

# Desain Smart Hydroponic sebagai Media Belajar Fisika Materi Energi Terbarukan

Faiz Mudhofir\*, Edy Cahyono, Sigit Saptono, Sulhadi Sulhadi, Putut Marwoto, Retno Sri Iswari

Universitas Negeri Semarang, Jl. Kelud Utara III, Petompon, Kec. Gajahmungkur, Kota Semarang, Jawa Tengah 50237, Indonesia

\*Corresponding Author: 0909faiz@students.unnes.ac.id

**Abstrak.** Pengetahuan siswa tentang pemanfaatan dan masa depan energi menjadi ditekankan dalam pembelajaran fisika. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran desain media belajar fisika materi energi terbarukan. Media belajar yang dirancang adalah pengembangan smart hydroponic bertenaga panel surya. Komponen utama desain smart hydroponic ini adalah panel surya, controller, accu, inverter, sensor TDS, sensor pH, pompa air, dan katup otomatis. Tanaman yang digunakan adalah sayuran jenis Selada. Komponen pendukung yang lain adalah penggunaan nutrisi A dan B sebagai sumber nutrisi tanaman. Sebelum diterapkan sebagai media pembelajaran, media smart hydroponic ini diuji nilai tepat guna dan validitasnya. Hasil uji coba desain alat memberikan hasil yang efektif dan efisien untuk diterapkan pada budidaya tanaman sayur selada.

**Kata kunci:** smart hydroponic; energi terbarukan, media pembelajaran fisika.

**Abstract.** Students' knowledge about the use and future of energy is emphasized in learning physics. This study aims to provide an overview of the design of physics learning media for renewable energy materials. The learning media designed is the development of smart hydroponic powered by solar panels. The main components of this smart hydroponic design are solar panels, controllers, batteries, inverters, TDS sensors, pH sensors, water pumps, and automatic valves. The plants used are lettuce vegetables. Another supporting component is the use of nutrients A and B as a source of plant nutrients. Before being applied as a learning medium, this smart hydroponic media was tested for its appropriate value and validity. The results of the trial design of the tool provide effective and efficient results to be applied to the cultivation of lettuce.

**Key words:** smart hydroponic; renewable energy; physics learning media.

**How to Cite:** Mudhofir, Faiz., Cahyono, E., Saptono, S., Sulhadi, S., Marwoto, P., Iswari, R. S. (2022). Desain Smart Hydroponic sebagai Media Belajar Fisika Materi Energi Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana*, 2022, 388-395.

## PENDAHULUAN

Tujuan pembelajaran fisika diantaranya adalah mengasah kemampuan siswa dalam memecahkan masalah (Setyarini et al., 2021). Kemampuan pemecahan masalah siswa dapat dilihat dengan tercapainya kemampuan dalam menerapkan pengetahuannya ke dalam konteks baru, menghubungkan konsep, dan mengembangkan pengetahuan yang dimiliki siswa. Sinuraya (2019) mengemukakan bahwa keterampilan proses sains dan kreatifitas siswa memengaruhi hasil belajar. Hasil ini dapat diwujudkan melalui pembelajaran praktikum (Sinuraya et al., 2019).

Pemanfaatan media pembelajaran membantu siswa memahami konsep yang abstrak menjadi lebih konkrit (Darmaji et al., 2019). Konsep pengetahuan teknologi, pedagogis, dan konten (TPACK) dengan integrasi teknologi dapat meningkatkan HOTS dan sikap ilmiah (Ilmi et al., 2020). Pemanfaatan media pembelajaran juga dapat membangkitkan minat belajardan

memberikan efek psikologis pada siswa (Rohman et al., 2021).

Materi energi merupakan salah satu materi fisika yang diajarkan pada jenjang SMA. Pengetahuan siswa tentang pemanfaatan dan masa depan energi menjadi kajian yang penting. Penggunaan energi secara efisien membantu mengurangi emisi gas rumah kaca serta dampak perubahan iklim (Martinsson et al., 2011). Pendidikan adalah elemen penting dan batu kunci bagi pembangunan bangsa manapun. Pendidikan dapat menanamkan pengetahuan yang diperlukan dan tanggung jawab moral yang dibutuhkan siswa untuk lebih memahami dan memecahkan masalah lingkungan, terutama terkait dengan sumber energi (Zyadin et al., 2014). Sistem pengajaran yang tepat membantu siswa belajar tentang suatu topik (energi) sekaligus menerapkan pengetahuan itu ke dunia nyata (Seraphin et al., 2013).

Melihat begitu pentingnya media belajar pada pembelajaran Energi, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah: 1) bagaimana rancangan desain Smart hydroponic berbasis panel surya

yang nantinya digunakan sebagai media pembelajaran fisika; 2) bagaimana gambaran Smart hydroponic sebagai media pembelajaran fisika? Pengembangan Smart hydroponic diharapkan memberikan gambaran pada peserta didik dalam menerapkan pembangkit listrik tenaga panel surya dan membuka wawasan perkembangan sains dan teknologi bagi siswa.

## METODE

*Smart hydroponic* dirancang untuk diterapkan dalam penanaman selada. Hasil desain memberikan gambaran bagaimana desain ini untuk dapat dimanfaatkan sebagai media pembelajaran fisika. Desain alat *smart hydroponic* terdiri atas beberapa komponen utama. Komponen tersebut adalah:

### 1. Panel Surya

Panel surya berfungsi untuk mengubah intensitas sinar matahari menjadi energi listrik. Panel surya menghasilkan arus yang dapat digunakan untuk mengisi baterai (Romli et al., 2016). Panel surya terdiri dari photovoltaic yang menghasilkan listrik dari intensitas cahaya. Penggunaan panel surya berarti menambah konversi tenaga surya. Ukuran panel surya berbanding lurus dengan energi yang dihasilkan.

Jenis panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya monokristal (mono-crystalline). Tipe ini dapat menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi, yaitu mencapai 15% (Yao et al., 2020). Kelemahan dari panel jenis ini adalah kurang berfungsi baik ditempat yang cahaya mataharnya kurang (teduh), efisiensinya akan berkurang. Panel surya yang digunakan memiliki ukuran (680x540x30) mm. Panel surya ini dapat beroperasi pada suhu antara -40 – 85°C.

### 2. Solar Charge Controller

Fungsi pemakaian controller adalah sebagai penghubung antara panel surya dengan baterai penyimpanan (accu) dan peralatan listrik DC. Pada controller akan ditampilkan besaran tegangan serta arus yang dihasilkan dan temperature udara.

### 3. Accu

Fungsi pemakaian accu adalah untuk menyimpan daya yang dihasilkan oleh panel surya setelah dikonversi oleh solar charge controller

### 4. Arduino Uno

Arduino Uno yang digunakan merupakan sebuah board dengan mikrokontroler ATmega328. Bagian dari Arduino ini adalah 14 pin digital dengan 6 pin output PWM, 6 input analog, osilator kristal 16 MHz, koneksi USB,

konektor sumber tegangan, header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat hal yang dibutuhkan sebuah mikrokontroler. Pemakaiannya dengan menghubungkan ke sebuah komputer melalui USB. Cara lain adalah dengan memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC.

### 5. Inverter

Inverter adalah perangkat untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC). Inverter dipasang untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh Accu. Accu menerima sumber energi dari panel surya yang kemudian disimpan dalam bentuk tegangan 12 V.

### 6. Pompa air

Pompa air yang digunakan memiliki daya: 28 Watt, ketinggian maksimal 1.5 m, debit 400 L/jam

### 7. Sensor Asam Basa (pH) air

Feature sensor pH adalah tegangan pemanas 5 0.2V (AC DC), arus kerja 5-10mA, rentang konsentrasi yang dapat dideteksi pH 0-14, waktu untuk merespon: 5 s, waktu penyelesaian 60 s, komponen daya 0.5 W, suhu pemakaian -10 ~ 50 (nominal temperature 20), kelembaban: 95% RH kelembaban nominal 65% RH), output: keluaran sinyal tegangan analog dengan 4pcs M3 Mounting Holes

### 8. Sensor TDS

Tegangan masukan 3.3 ~ 5.5V, tegangan keluaran 0 ~ 2.3V, arus bekerja 3 ~ 6mA, interval pengukuran 0 ~ 1000 ppm, dan akurasi pengukuran  $\pm 10\%$  F.S. (25 °C).

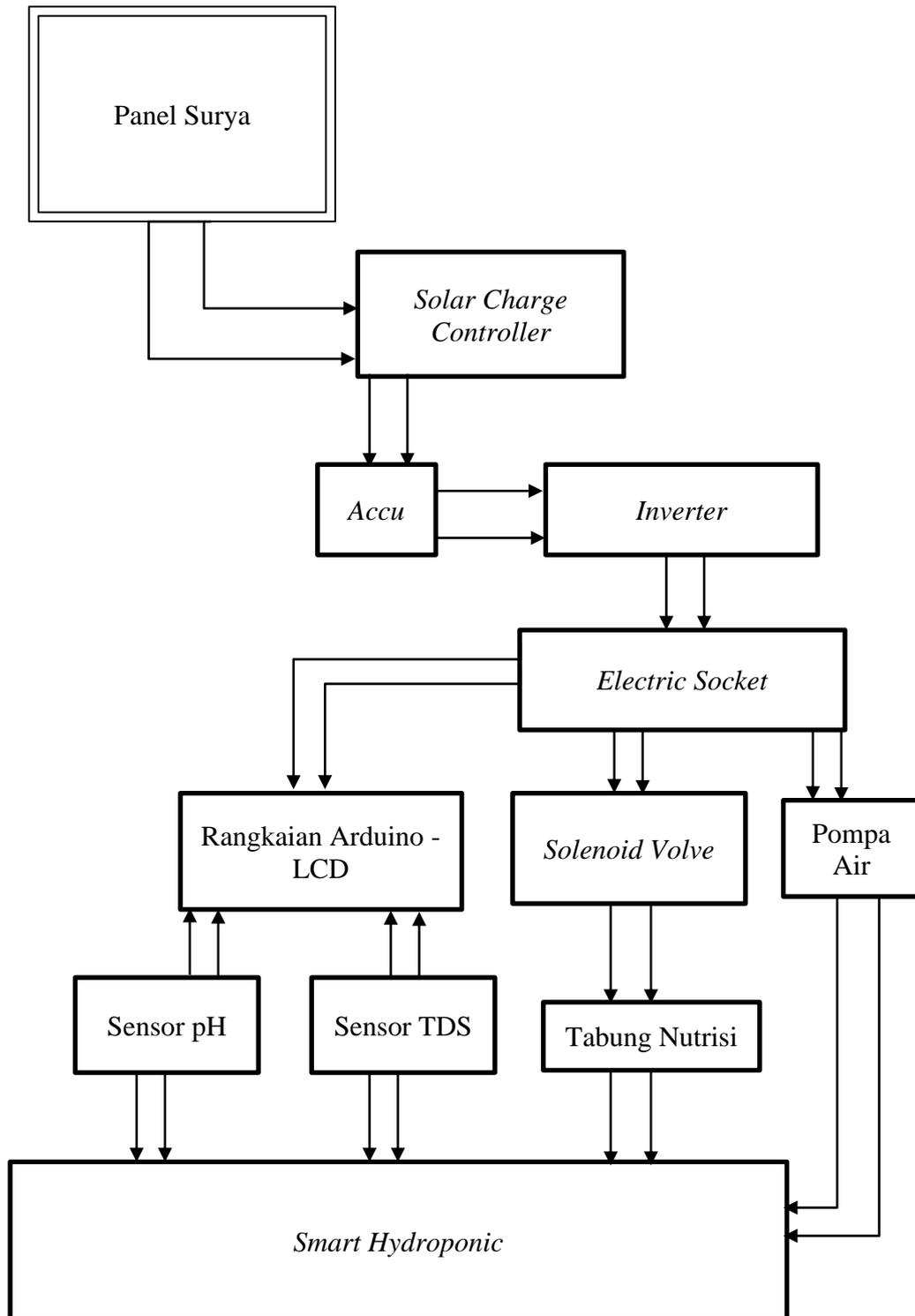
### 9. Solenoid Valve plastic ukuran ½ inchi

Solenoid Valve Plastik ukuran 1/2" x 1/2" dengan voltase 220V, dengan tipe katup akan tertutup jika tidak ada aliran listrik dan katup terbuka saat ada aliran listrik. Solenoid bekerja pada water pressure: 0.2-0.8 MPa.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perancangan Smart Hydroponic

Desain alat *smart hydroponic* memanfaatkan potensi alam dan sumber daya energi di lingkungan sekitar berupa sinar matahari sehingga menjadi bagian dari komposisi yang bersatu dan berkorelasi. Sistem energi surya (fotovoltaik, panas matahari, tenaga surya) memberikan manfaat lingkungan yang signifikan dibandingkan dengan sumber energi konvensional, sehingga memberikan kontribusi, untuk pembangunan berkelanjutan dari aktivitas manusia. Gambaran rancangan komponen-komponen penyusun ditunjukkan oleh Gambar 1.



**Gambar 1.** Rancangan Desain Smart Hydroponic

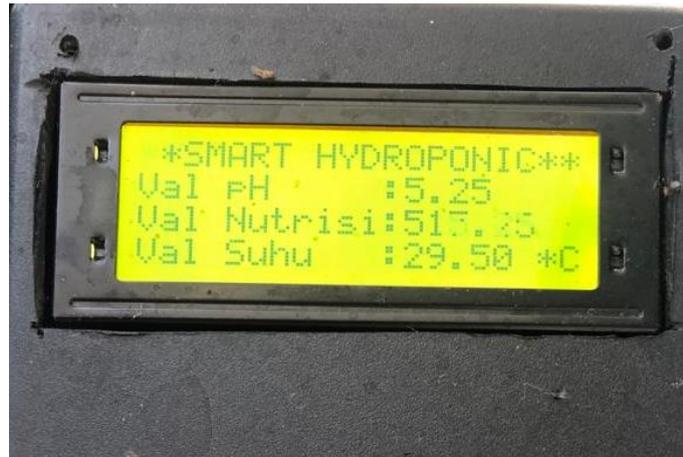
Panel surya merupakan alat untuk menangkap sinar matahari yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Perubahan energi listrik diterima oleh solar charge controller yang berfungsi mengatur arus listrik yang akan disimpan ke accu atau dapat digunakan secara langsung. Arus listrik yang tersimpan pada accu berupa arus

searah (DC) dengan tegangan 24 V. Peralatan elektronik Arduino, solenoid, dan pompa air membutuhkan sumber arus AC. Perangkat inverter berfungsi untuk mengubah aliran DC menjadi AC 220 V, sehingga peralatan tersebut dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Rangkaian Arduino Uno berfungsi untuk

membaca nilai oleh sensor pH dan sensor TDS (kandungan nutrisi) yang ditampilkan pada LCD. Sensor TDS diprogram dengan batas bawah dan batas atas untuk mengatur pemberian nutrisi secara otomatis. Solenoid valve akan membuka katup jika pada sensor TDS terbaca batas bawah dan akan menutup Kembali ketika sensor TDS terbaca batas atas. Aliran nutrisi bersamaan dengan aliran pompa air bersumber tenaga matahari. Aliran air ini mengalir selama 24 jam dalam masa tanam 35 hari.

**Program Arduino Uno**

Program yang digunakan untuk membaca nilai yang diperoleh dari sensor adalah program Arduino 1.8.12. Sensor yang digunakan telah melalui tahap kalibrasi sesuai pengukuran menggunakan alat ukur secara manual. Penerapan Bahasa pemrograman di atas memberikan output nilai sensor pH dan sensor kandungan nutrisi. Data-data tersebut ditampilkan oleh LCD seperti pada Gambar 5.



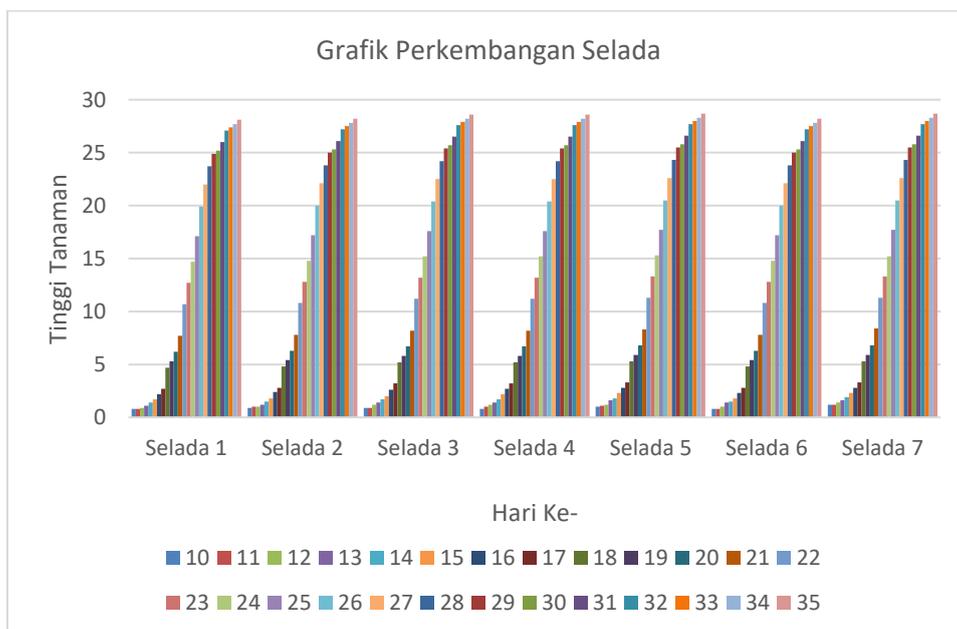
**Gambar 5.** Tampilan LCD untuk Nilai Ph dan Kandungan Nutrisi

Data nilai pH air memberikan gambaran kualitas air. Nilai yang ditunjukkan menjadi acuan terkait dengan apakah air hidroponik harus diganti atau tidak. Nilai kandungan nutrisi terhubung dengan solenoid valve plastik ukuran ½ inchi. Solenoid ini dikontrol secara otomatis untuk dapat membuka dan menutup mengalirkan

nutrisi dari dalam botol ke aliran hidroponik.

**Data Hasil Implementasi**

Hasil rancangan alat diterapkan pada penanaman sayuran selada sebanyak 7 biji. Hasil pengukuran tinggi tanaman disajikan dalam Grafik 1.



**Grafik 1.** Tinggi Selada dalam Masa Tanam 35 Hari

Besaran lain yang diukur adalah jumlah daun dan massa selada. Table 1 menunjukkan jumlah daun dan massa selada perbatang.

**Tabel 1.** Jumlah Daun dan Massa Selada

Nama Tanaman	Jumlah Daun	Massa (gram)	Perbatang
Selada 1	8	178,6	
Selada 2	8	180,2	
Selada 3	10	186,4	
Selada 4	7	172,3	
Selada 5	9	185,7	
Selada 6	8	181,1	
Selada 7	10	185,8	

### Pembahasan

Selada (*Lactuca sativa*) merupakan tanaman terpenting dalam kelompok sayuran berdaun. Hal ini ditandai dengan variasi morfologi dan genetik yang cukup besar. Tanaman ini terdiri dari tujuh kelompok utama kultivar (termasuk selada minyak sayur) yang berbeda secara fenotip; mereka biasanya digambarkan sebagai morfotipe. Pemuliaan selada terutama difokuskan pada berbagai ciri morfologi dan ketahanan terhadap penyakit dan hama (Křístková et al., 2008). Sayuran berdaun hijau seperti selada rentan terhadap jamur tanah (Verwaaijen et al., 2019). Populasi global meningkat, dan strategi untuk pertanian berkelanjutan diperlukan untuk keamanan dan keamanan pangan. Selain itu, ada minat yang kuat dalam kualitas serta dalam mengurangi kerugian selama produksi. Munculnya populasi global, perubahan iklim, hilangnya kekuatan produktivitas, dan urbanisasi yang intens merupakan tantangan besar yang harus diatasi untuk produksi dan distribusi pangan yang lebih baik (Pelegriño et al., 2020). Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan penanaman menggunakan model hidroponik.

Model hidroponik yang diterapkan pada penelitian ini adalah hidroponik instalasi DFT (Deep Flow Technique). Instalasi DFT berarti bahwa ketika aliran air terhenti, maka di dalam pipa masih terdapat air yang menggenang. Instalasi ini cocok untuk tanaman yang mudah layu jika kekurangan air (Watcharinrat et al., 2021). Aliran air dalam instalasi diberikan oleh pompa air. Energi listrik yang digunakan pompa ini menggunakan tenaga panel surya yang tersimpan pada accu. Waktu penyerapan energi matahari oleh panel terjadi lebih kurang 9 jam perhari. Penyerapan energi ini mencukupi kebutuhan listrik dalam instalasi hidroponik.

Sirkulasi air terjaga selama 24 jam. Efek sanitasi air pada selada selama proses penanaman mengurangi populasi kelangsungan hidup bakteri pengganggu (Zhao et al., 2019). Nutrisi tambahan diberikan melalui sirkulasi tersebut. Nutrisi tersebut mengandung beberapa unsur makro seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), serta Sulfur (S). Kandungan lainnya adalah unsur mikro berupa Besi (Fe), Seng (Zn), Klor (Cl), Boron (Br), Molibdenum (Mo), dan Mangan (Mn). Saat usia selada kurang dari 15 hari, kebutuhan nutrisi 700-850 ppm. Pada usia lebih dari 15 hari, kebutuhan nutrisi bertambah menjadi 1.000 – 1 200 ppm (Kurniawan & Amirullah, 2021).

Nutrisi tanaman dialirkan secara otomatis dari sebuah tabung yang dikontrol solenoid valve. Solenoid valve terprogram untuk membuka atau menutup secara otomatis. Saat usia selada kurang dari 15 hari, katup solenoid akan membuka ketika pada sensor TDS terbaca nutrisi kurang dari 700 ppm dan pada usia lebih dari 15 hari katup akan terbuka Ketika nutrisi kurang dari 1.000 ppm. Solenoid valve menutup Kembali setelah pada sensor TDS menunjukkan angka terpenuhinya kebutuhan nutrisi. Kebutuhan untuk mengetahui kandungan nutrisi ini sangat penting dalam pertumbuhan dan kualitas selada (Mahlangu et al., 2016).

Masa panen tanaman selada adalah 35 – 40 hari. Pada awal penanaman, biji ditanam di rockwool selama 10 hari. Tanaman selada dipindah ke instalasi hidropnik Ketika berusia 11 hari atau ketika akarnya sudah cukup panjang atau dapat terhubung ke aliran air hidropnik. Keadaan ini terkait dengan penangkapan sumber makanan sehingga diperlukan pemahaman yang lebih baik tentang fungsi sistem akar (Kerbiriou et al., 2013). Pada usia 10 hari, tinggi rata-rata selada sekitar 0,9 cm dengan Panjang akar mencapai 3 cm. Selada tumbuh pada suhu rata-rata 32,4°C dan derajat pH sekitar 5 – 6.

Pada usia 15 hari, selada sudah tertanam di instalasi hidroponik dengan tetap menggunakan media rockwool. Pada usia ini, kebutuhan nutrisi meningkat mencapai 1.000 ppm. Kebutuhan yang bertambah ini mengharuskan pemrograman Kembali pada Solenoid valve. Solenoid valve deprogram agar membuka katup lebih lama untuk memenuhi kebutuhan nutrisi ini. Pertumbuhan rata-rata selada perhari sebesar 0,8 cm. Tinggi tanaman saat usia 35 hari mencapai 28.4 cm. jumlah daun rata-rata tiap selada sebanyak 8 lembar. Massa rata-rata selada perbatang adalah 181,4 gram. Pemberian nutrisi pada konsentrasi

900 ppm dengan media rockwool diperoleh massa selada 180,33 gram perbatang. Nilai mass aini merupakan nilai efektif penanaman selada (Artiningrum & Nugrahani, 2021).

### **Penggunaan Smart Hydroponic sebagai Media Belajar Fisika**

Paparan mengenai desain smart hydroponic memberikan gambaran untuk menggunakannya sebagai media dalam pembelajaran materi fisika. Desain alat tersebut menjelaskan pada aspek-aspek di bawah ini:

1. Pemanfaatan sumber daya alam masih sangat perlu ditumbuhkan. Pada materi “Energi Terbarukan”, siswa dikenalkan dengan berbagai sumber daya alam yang didapat diubah menjadi energi listrik. Pemanfaatan panel surya membantu siswa memahami materi menjadi lebih konkrit dengan melihat secara langsung alat dan perancangannya. sistem pembangkit listrik ini dapat dimanfaatkan dan diterapkan secara lebih efisien (Icaza et al., 2020).
2. Rangkaian desain alat menunjukkan kebutuhan peralatan listrik sumber arus AC. Arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya merupakan arus searah (DC). Siswa dikenalkan dengan alat yang namanya Inverter. Alat ini berfungsi mengubah aliran DC menjadi AC dengan tegangan 220 V.
3. Perkembangan teknologi semakin maju. Perkembangan teknologi menjadikan pekerjaan manusia lebih mudah. Siswa dapat mengenal teknologi sensor yang dapat diprogram sehingga dapat bekerja secara otomatis.
4. Keterpaduan sains juga dipelajari dalam desain alat *smart hydroponic*. Siswa belajar bagaimana tumbuh kembang tanaman selada secara hidroponik. Sistem tanam yang lebih berkualitas dan lebih aman secara mikrobiologis dapat disediakan oleh sistem tanpa tanah sebagai sistem tanam baru (Selma et al., 2012).

Penggunaan media dalam pembelajaran berbasis praktikum diperlukan untuk memberikan kesempatan kepada siswa dalam menemukan dan menerapkan konsep melalui observasi (Bakri et al., 2020). Smart Hydroponic sebagai media belajar fisika materi energi terbarukan diharapkan membantu siswa dan guru dalam menyampaikan materi tersebut. Pengetahuan yang diperoleh siswa melalui media *Smart Hidroponic* juga dapat meningkatkan kesadaran dan sikap siswa

terhadap *Renewable Energi* (RE) di negeri yang sangat bergantung pada bahan bakar fosil padahal memiliki sumber daya RE yang tinggi. Kebutuhan untuk lebih memahami peran pendidikan dalam menumbuhkan kesadaran RE, yang diperlukan bagi siswa untuk menjadi konsumen energi masa depan yang bertanggung jawab.

### **SIMPULAN**

*Smart hydroponic* telah dirancang. Desain rancangan tersebut terdiri atas panel surya sebagai penangkap sumber energi cahaya, controller sebagai pengolah energi yang dihasilkan, accu sebagai penyimpan tegangan, dan inverter sebagai pengubah arus DC menjadi AC. Komponen pendukung lain adalah sensor TDS sebagai pembaca kandungan nutrisi air, sensor pH, pompa air untuk mengalirkan air, dan solenoid valve dengan katup otomatis yang terhubung dengan sensor TDS sebagai penyuplai nutrisi. Tanaman yang ditanam adalah sayuran jenis Selada. Nutrisi yang digunakan adalah nutrisi A dan B sebagai tambahan nutrisi tanaman. Smart hydroponic ini memiliki efisiensi dalam penggunaan energi listrik karena menggunakan energi terbarukan yaitu sinar matahari. Efisiensi lainnya adalah membantu mengontrol pemberian nutrisi secara otomatis sesuai program yang dimasukkan. Penerapan alat ini efektif pada penanaman Selada dengan tinggi rata-rata tanaman 28,4 cm selama masa tanam 35 hari.

Desain *smart hydroponic* ini nantinya dapat diterapkan pada pembelajaran fisika. Pemanfaatannya digunakan sebagai media belajar dalam mengenalkan energi terbarukan, perkembangan teknologi, dan keterpaduan sains dalam model tanam hydroponic. Desain alat juga diharapkan meningkatkan kesadaran tentang pentingnya menggunakan panel surya, dalam melestarikan sumber daya fosil alam serta dalam melestarikan lingkungan (Gjelaj & Musliu, 2018).

### **REFERENSI**

- Artiningrum, M. P. P., & Nugrahani, P. (2021). Study of planting media and nutrition concentration on growth rate and yield of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in NFT hydroponic systems. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 637, 9. <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/637/1/012097>
- Bakri, F., Permana, H., Wulandari, S., & Muliwati,

- D. (2020). Student worksheet with AR videos: Physics learning media in laboratory for senior high school students. *Journal of Technology and Science Education*, 10(2), 231–240. <https://doi.org/10.3926/jotse.891>.
- Darmaji, D., Kurniawan, D. A., Astalini, A., Lumbantoruan, A., & Samosir, S. C. (2019). Mobile Learning in Higher Education for The Industrial Revolution 4.0: Perception and Response of Physics Practicum. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 13(09), 4–20.
- Gjelaj, V., & Musliu, A.-S. (2018). Environmental benefits from using solar panels for electrical energy production. *UBT International Conference*. <https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/2018/eee/1>
- Icaza, D., Borge-Diez, D., Pulla Galindo, S., & Flores-Vázquez, C. (2020). Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures. *Energies*, 13(18), 4649. <https://doi.org/10.3390/en13184649>.
- Ilmi, A. M., Sukarmin, & Sunarno, W. (2020). Development of TPACK based-physics learning media to improve HOTS and scientific attitude. *Journal of Physics: Conference Series*, 1440, 012049. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012049>
- Kerbiriou, P. J., Stomph, T. J., Van Der Putten, P. E. L., Lammerts Van Bueren, E. T., & Struik, P. C. (2013). Shoot growth, root growth and resource capture under limiting water and N supply for two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant and Soil*, 371(1), 281–297. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1672-6>
- Křístková, E., Doležalová, I., Lebeda, A., Vinter, V., & Novotná, A. (2008). Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science*, 35(No. 3), 113–129. <https://doi.org/10.17221/4/2008-HORTSCI>
- Kurniawan, L. A., & Amirullah, A. (2021). Monitoring and Controlling of pH Levels and Plant Nutrition Supplied by Standalone Photovoltaic in a Greenhouse Hydroponic System using Arduino Uno. *ELKHA : Jurnal Teknik Elektro*, 13(1), 69–76. <https://doi.org/10.26418/elkha.v13i1.45657>
- Mahlangu, R. I. S., Maboko, M. M., Sivakumar, D., Soundy, P., & Jifon, J. (2016). Lettuce (*Lactuca sativa* L.) growth, yield and quality response to nitrogen fertilization in a non-circulating hydroponic system. *Journal of Plant Nutrition*, 39(12), 1766–1775. <https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1187739>
- Martinsson, J., Lundqvist, L. J., & Sundström, A. (2011). Energy saving in Swedish households. The (relative) importance of environmental attitudes. *Energy Policy*, 39(9), 5182–5191. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.05.046>
- Pelegriño, M. T., Kohatsu, M. Y., Seabra, A. B., Monteiro, L. R., Gomes, D. G., Oliveira, H. C., Rolim, W. R., de Jesus, T. A., Batista, B. L., & Lange, C. N. (2020). Effects of copper oxide nanoparticles on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedlings and possible implications of nitric oxide in their antioxidative defense. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 232. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8188-3>
- Rohman, A., Werdhiana, I. K., & Saehana, S. (2021). The development of electrical energy conversion tools as learning media for the concept of energy sources. *Journal of Physics: Conference Series*, 1760, 012051. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1760/1/012051>
- Romli, M. I. F., Rajkumar, R. K., Wan, W. Y., Wai, C. L., Arelhi, R., & Isa, D. (2016). The Effectiveness of New Solar Photovoltaic System with Supercapacitor for Rural Areas. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(3), 249–257.
- Selma, M. V., Luna, M. C., Martínez-Sánchez, A., Tudela, J. A., Beltrán, D., Baixauli, C., & Gil, M. I. (2012). Sensory quality, bioactive constituents and microbiological quality of green and red fresh-cut lettuces (*Lactuca sativa* L.) are influenced by soil and soilless agricultural production systems. *Postharvest Biology and Technology*, 63(1), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.08.002>
- Seraphin, K. D., Philippoff, J., Parisky, A., Degnan, K., & Warren, D. P. (2013). Teaching Energy Science as Inquiry: Reflections on Professional

- Development as a Tool to Build Inquiry Teaching Skills for Middle and High School Teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 22(3), 235–251. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9389-5>
- Setyarini, D. A., Supardi, Z. A. I., & Sudibyo, E. (2021). Improving Senior High School Students' Physics Problem-solving Skills Through Investigated Based Multiple Representation (IBMR) Learning Model | *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*. *IJORER: International Journal of Recent Educational Research*, 2(1), 42–53. <https://doi.org/10.46245/ijorer.v2i1.74>
- Sinuraya, J., Panggabean, D. D., & Wahyuni, I. (2019). Analysis of relationship science process skills and creativity with the cognitive learning outcomes used of the icare practice based on worksheet on learning high school physics courses. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(2), 91–96. <https://doi.org/10.22611/jpf.v8i2.14844>
- Verwaaijen, B., Wibberg, D., Winkler, A., Zrenner, R., Bednarz, H., Niehaus, K., Grosch, R., Pühler, A., & Schlüter, A. (2019). A comprehensive analysis of the *Lactuca sativa*, L. transcriptome during different stages of the compatible interaction with *Rhizoctonia solani*. *Scientific Reports*, 9(1), 7221. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43706-5>
- Watcharinrat, D., Charoenrak, P., Pimonrat, P., Supmattra, S., Jitaek, P., & Phasinam, K. (2021). Effects of Water Levels and Dissolved Oxygen Concentration on the Growth of Celery Cultivated In A DFT Hydroponic System. *Design Engineering*, 3669–3675.
- Yao, J., Xu, H., Dai, Y., & Huang, M. (2020). Performance analysis of solar assisted heat pump coupled with build-in PCM heat storage based on PV/T panel. *Solar Energy*, 197, 279–291. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.01.002>
- Zhao, L., Mitchie Yiqi, Z., Chin Ping, P., & Yang, H. (2019). Efficacy of low concentration acidic electrolysed water and levulinic acid combination on fresh organic lettuce (*Lactuca sativa* Var. *Crispa* L.) and its antimicrobial mechanism. *Food Control*, 101, 241–250. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.02.039>