelitian. Interaksi antara tanaman tahunan (kelapa sawit) dan tanaman semusim (kedelai) di bawah naungan perlu dieksplorasi untuk meningkatkan produktivitas lahan dan kesejahteraan petani.

Studi agronomi terkini menunjukkan bahwa kedelai dapat berproduksi baik di bawah naungan pohon kelapa sawit muda atau pada fase tertentu jika dipilih varietas toleran naungan dan diterapkan praktik budidaya yang sesuai, beberapa penelitian melaporkan potensi produksi komersial di area bawah tegakan, khususnya pada kebun kelapa sawit usia muda hingga sekitar 3–4 tahun. Hal ini menegaskan bahwa pemanfaatan area understorey dapat meningkatkan intensifikasi berkelanjutan (Harsono & Harnowo, 2022).

Toleransi kedelai terhadap naungan berhubungan dengan adaptasi morfologi dan fisiologi, seperti regulasi struktur kanopi, rasio daun-tegak, dan efisiensi fotosintesis pada kondisi cahaya terbatas; varietas kedelai yang lebih toleran naungan mampu mempertahankan hasil biji relatif lebih baik dibanding varietas biasa. Oleh karena itu, pemilihan varietas yang tepat merupakan komponen kunci dalam strategi budidaya kedelai di bawah kelapa sawit (Cheng et al., 2022).

Sistem tumpangsari antara kelapa sawit dan kedelai menawarkan beberapa keuntungan agronomi dan ekonomi: meningkatkan pemanfaatan ruang, menambah pendapatan jangka pendek bagi pekebun sebelum kelapa sawit menghasilkan penuh, meningkatkan keragaman tanaman, serta potensi perbaikan kualitas tanah melalui perbaikan nitrogen biologis oleh kedelai. Namun manfaat tersebut harus ditimbang terhadap potensi kompetisi sumber daya (air, nutrien, cahaya) dan implikasi pengelolaan kebun (Mirdoraghi et al., 2024). Penelitian lapang

dari berbagai kawasan (termasuk studi pada dataran pasang surut dan kebun kelapa sawit muda) mengindikasikan bahwa keberhasilan budidaya kedelai di bawah kelapa sawit dipengaruhi oleh faktor usia tegakan, jarak tanam kelapa sawit, intensitas naungan, jenis tanah, dan praktik manajemen seperti pemupukan, pengendalian gulma, serta waktu tanam. Oleh karena itu, rekomendasi budidaya perlu disesuaikan secara lokal (Harsono & Harnowo, 2022).

Di Kabupaten Asahan, di mana sektor kelapa sawit menyumbang porsi besar terhadap PDRB dan mata pencaharian warga pedesaan, adopsi tumpangsari kedelai berpotensi mendukung diversifikasi pendapatan petani plasma maupun perkebun masyarakat. Pendekatan ini juga sejalan dengan upaya intensifikasi berkelanjutan yang didorong proyek dan inisiatif terkait pengelolaan berkelanjutan rantai nilai kelapa sawit (Haliza et al., 2025). Meski berpotensi, tumpangsari kedelai-kelapa sawit masih menghadapi tantangan penelitian dan adopsi: ketersediaan varietas kedelai tolerant naungan yang unggul secara produktivitas lokal, adaptasi teknik pemupukan dan pengendalian hama/penyakit pada kondisi naungan, serta aspek ekonomi-laik usaha bagi petani. Kajian biaya-manfaat dan analisis kelayakan skala petani diperlukan untuk memastikan rekomendasi yang aplikatif (Mirdoraghi et al., 2024).

Penelitian yang terintegrasi menggabungkan uji varietas, pemodelan naungan dan cahaya, serta evaluasi sosial-ekonomi di tingkat kebun penting untuk merumuskan paket teknologi tumpangsari yang sesuai bagi konteks Asahan. Selain itu, penyuluhan dan mekanisme pasar untuk hasil kedelai menjadi faktor penentu keberlanjutan adopsi oleh pelaku usaha tani (Harsono & Harnowo, 2022). Berdasarkan peluang dan tantangan tersebut, karya tulis ilmiah ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi budidaya kedelai di bawah naungan kelapa sawit di Kabupaten Asahan dengan pendekatan agronomis dan ekonomi, termasuk identifikasi varietas yang sesuai, praktik budidaya adaptif, dan prospek manfaat bagi ketahanan pangan lokal serta pendapatan petani. Temuan diharapkan memberikan dasar teknis dan kebijakan bagi

pengembangan model tumpangsari yang produktif dan berkelanjutan di wilayah berperan penting dalam komoditas kelapa sawit ini.

Pembahasan

1. Pengaruh Naungan Kelapa Sawit terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kedelai.

Naungan tajuk kelapa sawit merupakan faktor lingkungan utama yang memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai pada sistem tumpangsari. Tajuk kelapa sawit menyebabkan penurunan intensitas radiasi fotosintetik (photosynthetically active radiation/PAR) yang mencapai permukaan tanah, sehingga mengurangi energi yang tersedia bagi proses fotosintesis tanaman bawah. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa penurunan PAR sebesar 30–60% sudah cukup menimbulkan perubahan nyata pada pertumbuhan dan komponen hasil kedelai, terutama pada fase generatif yang sensitif terhadap cekaman cahaya (Li et al., 2023; Zhang et al., 2024).

Pada fase vegetatif, tanaman kedelai di bawah naungan kelapa sawit umumnya menunjukkan peningkatan tinggi tanaman disertai penurunan jumlah cabang produktif. Respons ini merupakan bentuk adaptasi morfologis terhadap cahaya rendah (shade avoidance response), di mana tanaman memanjangkan batang untuk memperoleh cahaya yang lebih optimal. Namun, peningkatan tinggi tanaman tersebut tidak selalu diikuti oleh peningkatan biomassa produktif, karena alokasi asimilat cenderung lebih banyak diarahkan ke pertumbuhan batang dibandingkan pembentukan organ reproduktif (Chen et al., 2023).

Naungan juga memengaruhi karakter daun kedelai, antara lain meningkatnya luas daun spesifik (specific leaf area) dan menurunnya ketebalan daun. Adaptasi ini bertujuan meningkatkan efisiensi penangkapan cahaya pada kondisi intensitas rendah. Meski demikian, penelitian fisiologi tanaman menunjukkan bahwa efisiensi

fotosintesis bersih per satuan luas daun tetap menurun akibat keterbatasan energi cahaya, sehingga akumulasi fotosintat total tetap lebih rendah dibandingkan kondisi tanpa naungan (Wang et al., 2024).

Dampak naungan kelapa sawit terhadap hasil kedelai menjadi lebih nyata pada fase generatif, khususnya saat pembungaan dan pengisian biji. Kekurangan cahaya pada fase ini menyebabkan peningkatan gugur bunga dan polong muda, serta penurunan laju pengisian biji. Studi lapang terbaru pada sistem agroforestri dan perkebunan tahunan menunjukkan bahwa penurunan jumlah polong per tanaman merupakan komponen hasil yang paling sensitif terhadap naungan, diikuti oleh penurunan bobot biji per tanaman (Rahman et al., 2024; Sari et al., 2023).

Selain intensitas cahaya, durasi dan waktu terjadinya naungan juga berpengaruh terhadap tingkat penurunan hasil. Naungan yang terjadi secara terus-menerus sepanjang siklus hidup tanaman memberikan dampak lebih besar dibandingkan naungan parsial atau musiman. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa kedelai masih dapat toleransi naungan pada fase vegetatif awal, namun sangat rentan terhadap cekaman cahaya pada fase reproduktif, sehingga sinkronisasi waktu tanam menjadi faktor penting dalam sistem tumpangsari kelapa sawit–kedelai (Putri et al., 2023).

Usia dan struktur tajuk kelapa sawit sangat menentukan tingkat naungan yang diterima tanaman kedelai. Pada kebun kelapa sawit berumur muda hingga awal menghasilkan, tajuk belum menutup rapat sehingga intensitas cahaya yang mencapai lantai kebun masih relatif tinggi dan fluktuatif. Pada kondisi ini, beberapa penelitian melaporkan bahwa kedelai masih mampu menghasilkan produksi yang layak secara agronomis, meskipun lebih rendah dibandingkan lahan terbuka. Sebaliknya, pada kelapa sawit berumur tua dengan kanopi rapat,

tingkat naungan yang tinggi menyebabkan penurunan hasil kedelai yang signifikan dan sering kali tidak ekonomis (Hidayat et al., 2024).

Variabilitas genetik juga berperan penting dalam menentukan respons kedelai terhadap naungan. Varietas atau genotipe yang memiliki toleransi naungan lebih baik cenderung mampu mempertahankan rasio hasil biji terhadap biomassa total dan menunjukkan penurunan hasil yang lebih rendah. Penelitian pemuliaan tanaman terkini mengidentifikasi bahwa karakter seperti efisiensi penggunaan cahaya, sudut daun, dan kemampuan mempertahankan fotosintesis pada cahaya rendah merupakan indikator penting toleransi naungan pada kedelai (Zhou et al., 2024).

Meskipun secara umum naungan kelapa sawit menurunkan hasil kedelai, beberapa studi menunjukkan bahwa penurunan tersebut masih dapat diterima apabila dibandingkan dengan kondisi lahan bawah tegakan yang tidak dimanfaatkan sama sekali. Dalam konteks optimalisasi penggunaan lahan, hasil kedelai yang diperoleh dari sistem tumpangsari tetap memberikan kontribusi terhadap peningkatan produktivitas total lahan dan diversifikasi pendapatan petani, khususnya pada fase kebun kelapa sawit belum menghasilkan (FAO, 2023; World Bank, 2024).

Dengan demikian, pengaruh naungan kelapa sawit terhadap pertumbuhan dan hasil kedelai bersifat kompleks dan dipengaruhi oleh intensitas serta durasi naungan, fase pertumbuhan tanaman, usia kelapa sawit, dan karakter varietas kedelai yang digunakan. Pemahaman yang komprehensif terhadap interaksi faktor-faktor tersebut menjadi dasar penting dalam merancang sistem budidaya kedelai di bawah kelapa sawit yang produktif dan berkelanjutan, khususnya di wilayah perkebunan seperti Kabupaten Asahan.

2. Peran Varietas dan Teknik Budidaya Adaptif

Pemilihan varietas kedelai merupakan faktor kunci dalam keberhasilan budidaya di bawah naungan kelapa sawit. Varietas yang toleran terhadap cekaman cahaya rendah umumnya memiliki karakter morfologi dan fisiologi yang lebih adaptif, seperti sudut daun yang lebih efisien dalam menangkap cahaya, laju fotosintesis yang relatif stabil pada intensitas cahaya rendah, serta rasio alokasi biomassa ke biji yang lebih baik dibandingkan varietas sensitif naungan. Penelitian terkini menegaskan bahwa perbedaan genotipe berpengaruh signifikan terhadap kemampuan kedelai mempertahankan hasil pada sistem tumpangsari dan agroforestri (Putri et al., 2023; Zhou et al., 2024).

Varietas toleran naungan cenderung menunjukkan penurunan hasil yang lebih rendah akibat cekaman cahaya dibandingkan varietas umum yang dikembangkan untuk lahan terbuka. Studi penapisan varietas dan analisis fisiologi tanaman melaporkan bahwa varietas tersebut mampu mempertahankan aktivitas fotosintesis dan efisiensi penggunaan cahaya, terutama pada fase pembungaan dan pengisian biji yang sangat menentukan hasil akhir. Oleh karena itu, penggunaan varietas unggul toleran naungan menjadi strategi adaptasi utama dalam sistem budidaya kedelai di bawah kelapa sawit (Li et al., 2023; Wang et al., 2024).

Selain varietas, teknik budidaya adaptif berperan penting dalam meminimalkan dampak kompetisi sumber daya antara kedelai dan kelapa sawit. Pengaturan jarak tanam kedelai yang lebih optimal bertujuan mengurangi kompetisi antar tanaman kedelai sendiri serta memaksimalkan pemanfaatan cahaya yang tersedia. Penelitian lapang terbaru menunjukkan bahwa kepadatan tanam sedang lebih efektif dibandingkan kepadatan tinggi pada kondisi naungan, karena mampu menyeimbangkan

pertumbuhan vegetatif dan pembentukan hasil (Rahman et al., 2024).

Waktu tanam juga menjadi komponen penting dalam strategi adaptif. Sinkronisasi waktu tanam kedelai dengan fase pertumbuhan kelapa sawit yang masih memungkinkan penetrasi cahaya relatif lebih tinggi, seperti pada awal musim hujan atau pada sawit berumur muda, terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil kedelai. Beberapa penelitian menyatakan bahwa kedelai yang ditanam pada periode dengan fluktuasi cahaya lebih besar memiliki peluang lebih baik dalam pembentukan polong dibandingkan tanaman yang mengalami naungan berat secara terus-menerus (Hidayat et al., 2024).

Manajemen hara pada sistem tumpangsari juga perlu disesuaikan. Kompetisi unsur hara, khususnya nitrogen, fosfor, dan kalium, dapat meningkat pada lahan bawah tegakan kelapa sawit. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penyesuaian dosis dan waktu aplikasi pupuk, termasuk pemanfaatan pupuk organik dan inokulan rhizobium, mampu meningkatkan efisiensi penyerapan hara serta mendukung pertumbuhan kedelai di bawah naungan. Pendekatan ini juga sejalan dengan prinsip pertanian berkelanjutan dan pengelolaan kesuburan tanah jangka panjang (Sari et al., 2023; FAO, 2024).

Selain itu, praktik pengelolaan tajuk kelapa sawit, seperti pengaturan pelepah dan sanitasi kebun, dilaporkan dapat meningkatkan intensitas cahaya yang mencapai lantai kebun tanpa mengganggu produktivitas sawit. Kombinasi antara varietas toleran naungan dan teknik budidaya adaptif yang tepat terbukti mampu meningkatkan kelayakan agronomis dan ekonomi budidaya kedelai di bawah kelapa sawit, khususnya pada fase kebun belum menghasilkan (World Bank, 2024).

Secara keseluruhan, peran varietas dan teknik budidaya adaptif tidak dapat dipisahkan dalam pengembangan sistem tumpangsari kedelai-kelapa sawit. Integrasi varietas toleran naungan dengan pengelolaan jarak tanam, waktu tanam, dan pemupukan yang sesuai merupakan pendekatan strategis untuk mengurangi dampak negatif naungan, meningkatkan stabilitas hasil, dan mendukung optimalisasi pemanfaatan lahan perkebunan kelapa sawit secara berkelanjutan.

3. Implikasi Ekonomi dan Keberlanjutan Sistem Tumpangsari

Penerapan sistem tumpangsari kedelai di bawah tegakan kelapa sawit memberikan implikasi ekonomi yang signifikan, khususnya bagi petani pada fase tanaman belum menghasilkan (TBM). Pemanfaatan ruang antarbarisan kelapa sawit yang selama ini belum produktif memungkinkan petani memperoleh pendapatan tambahan tanpa perlu membuka lahan baru. Beberapa penelitian nasional menunjukkan bahwa tumpangsari tanaman pangan, termasuk kedelai, mampu meningkatkan pendapatan total usahatani dan memperbaiki efisiensi pemanfaatan lahan perkebunan, terutama pada perkebunan rakyat dengan keterbatasan modal selama masa tunggu produksi sawit (Pramono et al., 2024; Arifiyanto et al., 2023).

Dari sudut pandang kelayakan ekonomi, sistem tumpangsari kedelai-kelapa sawit dinilai menguntungkan apabila produktivitas kedelai, biaya input, dan harga jual berada pada kondisi yang mendukung. Studi analisis usahatani yang dipublikasikan dalam jurnal terindeks SINTA melaporkan bahwa rasio penerimaan terhadap biaya (R/C ratio) dan nilai B/C pada sistem tumpangsari dapat bernilai positif, meskipun hasil kedelai per satuan luas umumnya lebih rendah dibandingkan sistem monokultur di lahan terbuka. Hal ini menegaskan bahwa keuntungan sistem tumpangsari tidak semata-mata

ditentukan oleh hasil kedelai, tetapi oleh peningkatan pendapatan agregat dan optimalisasi sumber daya lahan (Nurhayati, 2020; Gani, 2023).

Selain aspek ekonomi, sistem tumpangsari juga memiliki implikasi positif terhadap keberlanjutan agroekosistem perkebunan kelapa sawit. Kehadiran tanaman kedelai sebagai leguminosa berkontribusi pada perbaikan kesuburan tanah melalui penambatan nitrogen biologis, peningkatan bahan organik tanah, serta perbaikan struktur tanah akibat penutupan permukaan lahan. Beberapa penelitian di jurnal nasional menunjukkan bahwa integrasi tanaman pangan pada perkebunan tahunan mampu menurunkan tingkat erosi, menekan pertumbuhan gulma, dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk anorganik dalam jangka menengah (Arifiyanto et al., 2023; Pramono et al., 2024).

Namun demikian, keberlanjutan sistem tumpangsari sangat dipengaruhi oleh kemampuan petani dalam menerapkan teknik budidaya yang tepat. Tanpa pengelolaan yang baik, tumpangsari berpotensi meningkatkan kompetisi hara dan air serta menambah beban tenaga kerja. Penelitian nasional menekankan pentingnya peran penyuluhan pertanian, ketersediaan benih unggul, serta dukungan kebijakan untuk memastikan bahwa sistem tumpangsari tidak hanya menguntungkan secara ekonomi, tetapi juga berkelanjutan secara sosial dan lingkungan (Gani, 2023; Nurhayati, 2020).

Secara keseluruhan, sistem tumpangsari kedelai di bawah naungan kelapa sawit memiliki implikasi ekonomi dan keberlanjutan yang positif apabila diterapkan pada kondisi yang tepat, khususnya pada kelapa sawit fase TBM hingga awal menghasilkan. Sistem ini mendukung peningkatan pendapatan petani, optimalisasi pemanfaatan lahan, serta penerapan prinsip intensifikasi pertanian

berkelanjutan. Oleh karena itu, pengembangan tumpangsari kedelai-kelapa sawit di wilayah seperti Kabupaten Asahan layak dipertimbangkan sebagai strategi integratif yang menggabungkan aspek ekonomi, ekologi, dan sosial dalam pengelolaan perkebunan kelapa sawit.

Kesimpulan

Budidaya tanaman kedelai di bawah naungan kelapa sawit di Kabupaten Asahan memiliki potensi agronomis dan ekonomi yang layak dikembangkan, terutama pada perkebunan kelapa sawit fase tanaman belum menghasilkan hingga awal menghasilkan. Naungan tajuk kelapa sawit terbukti memengaruhi pertumbuhan dan hasil kedelai melalui penurunan intensitas cahaya, yang berdampak pada perubahan morfologi, fisiologi, serta komponen hasil tanaman. Namun demikian, kedelai masih mampu beradaptasi pada tingkat naungan tertentu dan menghasilkan produksi yang secara agronomis masih dapat diterima.

Keberhasilan sistem tumpangsari kedelai-kelapa sawit sangat ditentukan oleh pemilihan varietas yang toleran terhadap cekaman cahaya rendah serta penerapan teknik budidaya adaptif, meliputi pengaturan waktu tanam, jarak tanam, dan manajemen hara yang tepat. Integrasi varietas unggul toleran naungan dengan praktik budidaya yang sesuai mampu menekan penurunan hasil kedelai dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya lahan di bawah tegakan kelapa sawit.

Dari aspek ekonomi dan keberlanjutan, sistem tumpangsari kedelai memberikan manfaat berupa peningkatan pendapatan petani, optimalisasi pemanfaatan lahan perkebunan, serta kontribusi terhadap perbaikan kesuburan tanah dan pengurangan tekanan pembukaan lahan baru. Oleh karena itu, pengembangan tumpangsari kedelai di bawah kelapa sawit berpotensi menjadi strategi intensifikasi pertanian berkelanjutan yang mendukung ketahanan pangan dan kesejahteraan petani di Kabupaten Asahan, dengan catatan

didukung oleh penelitian lanjutan, penyuluhan yang intensif, dan kebijakan yang berpihak pada petani.

Daftar Pustaka

- Arifiyanto, A., Inah, S., Ningsih, I. S., Ekowati, C. N., & Handayani, T. T. (2023). Petak percontohan tumpangsari kedelai (*Glycine max* L.) pada sistem pertanian terpadu. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 23(2), 85–94.
- Asahan, D. K. K. (2024). *Rencana Tenaga Kerja Kabupaten Asahan Tahun 2024-2029*.
- Chen, Y., Liu, X., Zhang, H., & Wang, P. (2023). Physiological and morphological responses of soybean (*Glycine max* L.) to reduced light intensity under agroforestry systems. *Plant Physiology and Biochemistry*, 198, 107654. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.107654>
- Cheng, B., Wang, L., Liu, R., Wang, W., Yu, R., Zhou, T., Ahmad, I., Raza, A., Jiang, S., Xu, M., Liu, C., Yu, L., Wang, W., Jing, S., Liu, W., & Yang, W. (2022). Shade-Tolerant Soybean Reduces Yield Loss by Regulating Its Canopy Structure and Stem Characteristics in the Maize–Soybean Strip Intercropping System. *Front Plant Sci.*
- FAO. (2023). *Intercropping and sustainable intensification in perennial crop systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAO. (2024). *Legume-based intercropping systems for sustainable crop production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Gani, L. F. (2023). Keragaan pertumbuhan dan produksi kedelai edamame pada sistem tumpangsari. *Jurnal Agribisnis dan Sosial Ekonomi Pertanian*, 8(1), 12–21
- Haliza, N., Nabillah, R., Manalu, R. H. R., & Suhendra. (2025). Strategi Pengembangan Produk Unggulan Kelapa Sawit Di Kabupaten Asahan: Analisis Location Quotient (LQ) Dan Swot Sebagai Upaya Peningkatan Nilai Tambah. *Jurnal Studi Multidisipliner*, 9(6).
- Harsono, & Harnowo. (2022). The potential of area under young oil palm plantation on tidal swamps for soybean development. In IOP Publishing (Ed.), *The 2nd International Conference on Sustainable Plantation*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 974. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/974/1/012099>
- Hidayat, R., Siregar, M., & Lubis, A. (2024). Productivity of soybean intercropped under young oil palm plantation in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1263(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1263/1/012045>
- Hidayat, R., Siregar, M., Lubis, A., & Nasution, H. (2024). Adaptive cropping practices of soybean under young oil palm plantations in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1271(1), 012033. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1271/1/012033>
- Li, Q., Zhao, X., Sun, J., & Liu, B. (2023). Shade stress effects on photosynthetic characteristics and yield formation of soybean. *Agronomy*, 13(9), 2247. <https://doi.org/10.3390/agronomy13092247>
- Li, Q., Zhao, X., Sun, J., & Liu, B. (2023). Genotypic variation in soybean response to shade stress: Implications for intercropping systems. *Agronomy*, 13(10), 2481. <https://doi.org/10.3390/agronomy13102481>
- Mirdoraghi, M., Farahani, S. M., & Rezazadeh, A. (2024). Oilseeds in intercropping systems: Strategies to

- increase oil quality and fatty acid profile, a review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101229>.
- Nurhayati, N. (2020). Potensi pengembangan tumpangsari kedelai pada perkebunan kelapa sawit rakyat. *Jurnal Agrisistem*, 16(2), 97–106.
- Pramono, E., Manik, T. K. B., Hadi, M. S., & Salsabila, E. F. (2024). Analisis ekonomi sistem tumpangsari tanaman pangan sebagai upaya optimalisasi pemanfaatan lahan. *Jurnal Agrotropika*, 23(1), 154–176.
- Putri, D. A., Hartono, S., & Nugroho, B. (2023). Growth and yield performance of soybean varieties under shading conditions. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(6), 3121–3128. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240625>
- Putri, D. A., Hartono, S., & Nugroho, B. (2023). Performance of soybean varieties under low light intensity conditions. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(7), 3568–3575. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d240731>
- Rahman, M. M., Islam, M. R., Hasan, M. K., & Ahmed, F. (2024). Yield components and physiological responses of soybean under different shading levels. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 27(2), 215–226. <https://doi.org/10.1007/s12892-024-00212-9>
- Rahman, M. M., Islam, M. R., Hasan, M. K., & Ahmed, F. (2024). Optimizing planting density and nutrient management of soybean under shaded environments. *Journal of Crop Science and Biotechnology*, 27(3), 341–352. <https://doi.org/10.1007/s12892-024-00234-3>
- Sari, N., Yuwariah, Y., & Nuraini, A. (2023). Adaptation of soybean growth under partial shade in intercropping systems. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 45(3), 531–540. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v4i3.4012>
- Sari, N., Yuwariah, Y., & Nuraini, A. (2023). Nutrient management strategies for soybean grown under partial shade conditions. *Agrivita Journal of Agricultural Science*, 45(2), 389–399. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v4i2.3987>
- Wang, Z., Zhou, Y., Li, Y., & Fan, X. (2024). Leaf structural adjustment and photosynthetic efficiency of soybean under low-light environments. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1298746. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1298746>
- World Bank. (2024). *Sustainable oil palm landscapes and food crop integration*. World Bank Group. Washington, DC.
- World Bank. (2024). *Integrated oil palm–food crop systems for smallholder resilience*. World Bank Group. Washington, DC
- Zhang, L., He, J., Yang, F., & Li, C. (2024). Yield penalty and adaptation strategies of soybean under shade stress: A meta-analysis. *Field Crops Research*, 305, 109197. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109197>
- Zhou, X., Wang, J., Liu, Y., & Sun, S. (2024). Identification of shade-tolerant soybean genotypes based on physiological traits. *Plants*, 13(4), 589. <https://doi.org/10.3390/plants13040589>