

Analisis Konsep Fisika pada Penyinaran Buah Naga

Arinda Salsa Bella¹, Zilfiyatul Makida¹, Sudarti Sudarti¹, Kendid Mahmudi^{1*}

¹Universitas Jember, Jember, Indonesia

kendidmahmudi.fkip@unej.ac.id*

| Received: 07/05/2026 | Revised: 29/06/2026 | Accepted: 30/06/2026 |

Copyright©2026 by authors. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons

Abstrak

Penyinaran buatan pada budidaya buah naga melibatkan beberapa konsep fisika, terutama intensitas cahaya, panjang gelombang, durasi penyinaran, konversi energi, serta sistem sensor dalam pengendalian pencahayaan. Dari berbagai konsep tersebut, artikel ini memfokuskan pembahasan pada intensitas cahaya, panjang gelombang cahaya LED, durasi penyinaran, dan pemanfaatan sensor cahaya dalam sistem otomatisasi. Buah naga (*Hylocereus* spp.) merupakan tanaman kaktus berduri yang berasal dari Amerika Tengah dan kini banyak dibudidayakan di Indonesia. Salah satu tantangan utama dalam budidaya buah naga adalah keterbatasan musim berbunga dan berbuah yang hanya terjadi pada waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penerapan konsep fisika dalam sistem penyinaran buatan guna meningkatkan produktivitas dan kualitas buah naga. Metode yang digunakan adalah studi literatur terhadap berbagai hasil penelitian yang relevan. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan lampu LED dengan intensitas dan panjang gelombang tertentu dapat merangsang fotosintesis, pembungaan, serta pembentukan senyawa bioaktif seperti flavonoid dan antosianin. Selain itu, pemanfaatan sensor cahaya, panel surya, dan sistem berbasis Internet of Things mendukung efisiensi energi serta pengendalian pencahayaan secara otomatis. Dengan demikian, penerapan konsep fisika dalam penyinaran buah naga berperan penting dalam pengembangan pertanian yang cerdas, produktif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: buah naga, fotosintesis, Internet of Things, konsep fisika, pencahayaan LED

Abstract

Artificial lighting in dragon fruit cultivation involves several physics concepts, particularly light intensity, wavelength, lighting duration, energy conversion, and sensor-based lighting control systems. Among these concepts, this article focuses on light intensity, LED wavelength, lighting duration, and the use of light sensors in automation systems. Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) is a prickly cactus plant originally from Central America and is now widely cultivated in Indonesia. One of the main challenges in dragon fruit cultivation is the limited flowering and fruiting season, which occurs only during certain periods. This study aims to analyze the application of physics concepts in artificial lighting systems to improve the

productivity and quality of dragon fruit. The method used in this study is a literature review of relevant previous research. The findings indicate that the use of LED lamps with specific light intensities and wavelengths can stimulate photosynthesis, flowering, and the formation of bioactive compounds such as flavonoids and anthocyanins. In addition, the use of light sensors, solar panels, and Internet of Things-based systems supports energy efficiency and automatic lighting control. Therefore, the application of physics concepts in dragon fruit lighting plays an important role in the development of productive and sustainable smart agriculture.

Keywords: dragon fruit, physics concepts, LED lighting, photosynthesis, Internet of Things

Pendahuluan

Buah naga, dengan nama *Hylocereus spp.*, adalah tanaman sejenis kaktus berduri yang berasal dari Amerika bagian tengah dan saat ini banyak dijumpai di berbagai negara, termasuk dalam komoditas yang ditanam serta dibudidayakan di Indonesia (Afraz et al., 2024). Tanaman buah naga termasuk tanaman panjang hari (tanaman yang membutuhkan sinar matahari dalam panjang). Hal itu berarti bahwa tanaman membutuhkan penyinaran minimal selama 60 menit bahkan lebih. Tanaman golongan kaktus tersebut tidak terlalu terpengaruh oleh angin, dan relatif tahan terhadap kecepatan angin. Namun, angin yang cukup kuat dapat merobohkan tumbuhan yang dirambatinya (Saputra et al., 2020). Tanaman buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) memiliki potensi ekonomi yang besar dan dibudidayakan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Buah naga hanya menghasilkan buah di musim tertentu, sehingga harga jual berfluktuasi. Berbagai fasilitas menawarkan banyak manfaat bagi petani, baik secara ekonomi maupun dalam meningkatkan pendapatan. Faktor-faktor yang berhasil untuk ekspansi termasuk perawatan yang baik dan pemilihan pupuk yang tepat, tetapi cuaca yang tidak pasti tetap menjadi tantangan. Inovasi dalam penggunaan pencahayaan pencahayaan untuk meningkatkan produktivitas untuk buah naga non-musim juga digunakan. Salah satu penelitian yang diteliti (Saputra et al., 2024) faktanya teknologi penyinaran lampu LED bermanfaat terhadap jumlah kuncup bunga, jumlah bunga mekar, dan jumlah buah muda (Almaidah et al., 2024).



Gambar 1 Lampu LED

Sumber: pipielizabethmitchell.blogspot.com

Penerapan konsep fisika dalam sistem penyinaran buah naga mencakup pemahaman mengenai intensitas cahaya, durasi penyinaran, serta penempatan lampu secara optimal untuk meningkatkan proses fotosintesis dan memacu pembungaan. Selain itu, sistem ini juga melibatkan teknologi elektronika yang memungkinkan pengendalian pencahayaan secara otomatis dan jarak jauh. Salah satu komponen penting dalam sistem pertanian cerdas adalah sensor Light-Dependent Resistor (LDR) yang berfungsi untuk mendeteksi intensitas cahaya di lingkungan. Sensor ini ditempatkan secara strategis di area pertanian untuk mengukur perubahan intensitas cahaya matahari dan memberikan informasi yang digunakan dalam pengaturan sistem pencahayaan tanaman (Mohankumar & Gowtham, 2024).

Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa teknologi kontrol pencahayaan berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan pengendalian lampu secara nirkabel, sehingga kondisi sistem dapat dipantau secara real time dan efisiensi energi dapat ditingkatkan (Wang & Lv, 2022). Sistem ini memanfaatkan jaringan komunikasi untuk mengatur intensitas cahaya sesuai dengan kebutuhan tanaman. Penelitian berbasis mikrokontroler seperti Arduino juga menunjukkan bahwa sensor LDR dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi siang dan malam secara otomatis, sehingga lampu akan menyala ketika intensitas cahaya rendah dan mati ketika intensitas cahaya cukup (Miah et al., 2022). Dengan demikian, integrasi konsep fisika dan teknologi elektronika berperan penting dalam mengoptimalkan sistem penyinaran pada budidaya buah naga.

Melihat berbagai fenomena tersebut, analisis konsep fisika dalam sistem penyinaran buah naga menjadi penting untuk mengoptimalkan teknik budidaya melalui pengaturan intensitas cahaya, panjang gelombang, durasi penyinaran, serta respons tanaman terhadap radiasi elektromagnetik. Konsep-konsep tersebut berkaitan langsung dengan proses fotosintesis, pembentukan pigmen, dan induksi pembungaan pada tanaman buah naga. Selain itu, pemanfaatan sensor cahaya dan sistem kontrol otomatis juga memperkuat penerapan konsep fisika dalam pengaturan pencahayaan yang efisien dan adaptif terhadap kondisi lingkungan. Dengan demikian, integrasi konsep fisika tersebut berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas serta keberlanjutan budidaya buah naga dalam berbagai kondisi iklim dan musim. Artikel ini akan membahas secara mendalam bagaimana prinsip-prinsip fisika tersebut diterapkan dalam sistem penyinaran buah naga serta dampaknya terhadap proses fisiologis tanaman dan hasil panen.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif deskriptif dengan pendekatan *studi literatur* (*literature review*). Metode ini digunakan untuk menganalisis konsep-konsep fisika yang berkaitan dengan sistem penyinaran dalam budidaya buah naga. Pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran berbagai sumber pustaka yang relevan, baik dari jurnal nasional maupun internasional, serta publikasi ilmiah lainnya yang mendukung kajian penelitian ini. Analisis literatur dilakukan dengan mengidentifikasi konsep fisika yang secara khusus digunakan dalam teknologi penyinaran pertanian, seperti konversi energi cahaya, prinsip foton dan gelombang elektromagnetik, hukum listrik pada sistem sensor dan rangkaian kontrol, serta konsep semikonduktor pada perangkat pencahayaan dan sensor. Konsep-konsep tersebut memiliki fokus yang berbeda dari pembahasan pada bagian pendahuluan karena lebih menekankan pada mekanisme fisik yang bekerja pada perangkat teknologi, bukan pada aspek fisiologis tanaman. Seluruh data yang diperoleh kemudian dianalisis secara kualitatif untuk menjelaskan keterkaitan

antara prinsip fisika dalam sistem pencahayaan dengan efektivitas pertumbuhan dan kualitas buah naga melalui pendekatan sintesis teori dari berbagai penelitian terdahulu.

Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian terkait penerapan teknologi pada budidaya buah naga dan pertanian cerdas, berbagai konsep fisika banyak digunakan untuk mendukung efektivitas dan efisiensi sistem. Konsep-konsep tersebut mencakup pemanfaatan energi cahaya, konversi energi surya menjadi listrik, hukum listrik dan magnet, hingga prinsip suhu dan kelembapan tanah. Pemahaman terhadap fenomena fisika ini sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja alat, meningkatkan produktivitas tanaman, serta mendukung pertanian berkelanjutan berbasis teknologi. Berikut adalah tabel review literatur yang mengelompokkan setiap jurnal berdasarkan fenomena fisika yang digunakan dan penerapan konsep fisiknya.

Tabel 1. Hasil Literatur Review

No	Tahun	Penulis	Fenomena Fisika	Hasil Literatur Review
1.	2024	Mohankumar & Gowtham	Intensitas Cahaya dan Resistor LDR	Hukum resistansi terhadap intensitas cahaya: semakin terang, resistansi semakin turun. Digunakan untuk mengatur kebutuhan cahaya tanaman.
2.	2022	Wang & Lv	Arus Listrik, Tegangan, Peredupan PWM	Konsep perubahan arus dan tegangan (elektrodinamika), menggunakan teknik PWM untuk mengontrol intensitas cahaya LED.
3.	2022	Miah et al.	Deteksi Cahaya (LDR) dan Komunikasi Elektronika	Konsep konversi energi cahaya ke sinyal listrik menggunakan LDR untuk kontrol otomatis.
4.	2024	Mustaniroh et al.	Pengaruh Cahaya UV terhadap Fotosintesis	Gelombang elektromagnetik UV digunakan untuk memicu pembungaan tanaman dengan memanfaatkan energi radiasi UV.
5.	2021	Sasongko et al.	Konversi Energi Matahari (DSSC)	Prinsip fotovoltaik: energi foton dari cahaya diserap oleh dye, sehingga menggerakkan elektron di TiO ₂ untuk menghasilkan listrik.
6.	2020	Ardi et al.	Sensor Arus dan Tegangan, Transmisi Data	Prinsip pengukuran arus (ampere) dan tegangan (volt), serta konversi analog ke digital untuk monitoring via GSM.
7.	2023	Setiawan et al.	Kelembapan dan Intensitas Cahaya	Prinsip penguapan air, pengaruh suhu dan kelembapan terhadap fisiologi tanaman, serta deteksi

				intensitas cahaya menggunakan sensor
8.	2023	Hadi et al.	Suhu dan Kelembapan Tanah	Konsep perpindahan panas (konduksi) dan sifat fisik air di tanah (hidrologi), pengaruh terhadap pertumbuhan tanaman.
9.	2023	Cahyono & Rahmadian	Konversi Energi Surya ke Listrik (PLTS)	Prinsip fotovoltaik: sinar matahari diubah menjadi listrik DC oleh panel surya, kemudian disimpan dalam baterai.
10.	2024	Agustiningsih et al.	Monitoring Lingkungan: Suhu, Kelembapan, Cahaya	Prinsip termodinamika (pengaruh suhu) dan sifat material terhadap kelembapan tanah dipantau secara elektronik berbasis IoT.
11.	2024	Afraz et al.	Medan listrik (PEF) dan gelombang elektromagnetik (LED)	PEF meningkatkan permeabilitas membran melalui elektroporasi, sedangkan cahaya LED dengan panjang gelombang tertentu merangsang biosintesis pigmen pada buah naga.
12.	2024	Listyawati et al.	Emisi cahaya gelombang elektromagnetik terdeteksi satelit	Lampu LED di lahan buah naga meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman dan membentuk pola cahaya malam yang terekam citra satelit.
13.	2023	Austria et al.	Sensorisasi fisik, seperti pH, suhu, cahaya, kelembapan melalui IoT	Sistem IoT efektif memantau parameter fisik penting di rumah kaca hidroponik untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih terkontrol.
14.	2025	Chumroenvidhayakul et al.	Simulasi fisiologi tanaman melalui panjang gelombang cahaya	Bubuk kulit buah naga menurunkan stres oksidatif dan peradangan hati pada tikus dengan meningkatkan ekspresi gen yang terlibat dalam oksidasi lemak.
15.	2025	Haque et al.	Mekanika ekstraksi pektin melalui panas dan juga gelombang	Teknik ekstraksi berkelanjutan dikembangkan untuk menjaga struktur pektin dan mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan metode konvensional

16.	2024	Ngoc et al.	Efek panjang gelombang cahaya pada komposisi buah	Fermentasi jus buah naga menghasilkan anggur dengan kandungan bioaktif tinggi dengan didukung oleh kualitas awal buah naga hasil budidaya dengan LED
17.	2024	Nguyen et al.	Manajemen cahaya untuk mengatur produksi buah	Pedoman stokastik untuk rantai buah naga mempertimbangkan penggunaan lampu LED untuk mengatur musim panas di tengah ketidakpastian iklim.
18.	2025	Octiara et al.	Sintesis senyawa bioaktif melalui stimulasi cahaya	Kombinasi ekstrak kulit buah naga dan teripang mempercepat penyembuhan mukositis akibat kandungan flavonoid dan betasianin yang dipicu oleh cahaya LED.
19.	2024	Anda et al.	Konversi energi surya dan kontrol IoT	Sistem pencahayaan buah naga berbasis solar cell dan IoT menghemat biaya listrik dan mempercepat produksi buah dengan kontrol otomatis berbasis aplikasi.
20.	2025	Viet et al.	Transfer energi elektromagnetik dalam pertanian cerdas	Penerapan LED dalam smart agriculture mendukung pertumbuhan buah naga dengan meningkatkan fotosintesis dan produksi pigmen melalui pengaturan cahaya secara presisi.
21.	2024	Vo et al.	Interaksi cahaya LED dengan pertahanan tanaman	Isolasi rizhobakteri antagonistik untuk mengendalikan jamur pada buah naga didukung oleh efek LED dalam merangsang sistem pertahanan alami tanaman.
22.	2024	Yang et al.	stimulus gelombang elektromagnetik terhadap produksi metabolit	Senyawa aktif antibakteri dan antioksidan dari buah naga dapat ditingkatkan melalui teknologi pencahayaan LED yang memengaruhi jalur metabolik tanaman.

Berdasarkan hasil tinjauan literatur dalam jurnal (Mohankumar & Gowtham,2024), LDR memiliki sifat resistansi yang menurun seiring meningkatnya intensitas cahaya. Fenomena ini

dijelaskan secara fisika melalui efek fotokonduktivitas, di mana cahaya (foton) memberikan energi yang cukup untuk melepaskan elektron di bahan semikonduktor LDR. Semakin terang cahaya, semakin banyak elektron bebas yang terbentuk, sehingga resistansi turun.

Hal ini sejalan dengan prinsip bahwa resistansi berbanding terbalik dengan intensitas cahaya. Hubungan ini dimanfaatkan dalam pengaturan otomatis pencahayaan untuk tanaman, seperti dalam budidaya buah naga, yang memerlukan pencahayaan tambahan saat malam atau cuaca mendung. Ketika LDR mendeteksi cahaya redup (resistansi meningkat), sistem akan mengaktifkan lampu tambahan. Sebaliknya, jika cahaya cukup terang (resistansi turun), lampu akan otomatis dimatikan. Selain itu, konsep energi surya juga menjadi tema utama. Terdapat konsep fisika lain dalam teknologi tersebut yaitu Hukum Ohm menurut Giancoli (2005) yang mana:

$$V = I \cdot R$$

V = Tegangan Listrik (Volt)

I = Kuat Arus Listrik (Ampere)

R = Resistansi/ Hambatan (Ohm)

Berdasarkan hasil penelitian (Sasongko et al., 2021), ketika cahaya matahari mengenai dye (pewarna), foton diserap oleh molekul dye. Energi foton ini menyebabkan elektron dalam dye tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Fenomena ini sesuai dengan hukum fisika

$$E = h \cdot f$$

Berdasarkan rumus tersebut, energi foton sebanding dengan frekuensi cahaya. Elektron yang tereksitasi dalam dye bergerak ke permukaan TiO₂ (titanium dioksida). TiO₂ berfungsi sebagai semikonduktor yang memungkinkan elektron bergerak, sejalan dengan konsep konduktivitas semikonduktor yang hanya mengalirkan arus ketika energi foton cukup untuk memindahkan elektron. Elektron yang bergerak melalui TiO₂ menuju anoda menghasilkan arus listrik, sesuai dengan prinsip dasar Hukum Ohm, yaitu $V = I \cdot R$ dalam rangkaian listrik. Proses ini menghasilkan aliran arus yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Dengan demikian, DSSC menggabungkan prinsip fisika fotokonduktivitas, transisi energi foton, dan konduktivitas semikonduktor untuk mengonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik secara efisien. (Cahyono & Rahmadian).

Cahaya LED memancarkan gelombang elektromagnetik pada panjang gelombang tertentu yang dapat diserap oleh pigmen fotosintetik pada tanaman. Energi foton dari cahaya ini, sesuai dengan rumus $E = h \cdot f$ digunakan oleh tanaman untuk merangsang biosintesis pigmen seperti betalain dan antosianin. Penelitian menunjukkan bahwa cahaya LED, terutama pada spektrum biru dan merah, dapat meningkatkan kandungan pigmen dan antioksidan pada tanaman, termasuk buah naga.

Berdasarkan literatur review, PLTS bekerja berdasarkan prinsip fotovoltaiik, yaitu proses fisika di mana energi cahaya (foton) dari sinar matahari diubah langsung menjadi energi listrik DC (arus searah) melalui material semikonduktor, seperti silikon, dalam sel surya. Ketika foton mengenai permukaan panel surya, ia membawa energi sebesar

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Dengan E adalah energi foton, h konstanta Planck, f frekuensi cahaya, dan λ panjang gelombang cahaya. Jika energi foton cukup besar, elektron dalam pita valensi silikon tereksitasi ke pita konduksi, sehingga membentuk pasangan elektron-lubang. Elektron bebas ini kemudian diarahkan oleh medan listrik internal dalam sel surya menuju elektroda, sehingga menghasilkan arus listrik (DC). Listrik ini kemudian disimpan dalam baterai sebagai cadangan energi.

Pada fase pertumbuhan dan pematangan, buah naga dapat menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap kualitas cahaya. Cahaya LED merah rentang pada angka 630-660 nm dan pada warna biru berada pada angka 450-470 nm. Kedua warna tersebut memiliki energi foton masing-masing sebesar 1.88 eV dan 2.76 eV, yang cukup untuk mengeksitasi fotoreseptor seperti fitokrom dan kriptokrom dalam sel tanaman. Eksitasi ini dapat memicu transduksi sinyal molekuler yang meningkatkan ekspresi gen-gen pengatur betalain. Intensitas pencahayaan pada angka 50–150 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ selama 6–12 jam per hari. Kombinasi cahaya merah dan biru terbukti dapat meningkatkan produksi pigmen betalain pada buah naga sebesar 40% serta memperdalam warna daging buah naga. Konsep penyinaran ini juga dapat memperkuat aktivitas fotosintetik serta mengatur waktu berbunga dan pengamatan.

Emisi cahaya dari lampu LED (400–700 nm, 5–10 watt) di lahan buah naga meningkatkan metabolisme tanaman dan merangsang pembungaan, dan dapat meningkatkan hasil panen sebesar 20–30%. Angka sekitar 0,01%–0,1% dari cahaya ini menembus atmosfer dan terekam oleh sensor satelit seperti VIIRS DNB (sensitivitas hingga 0,5 $\text{nW}/\text{cm}^2/\text{sr}$), sehingga dapat menghasilkan peningkatan kecerahan citra malam hari sebesar 25–50% di area pertanian selama musim berbuah. Selain berdampak secara optik, cahaya LED terutama spektrum merah juga berperan dalam peningkatan hasil panen hingga 20–30% melalui stimulasi proses fisiologis tanaman, sehingga dapat menunjukkan bahwa keterkaitan erat antara emisi cahaya buatan, deteksi satelit, dan peningkatan produktivitas berbasis prinsip fisika.

Penerapan lampu LED merah (620–660 nm) dengan daya 5–10 watt secara teratur selama 8 hingga 12 jam per malam dalam kurun 20–30 hari mampu mempercepat proses pembungaan tanaman buah naga hingga 10 sampai 15 hari lebih awal, bahkan pada suhu malam yang relatif rendah (18–20°C). Stimulasi cahaya ini memicu peningkatan hormon florigen dan sitokinin, yang berdampak pada tingkat keberhasilan pembungaan mencapai 80% dan potensi peningkatan hasil panen sebesar 20–30%. Strategi ini mengikuti prinsip stokastik, sehingga memungkinkan pengaturan produksi secara adaptif di tengah ketidakpastian iklim tahunan.

Sintesis senyawa bioaktif dalam kulit buah naga, seperti betasianin dan flavonoid, meningkat hingga 40% dan 25–30% masing-masing ketika disinari cahaya LED spektrum merah dan biru selama 12 jam per hari. Kombinasi ekstrak kulit buah naga dengan biopeptida dari teripang mempercepat penyembuhan mukositis dengan mengurangi waktu penyembuhan hingga 30–40%. Hal ini menunjukkan bahwa cahaya LED berperan dalam mengaktifkan jalur biosintesis senyawa bioaktif yang mendukung regenerasi jaringan.

Sistem pencahayaan untuk tanaman buah naga yang menggabungkan solar cell dan IoT menggunakan energi matahari yang dikonversi oleh panel surya berkapasitas sekitar 300 watt per unit untuk mengoperasikan lampu LED. Cahaya yang dipancarkan dalam rentang panjang gelombang 400–700 nm ini dapat meningkatkan efisiensi produksi dengan mempercepat

pembungaan hingga 10–15 hari dan meningkatkan hasil panen sebesar 20–30%. IoT memungkinkan pengaturan otomatis pencahayaan sesuai dengan kondisi tanaman dan cuaca melalui aplikasi, sekaligus menghemat biaya operasional hingga 50% dibandingkan dengan sistem pencahayaan tradisional.

Kesimpulan

Penerapan konsep fisika dalam sistem penyinaran buah naga terbukti berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas serta kualitas hasil panen. Konsep yang digunakan meliputi intensitas cahaya, panjang gelombang, konversi energi, serta pengendalian suhu dan kelembapan yang diintegrasikan ke dalam berbagai teknologi pertanian modern. Teknologi tersebut mencakup penggunaan lampu *Light Emitting Diode* (LED), sensor *Light Dependent Resistor* (LDR), panel surya, serta sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung otomatisasi dan meningkatkan efisiensi sistem pencahayaan. Penerapan teknologi ini tidak hanya memungkinkan terjadinya pembungaan di luar musim alami, tetapi juga berpengaruh terhadap peningkatan kandungan senyawa bioaktif, seperti antosianin dan flavonoid, yang bermanfaat bagi kesehatan. Integrasi energi terbarukan dan sistem kontrol jarak jauh mencerminkan perkembangan pertanian modern yang presisi, efisien, dan berkelanjutan. Dengan demikian, konsep fisika menjadi dasar penting dalam pengembangan sistem budidaya buah naga berbasis teknologi cerdas.

Daftar Pustaka

- Afraz, M. T., Xu, X., Zeng, X. A., Zhao, W., Lin, S., Woo, M., & Han, Z. (2024). The science behind physical field technologies for improved extraction of juices with enhanced quality attributes. *KeAi Chinese Roots Global Impact*, 1, 1-18. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodp.2024.100008>
- Agustiniingsih, M. D., Lestari, P. C. A., Savitrah, R. M., & Fahmi, A. (2024). Nogo Osing Apps: Aplikasi Smart Farming Buah Naga Berbasis IoT. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(1), 145–154. <https://doi.org/10.25126/jtiik.20241117683>
- Anda, S. A., Pane, U. F. S. S., & Anwar, B. (2024). Rancang Bangun Pencahayaan Tanaman Buah Naga Menggunakan Solar Cell Berbasis Internet Of Things. *Jurnal Sistem Komputer Triguna Dharma (JURSIK TGD)*, 3(6), 240–250. <https://doi.org/10.53513/jursik.v3i6.8873>
- Ardi, M. A. A. M. A., Suryadhianto, U. S. U., & Nalandari, R. N. R. (2020). Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Pemantauan Lampu Buah Naga Berbasis GPRS Dan Webpage PHP. *Journal ZETROEM*, 2(2). <https://doi.org/10.36526/ztr.v2i2.1018>
- Austria, A. C., Fabros, J. S., Sumilang, K. R., Bernardino, J., & Doctor, A. C. (2023). Development of IoT Smart Greenhouse System for Hydroponic Gardens. *International Journal of Computing Sciences Research*, 7, 2114-2136. doi:[10.25147/ijcsr.2017.001.1.149](https://doi.org/10.25147/ijcsr.2017.001.1.149)
- Cahyono, A. R., & Rahmadian, R. (2023). Rancang Bangun Smart Agriculture PLTS untuk Penerangan Tanaman Buah Naga Menggunakan ESP32 dan Cayenne myDevices. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 106–116. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p106-116>

- Chumroenvidhayakul , S., Thilavech, T., Abewayderna, M. Y., Conlon, M., Dallimore , J., Adams, M., Adisakwattan, S. (2025). Dragon Fruit Peel (*Hylocereus undatus*) Modulates Hepatic Lipid Metabolism and Inflammation in a Rat Model of High-Fat, High-Fructose-Induced Metabolic Dysfunction. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 14(3), 2-17. doi:<https://doi.org/10.3390/antiox14030319>
- Listyawati, R. N., Prasetyo, P., & Nurtjahjaningtyas, I. (2024). VIIRS Night-Time Light Image in the Spatial Structure Identification of Banyuwangi Regency. *IOP Publishing*, 2-24. doi:[10.1088/1755-1315/1353/1/01203](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1353/1/01203)
- Hadi, C. F., As'ari, H., & Qiram, I. (2023). Monitoring Suhu dan Kelembapan Tanah pada Kebun Buah Naga Berbasis Sensor DS18B20 dan YL69. *Journal ZETROEM*, 5(1), 85–88. <https://doi.org/10.36526/ztr.v5i1.2715>
- Haque, S. M., Kabir, A., Ratemi, E., Elzagheid, M., Appu, S. P., Ghani, S. S., & Sarief, A. (2025). Greener Pectin Extraction Techniques: Applications and Challenges. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 12(65), 2-40. doi:<https://doi.org/10.3390/separations12030065>
- Miah, S., Raihan, S. R., Sagor, M. M. H., Hasan, M. M., Talukdar, D., Sajib, S., ... & Suaiba, U. (2022). Rooftop Garden and Lighting Automation by the Internet of Things (IoT). *European Journal of Engineering and Technology Research*, 7(1), 37–43. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2022.7.1.2700>
- Mohankumar, A., & Gowtham, R. (2024). Revolutionizing Automated Agriculture: A Brief Overview of an Advanced Smart Agricultural System Using Arduino UNO. *Interdisciplinary Journal of Scientific Research (IIJSR)*, 8(1), 13–23. <https://doi.org/10.46759/IIJSR.2024.8103>
- Mulyadi, A., Ardiyansyah, F., & Hadi, C. F. (2023). Aplikasi Smart Clustering Pada Klasifikasi Buah Naga Menggunakan Metode Convolutional Neural Network di Kabupaten Banyuwangi. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.31328/jasee.v4i02.433>
- Mustaniroh, S. A., Sunyoto, N. M. S., Yulianingsih, R., Zahro, F. A., Andriani, R. D., & Kirana, W. C. (2024). Diseminasi Teknologi Produksi Agens Hayati sebagai Solusi Alternatif dalam Produktivitas Buah Naga: Indonesia. *Jurnal Abdimas Madani dan Lestari (JAMALI)*, 127–138. <https://doi.org/10.20885/jamali.vol6.iss2.art6>
- Nguyen, T. D., Venkatadri, U., Quang, T. N., Diallo, C., Pham, D. H., Phan, H. T., Adams, M. (2024). Stochastic Modelling Frameworks for Dragon Fruit SupplyChains in Vietnam under Uncertain Factors. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 16(6), 2-28. doi:<https://doi.org/10.3390/su16062423>
- Ngoc, T. B., Thinh, P. V., Mui, D. T., Uyen, L. H., Kim Ngan, N. N., Kim Tran, N. T., Trun, N. Q. (2024). Influences of Fermentation Conditions on the Chemical Composition of Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Wine. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 10(61), 2-19. doi:<https://doi.org/10.3390/beverages10030061>
- Octiara, E., Salmiah, S., Bachtiar, Z. A., Adiana, I. D., Sari, G. W., Kerenha, & Tambunan, D. C. (2025). Combination effects oral drops of *Holothuria scabra* extract and *Hylocereus*

- polyrhizus peel on enhancing recovery from post-chemotherapy oral mucositis. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 13(4), 1148-1159. doi:https://doi.org/10.56499/jppres24.2040_13.4.1147
- Putra, D. F. U., Syakir, A., Sirait, E. J. S., Harefa, G. L., Kamal, M. D., Pratama, M. R., & Priambodo, T. C. (2023). Implementasi Photovoltaic Terintegrasi Battery Storage Guna Menunjang Penerangan pada Kebun Buah Naga Desa Sukorejo. *TheJournalish: Social and Government*, 4(5), 154–167. <https://doi.org/10.55314/tsg.v4i5.606>
- Saputra, A. D., Gunadi, I. G. A., & Wiraatmaja, I. W. (2020). Efek Penggunaan Beberapa Sinar LED pada Tanaman Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of Agrotrop*, 10(2), 201–210. <https://doi.org/10.24843/AJoAS.2020.v10.i02.p09>
- Sasongko, S. B., Novasari, D., Ramadhan, D. H., Fadlilah, M. A. N., & Pratiwi, W. Z. (2021). Study on Making a Prototype Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) as an Alternative Electric Energy Source. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1053(1), 012098. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1053/1/012098>
- Setiawan, Y. D., Hartanto, W., Lukas, E. E., Julienne, N. D. B., Kurniawan, S., & Siswanto, B. (2023). Smart Plant Watering and Lighting System to Enhance Plant Growth Using Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 227, 966–972. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.604>
- Viet, T. D., Anh, L. H., Kell, S., & Xuan, T. D. (2025). The Modern Technology in Developing Smart Agriculture. *International Journal of Modern Agriculture and Environment*, 2-29. doi:[10.20944/preprints202503.2174.v1](https://doi.org/10.20944/preprints202503.2174.v1)
- Vo, X. T., Pham, T. T., Huynh, N. H., & Nguyen, N. N. (2024). Isolation and screening rhizobacteria to control *Gilbertella persicaria* causing dragon fruit rot. *Acta Agrobotanica*, 77, 1-13. doi:<https://doi.org/10.5586/aa/187896>
- Wang, Q., & Lv, H. (2022). Intelligent Lighting Control System Based on Internet of Things Technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2310(1), 012060. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2310/1/012060>
- Yang, Z. Y., Zheng, X. W., Jiang, W. H., Chen, G. Z., Lian, Q. Z., Xu, G. Z., & Yi, R. H. (2024). *Selenicereus undatus* (Dragon Fruit) Phytochemicals for *Selenicereus undatus* (Dragon Fruit) Phytochemicals for In Vitro and In Silico Approach. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 14(11), 2-24. doi:<https://doi.org/10.3390/metabo14110577>