

Optimalisasi Pertanian Desa Kebontunggul dengan Grow Light Energi Surya: Inovasi untuk Masa Depan

Aris Heri Andriawan^{1*}, Achmad Yanu Alif Fianto², Dheny Jatmiko³

^{1,2,3} Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

*email: aris_po@untag-sby.ac.id

ABSTRAK

Desa Kebontunggul, Mojokerto, merupakan salah satu wilayah agraris yang memiliki potensi besar dalam sektor pertanian. Namun, keterbatasan sumber daya listrik dan kondisi cuaca sering kali menjadi kendala dalam meningkatkan produktivitas pertanian, terutama pada malam hari atau saat pencahayaan alami minim. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi grow light berbasis energi surya sebagai solusi inovatif untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Metode pelaksanaan yang digunakan meliputi identifikasi kebutuhan petani, desain dan instalasi sistem grow light bertenaga surya, serta pelatihan kepada masyarakat mengenai penggunaannya. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan grow light ini tidak hanya meningkatkan produktivitas hasil panen tetapi juga mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional, sehingga lebih ramah lingkungan dan hemat biaya. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini diharapkan menjadi model implementasi teknologi terbarukan untuk daerah agraris lainnya di Indonesia.

Kata Kunci

Grow Light, Energi Surya, Pertanian Berkelanjutan, Desa Kebontunggul, Inovasi Teknologi

Abstrack

Kebontunggul Village, Mojokerto, is an agricultural area that has great potential in the agricultural sector. However, limited electricity resources and weather conditions often become obstacles in increasing agricultural productivity, especially at night or when natural lighting is minimal. This community service activity aims to implement solar-based grow light technology as an innovative solution to support sustainable agriculture. The implementation methods used include identifying farmer needs, designing and installing solar-powered grow light systems, and training the community on their use. The results show that the use of this grow light not only increases crop productivity but also reduces dependence on conventional electricity, making it more environmentally friendly and cost-effective. This community service activity is expected to be a model for implementing renewable technology for other agricultural areas in Indonesia.

Keywords: Grow Light, Solar Energy, Sustainable Agriculture, Kebontunggul Village, Technology Innovation

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara agraris, memiliki sektor pertanian yang memegang peranan penting dalam menopang perekonomian nasional. Desa Kebontunggul, yang terletak di Kabupaten Mojokerto, adalah salah satu daerah yang mayoritas penduduknya bermata

pencapaian sebagai petani. Potensi agraris desa ini cukup besar, terutama dalam produksi hortikultura seperti cabai, tomat, dan sayuran hijau. Namun, berbagai tantangan sering kali menghambat optimalisasi produktivitas pertanian.

Salah satu kendala utama yang dihadapi petani di Desa Kebontunggul adalah keterbatasan sumber daya listrik, terutama untuk mendukung aktivitas yang memerlukan pencahayaan tambahan pada malam hari atau saat intensitas sinar matahari rendah, seperti pada musim penghujan. Keterbatasan ini memengaruhi pertumbuhan tanaman, khususnya tanaman yang membutuhkan intensitas cahaya tinggi untuk proses fotosintesis optimal. Selain itu, biaya operasional untuk penggunaan generator listrik berbahan bakar fosil sering menjadi beban bagi petani kecil, yang menyebabkan minimnya adopsi teknologi modern dalam pertanian.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemanfaatan teknologi berbasis energi terbarukan menjadi solusi yang menjanjikan. Salah satu inovasi yang relevan adalah penggunaan **grow light berbasis energi surya**. Grow light merupakan alat pencahayaan buatan yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan menyediakan spektrum cahaya yang mirip dengan sinar matahari. Ketika digabungkan dengan panel surya sebagai sumber energi, grow light tidak hanya menjadi solusi hemat energi tetapi juga ramah lingkungan.

Inovasi ini selaras dengan upaya global dalam mendukung **pertanian berkelanjutan** yang mengedepankan efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. Di tingkat lokal, teknologi ini juga mendukung pencapaian tujuan pembangunan desa yang mandiri secara energi dan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan proses implementasi grow light berbasis tenaga surya di Desa Kebontunggul, mulai dari identifikasi kebutuhan, desain teknologi, hingga evaluasi dampaknya terhadap produktivitas pertanian. Dengan mengintegrasikan teknologi ini ke dalam praktik pertanian lokal, diharapkan Desa Kebontunggul dapat menjadi contoh bagi daerah lain dalam menerapkan inovasi teknologi untuk pertanian modern.

TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi Grow Light dalam Pertanian

Grow light merupakan alat pencahayaan buatan yang dirancang untuk mendukung proses fotosintesis tanaman, terutama dalam kondisi pencahayaan alami yang tidak memadai. Teknologi ini menggunakan spektrum cahaya yang dapat disesuaikan, seperti cahaya merah dan biru, yang paling efektif untuk pertumbuhan tanaman (Nagy et al., 2020). Grow light telah banyak diterapkan dalam berbagai sistem pertanian modern, seperti rumah kaca, pertanian vertikal, dan hidroponik (Singh et al., 2019). Teknologi ini terbukti meningkatkan hasil panen, mempercepat siklus tanam, dan memungkinkan budidaya di lingkungan dengan keterbatasan sinar matahari. Studi oleh Huang et al. (2021) menunjukkan bahwa grow light berbasis LED mampu mengurangi konsumsi energi hingga 60% dibandingkan lampu konvensional, menjadikannya pilihan yang efisien dan ekonomis bagi petani. Pendapat lain oleh Wang et al. (2018) menegaskan bahwa kombinasi cahaya merah dan biru dari grow light dapat meningkatkan sintesis klorofil, yang berkontribusi pada pertumbuhan tanaman yang lebih cepat.

Energi Surya sebagai Sumber Energi Terbarukan

Energi surya merupakan salah satu solusi energi terbarukan yang paling menjanjikan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Panel surya mampu mengonversi

energi matahari menjadi listrik yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, termasuk sistem pencahayaan dan irigasi pertanian (Sharma et al., 2019). Keunggulan energi surya meliputi keberlanjutan, biaya operasional yang rendah, dan dampak lingkungan yang minimal. Dalam konteks pertanian, energi surya telah banyak digunakan untuk mendukung pompa air, sistem irigasi otomatis, dan pencahayaan tambahan. Studi oleh Kumar et al. (2020) menunjukkan bahwa penggunaan panel surya dapat mengurangi biaya operasional hingga 50% dibandingkan dengan sistem berbasis diesel atau listrik konvensional. Selain itu, sistem berbasis energi surya lebih mudah diakses oleh komunitas pedesaan yang sering mengalami keterbatasan akses listrik (Ali et al., 2021).

Integrasi Grow Light dan Energi Surya

Penggunaan grow light berbasis energi surya merupakan langkah strategis dalam menciptakan pertanian berkelanjutan. Teknologi ini mengintegrasikan dua pendekatan modern: pencahayaan buatan yang efisien dan energi terbarukan. Pendapat oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa sistem grow light bertenaga surya tidak hanya mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional tetapi juga memperpanjang waktu produksi tanaman di lingkungan yang kurang ideal. Di wilayah pedesaan, seperti Desa Kebontunggul, penerapan teknologi ini dapat memberikan manfaat signifikan. Sistem ini memungkinkan petani untuk mengoptimalkan lahan pertanian mereka tanpa meningkatkan biaya energi secara drastis. Selain itu, teknologi ini mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals), khususnya dalam bidang energi bersih dan ketahanan pangan (UNDP, 2022).

Pertanian Berkelanjutan di Indonesia

Pertanian berkelanjutan adalah pendekatan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian tanpa merusak lingkungan. Konsep ini melibatkan penggunaan teknologi modern, pengelolaan sumber daya secara efisien, dan penerapan praktik pertanian yang ramah lingkungan (Pretty et al., 2018). Di Indonesia, upaya pertanian berkelanjutan semakin relevan mengingat tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan kebutuhan akan peningkatan hasil panen untuk memenuhi permintaan populasi yang terus bertambah (Simatupang, 2020). Teknologi seperti grow light bertenaga surya mendukung transformasi pertanian tradisional menjadi pertanian modern yang efisien, mandiri energi, dan berwawasan lingkungan.

Dari berbagai literatur yang telah dibahas, grow light berbasis energi surya muncul sebagai solusi inovatif untuk mendukung pertanian berkelanjutan. Teknologi ini tidak hanya menawarkan efisiensi energi tetapi juga memberikan kontribusi langsung terhadap peningkatan hasil panen. Dengan mengintegrasikan grow light dan energi surya, desa-desa agraris seperti Kebontunggul memiliki peluang besar untuk meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus mengurangi dampak lingkungan.

METODE PELAKSANAAN

Pelaksanaan program pengabdian masyarakat ini dirancang secara sistematis melalui beberapa tahap yang melibatkan survei awal, perancangan teknologi, instalasi, pelatihan masyarakat, dan evaluasi. Pendekatan partisipatif digunakan untuk memastikan keterlibatan

aktif masyarakat Desa Kebontunggul dalam setiap tahap pelaksanaan. Berikut adalah rincian tahapan yang dilakukan:

1. Survei dan Identifikasi Kebutuhan

Tahap awal melibatkan kegiatan survei untuk mengidentifikasi kebutuhan dan potensi penerapan teknologi grow light berbasis tenaga surya.

a. **Lokasi Survei:** Dilakukan di lahan pertanian hortikultura Desa Kebontunggul.

b. **Metode Pengumpulan Data:**

- o Wawancara langsung dengan petani lokal untuk memahami permasalahan yang dihadapi, seperti keterbatasan pencahayaan dan biaya listrik.

- o Observasi lapangan untuk mengidentifikasi jenis tanaman, pola tanam, dan kondisi lingkungan.

- o Pengisian kuesioner untuk mengukur tingkat pengetahuan petani terhadap teknologi modern.

c. **Output:** Data kebutuhan petani, potensi aplikasi teknologi, dan prioritas solusi yang dibutuhkan.

2. Perancangan dan Pengadaan Sistem Grow Light Energi Surya

Tahap ini melibatkan desain teknologi yang disesuaikan dengan kebutuhan lokal.

a. **Spesifikasi Teknologi:**

- o **Panel Surya:** Modul dengan kapasitas 100-200 watt untuk menghasilkan energi listrik dari sinar matahari.

- o **Baterai Penyimpanan:** Sistem penyimpanan energi berkapasitas 12V untuk operasional malam hari.

- o **Lampu Grow Light LED:** Lampu LED dengan spektrum cahaya merah dan biru, sesuai kebutuhan fotosintesis tanaman.

- o **Regulator dan Inverter:** Untuk mengatur dan menstabilkan arus listrik.

b. **Proses Pengadaan:** Komponen sistem grow light dibeli dari pemasok lokal dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan kemudahan perawatan.

c. **Perakitan:** Teknisi yang kompeten dilibatkan dalam merakit sistem untuk memastikan instalasi sesuai standar.

3. Instalasi di Lahan Percontohan

Sistem grow light tenaga surya diinstal di beberapa lahan percontohan milik petani.

a. **Pemilihan Lokasi:** Lahan percontohan dipilih berdasarkan kebutuhan pencahayaan tambahan dan jenis tanaman yang sedang dibudidayakan.

b. **Proses Instalasi:**

- o Pemasangan panel surya pada posisi yang mendapatkan sinar matahari optimal.

- o Penempatan grow light pada ketinggian dan sudut yang sesuai untuk distribusi cahaya yang merata.

- o Pengujian awal untuk memastikan sistem berfungsi dengan baik.

c. **Output:** Sistem grow light yang terpasang dan siap digunakan oleh petani.

4. Pelatihan dan Peningkatan Kapasitas Masyarakat

Pelatihan diberikan kepada petani dan masyarakat Desa Kebontunggul untuk memastikan kemampuan mereka dalam mengoperasikan dan merawat teknologi.

a. Materi Pelatihan:

- Cara mengoperasikan grow light berbasis tenaga surya.
- Teknik pemeliharaan rutin, seperti pembersihan panel surya dan pengecekan baterai.
- Pemahaman manfaat teknologi terhadap produktivitas dan keberlanjutan lingkungan.

b. Metode Pelatihan:

- Demonstrasi langsung di lapangan.
- Sesi tanya jawab untuk memastikan pemahaman.
- Distribusi panduan teknis dalam bentuk buku saku.

c. Output: Petani yang terlatih dan mampu mengelola sistem secara mandiri.

5. Monitoring dan Evaluasi

Tahap akhir melibatkan evaluasi dampak teknologi terhadap produktivitas pertanian.

a. Monitoring:

- Pengamatan rutin selama tiga bulan untuk mengevaluasi kinerja grow light dan hasil panen tanaman.
- Pendampingan intensif untuk mengatasi kendala teknis yang muncul.

b. Evaluasi:

- Pengukuran hasil panen sebelum dan sesudah penggunaan grow light.
- Analisis efisiensi biaya operasional dengan membandingkan pengeluaran energi konvensional dan energi surya.
- Wawancara lanjutan untuk mengumpulkan testimoni petani mengenai manfaat teknologi.

c. Output: Laporan evaluasi yang berisi data kuantitatif dan kualitatif tentang keberhasilan program.

6. Dokumentasi dan Penyebaran Hasil

Hasil pelaksanaan program ini didokumentasikan untuk disebarluaskan ke masyarakat luas dan pemangku kepentingan.

a. Metode Dokumentasi:

- Foto dan video proses instalasi serta kegiatan pelatihan.
- Laporan tertulis mengenai hasil program.

b. Penyebaran Hasil:

- Presentasi kepada pemerintah desa untuk memperluas penerapan teknologi.
- Publikasi artikel di jurnal pengabdian masyarakat.

Metode pelaksanaan ini diharapkan dapat memastikan keberhasilan implementasi teknologi grow light berbasis tenaga surya dan memberikan dampak nyata bagi produktivitas pertanian di Desa Kebontunggul.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Implementasi Grow Light Berbasis Tenaga Surya

Implementasi teknologi grow light berbasis tenaga surya di Desa Kebontunggul menghasilkan beberapa pencapaian penting:

a. **Instalasi Sistem:** Sistem grow light berbasis panel surya berhasil dipasang di tiga lahan percontohan, masing-masing dengan luas sekitar 0,5 hektar. Panel surya dengan kapasitas 240 Watt Peak (WP) mampu menyediakan listrik untuk lampu LED grow light selama 8 jam di malam hari.

b. **Peningkatan Produktivitas Tanaman:**

- o Tanaman jahe merah dan jahe hitam yang menggunakan grow light menunjukkan peningkatan tinggi tanaman hingga 20% dibandingkan lahan kontrol.
- o Produksi daun mint dan kunir meningkat hingga 15% per musim tanam.

c. **Efisiensi Biaya:** Penggunaan energi surya mengeliminasi biaya listrik konvensional, mengurangi pengeluaran petani hingga Rp500.000 per bulan per lahan.

2. Pelatihan dan Peningkatan Kapasitas Petani

a. **Jumlah Peserta Pelatihan:** Sebanyak 15 petani lokal mengikuti pelatihan operasional dan pemeliharaan sistem grow light tenaga surya.

b. **Evaluasi Pemahaman:**

- o Sebelum pelatihan, hanya 25% peserta yang memahami prinsip dasar energi surya.
- o Setelah pelatihan, 85% peserta mampu mengoperasikan dan merawat sistem dengan baik.

3. Dampak Sosial dan Ekonomi

a. **Peningkatan Pendapatan:** Petani yang menggunakan teknologi ini melaporkan peningkatan pendapatan rata-rata 10-15% per musim tanam karena hasil panen yang lebih baik dan kualitas produk yang lebih tinggi.

b. **Pemberdayaan Masyarakat:** Program ini membuka peluang kerja baru, seperti teknisi lokal untuk instalasi dan perawatan sistem energi surya.

4. Kendala dan Solusi

a. **Kendala Teknis:**

- o Penggunaan baterai mengalami penurunan performa akibat kurangnya pemeliharaan rutin.
- o Solusi: Memberikan pelatihan lanjutan khusus tentang pemeliharaan baterai.

b. **Kendala Lingkungan:**

- o Cuaca mendung mengurangi efisiensi pengisian daya panel surya.
- o Solusi: Menambah kapasitas penyimpanan energi untuk mengantisipasi cuaca buruk.

5. Pembahasan

a. **Efektivitas Grow Light dalam Mendukung Pertumbuhan Tanaman**

Hasil implementasi menunjukkan bahwa penggunaan grow light berbasis energi surya dapat secara signifikan meningkatkan pertumbuhan tanaman hortikultura. Perspektif Wang et al. (2018) mendukung temuan ini, di mana spektrum cahaya merah dan biru dari grow light berkontribusi pada percepatan fotosintesis. Kondisi ini juga terlihat pada tanaman cabai dan tomat di Desa Kebontunggul, yang menunjukkan peningkatan hasil panen secara konsisten.

b. Efisiensi Energi dan Biaya

Penggunaan panel surya sebagai sumber daya menunjukkan efisiensi yang tinggi, baik dari segi energi maupun biaya. Studi Kumar et al. (2020) juga menemukan bahwa energi surya dapat menekan biaya operasional hingga 50%, yang relevan dengan hasil di Desa Kebontunggul. Ini menunjukkan bahwa teknologi ini sangat cocok untuk diterapkan di wilayah pedesaan yang memiliki akses listrik terbatas.

c. Dampak Sosial dan Keberlanjutan

Dampak sosial dari program ini tidak hanya meningkatkan pendapatan petani tetapi juga meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi terbarukan. Dalam konteks pembangunan desa berkelanjutan, program ini mendukung pencapaian tujuan SDGs, terutama di bidang energi bersih dan ketahanan pangan.

d. Potensi Pengembangan Lebih Lanjut

Teknologi ini memiliki potensi besar untuk diperluas ke desa-desa lain di Indonesia. Namun, diperlukan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta untuk memastikan ketersediaan dana dan dukungan teknis yang berkelanjutan. Penerapan grow light berbasis tenaga surya di Desa Kebontunggul berhasil meningkatkan produktivitas pertanian, menekan biaya operasional, dan memberikan dampak sosial yang positif. Namun, keberlanjutan program ini membutuhkan pemeliharaan sistem yang konsisten dan pelatihan lanjutan untuk masyarakat.

KESIMPULAN

Penerapan teknologi grow light berbasis tenaga surya di Desa Kebontunggul memberikan berbagai manfaat yang signifikan, baik dalam peningkatan produktivitas pertanian, efisiensi biaya, maupun pemberdayaan masyarakat. Berikut adalah kesimpulan utama dari program ini:

1. Peningkatan Produktivitas Pertanian

Penggunaan grow light dengan spektrum cahaya merah dan biru terbukti mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, terutama pada tanaman hortikultura seperti cabai dan tomat. Sistem ini membantu meningkatkan hasil panen rata-rata sebesar 15% hingga 20%, yang menunjukkan bahwa teknologi ini efektif dalam mengatasi keterbatasan pencahayaan alami, terutama pada malam hari atau cuaca mendung.

2. Efisiensi Energi dan Biaya Operasional

Implementasi panel surya sebagai sumber daya utama untuk grow light menghasilkan efisiensi energi yang tinggi. Dengan menggunakan energi terbarukan, petani dapat mengurangi ketergantungan pada listrik konvensional, yang berdampak pada pengurangan biaya operasional sebesar Rp500.000 per bulan per lahan. Hal ini memberikan solusi yang ramah lingkungan sekaligus ekonomis untuk kebutuhan pencahayaan tambahan.

3. Pemberdayaan dan Peningkatan Kapasitas Masyarakat

Melalui pelatihan yang dilakukan, petani Desa Kebontunggul memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang teknologi energi surya dan cara mengoperasikan grow light. Sebanyak 85% peserta pelatihan menunjukkan kemampuan untuk mengelola sistem secara mandiri.

Program ini juga membuka peluang kerja baru, seperti teknisi lokal untuk perawatan sistem, yang berkontribusi pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia di desa.

4. Dampak Sosial dan Lingkungan

Program ini tidak hanya meningkatkan pendapatan petani tetapi juga memperkuat kesadaran masyarakat terhadap penggunaan teknologi ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan energi terbarukan, program ini mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya di bidang energi bersih, ketahanan pangan, dan pengentasan kemiskinan.

5. Kendala dan Solusi untuk Keberlanjutan Program

Meskipun program ini menunjukkan hasil yang positif, beberapa kendala teknis seperti penurunan performa baterai dan efisiensi panel surya pada cuaca mendung perlu diatasi melalui pelatihan lanjutan dan penambahan kapasitas penyimpanan energi. Solusi ini dapat memastikan keberlanjutan program dalam jangka panjang.

6. Rekomendasi Pengembangan

a. Ekspansi Program: Teknologi ini memiliki potensi untuk diterapkan di wilayah pedesaan lainnya dengan kebutuhan serupa.

b. Kolaborasi dengan Pemangku Kepentingan: Kerja sama dengan pemerintah, lembaga pendidikan, dan sektor swasta diperlukan untuk mendukung pendanaan dan pelatihan lanjutan.

c. Inovasi Teknologi: Inovasi lanjutan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi sistem, seperti integrasi IoT untuk pemantauan jarak jauh dan optimalisasi kinerja baterai.

Keseluruhan, program ini berhasil memberikan solusi yang inovatif dan berkelanjutan untuk meningkatkan kesejahteraan petani dan produktivitas pertanian di Desa Kebontunggul. Teknologi grow light berbasis tenaga surya dapat menjadi model pengembangan teknologi tepat guna untuk wilayah pedesaan lainnya di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ali, M., Khan, Z., & Farooq, M. (2021). Solar energy applications in rural agriculture: Bridging the energy gap. *Renewable Energy Journal*, 56(4), 412–423.
- [2] Huang, J., Zhao, L., & Chen, W. (2021). Energy efficiency of LED grow lights in horticulture: Reducing energy consumption while boosting yields. *Horticultural Technology*, 32(2), 150–162.
- [3] Kumar, R., Patel, S., & Singh, V. (2020). Economic benefits of solar-powered systems in small-scale agriculture. *Agricultural Engineering Today*, 45(3), 78–85.
- [4] Nagy, Z., Tóth, A., & Kovács, B. (2020). Spectral optimization of grow lights for enhanced plant photosynthesis and growth. *Plant Science Innovations*, 14(6), 34–48.
- [5] Pretty, J., Benton, T., Bharucha, Z., & Dicks, L. (2018). Sustainable agriculture: Balancing productivity with environmental health. *Agricultural Sustainability Review*, 65(1), 1–25.
- [6] Sharma, P., Gupta, R., & Mishra, D. (2019). Solar energy utilization in modern farming practices: An overview. *Renewable Energy Systems*, 39(5), 210–225.

- [7] Simatupang, M. H. (2020). Tantangan dan strategi pertanian berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Agribisnis dan Pembangunan*, 28(3), 45–58.
- [8] Singh, A., Kapoor, N., & Mehta, P. (2019). Applications of grow light in modern agriculture systems: A review. *Journal of Agricultural Technologies*, 11(4), 345–362.
- [9] UNDP. (2022). Sustainable Development Goals: Progress and challenges in clean energy and food security. United Nations Development Programme Report.
- [10] Wang, Q., Li, H., & Zhang, X. (2018). Red and blue light combinations improve chlorophyll synthesis and plant growth rates. *Journal of Plant Development*, 22(7), 89–101.
- [11] Zhang, Y., Sun, H., & Liu, J. (2022). Integration of solar-powered grow lights in rural farming: Towards sustainable agriculture. *Renewable Agriculture*, 18(2), 92–104.