

BAB VI PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian penelitian mulai dari perancangan, realisasi prototipe, pengujian, hingga evaluasi kinerja, dapat disimpulkan bahwa:

1. Alat sistem nutrisi hidroponik otomatis bertenaga surya berhasil dirancang dan diwujudkan dalam bentuk prototipe menggunakan metode rasional. Sistem ini dilengkapi dengan ESP32, sensor TDS dan pH, enam pompa (nutrisi A, nutrisi B, pH *Up*, pH *Down*, air, dan sirkulasi), LCD 20x4, serta panel surya 30 Wp dengan aki 12V/7Ah.
2. Prototipe mampu mengontrol TDS dan pH secara otomatis dan *real-time*, menjaga TDS pada rentang 950–1400 ppm dan pH pada 5,5–6,5. Mekanisme ini memungkinkan pemberian nutrisi lebih presisi, mencegah kekurangan atau kelebihan larutan, dan menjaga kestabilan lingkungan tumbuh.
3. Sistem energi mandiri berhasil diwujudkan, di mana panel surya 30 Wp menghasilkan tegangan 16–20 V yang cukup untuk mengisi aki dan menyuplai kebutuhan daya ± 32 W. Hal ini membuktikan sistem dapat mengurangi ketergantungan pada listrik PLN dan mendukung pemanfaatan energi terbarukan.
4. Hasil panen tanaman pakcoy meningkat signifikan. Sistem otomatis menghasilkan total 4.117 g atau rata-rata 205,85 g/tanaman, sedangkan sistem manual hanya 2.485 g atau rata-rata 124,25 g/tanaman. Artinya, terdapat peningkatan hasil sebesar 65,7% pada sistem otomatis dibandingkan metode manual, bahkan bobot panen otomatis melampaui standar literatur (120–150 g/tanaman).
5. Secara ekonomi, sistem dinilai layak karena biaya investasi dapat ditutup kembali dalam periode yang relatif singkat melalui efisiensi listrik dan peningkatan hasil panen.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran pengembangan dan penerapan lebih lanjut yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja dan keberlanjutan sistem nutrisi hidroponik otomatis bertenaga sel surya ini.

1. Untuk meningkatkan kemampuan monitoring dan kontrol, disarankan agar sistem dilengkapi dengan teknologi *Internet of Things* (IoT). Dengan integrasi IoT, data nilai TDS, pH, status pompa, dan kapasitas daya dapat diakses secara real-time melalui perangkat smartphone atau komputer. Fitur ini akan memungkinkan petani memantau dan mengendalikan sistem dari jarak jauh, sehingga intervensi dapat dilakukan lebih cepat apabila terjadi penyimpangan parameter.
2. Dari sisi sumber daya energi, meskipun panel surya 30 Wp yang digunakan telah mencukupi kebutuhan prototipe, kapasitas tersebut sebaiknya ditingkatkan untuk mengantisipasi penurunan intensitas cahaya pada musim hujan atau kondisi mendung berkepanjangan. Alternatif lain yang dapat dipertimbangkan adalah menambahkan sistem *hybrid* yang memadukan panel surya dengan sumber daya cadangan, sehingga kontinuitas operasi sistem tetap terjamin sepanjang waktu.
3. Untuk memperpanjang umur pakai alat dan meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan, diperlukan peningkatan pada desain casing dan pelindung komponen. Box pelindung yang digunakan sebaiknya memiliki sertifikasi tahan air dan debu (IP rating) agar komponen elektronik tetap aman dari kelembaban, hujan, maupun kotoran. Penataan internal juga perlu dioptimalkan untuk memudahkan proses perawatan dan perbaikan.
4. Dari sisi aplikasi pertanian, sistem ini sebaiknya diuji pada berbagai jenis tanaman hidroponik selain pakcoy, seperti selada, kangkung, atau bayam brazil, guna mengetahui penyesuaian parameter yang dibutuhkan untuk setiap jenis tanaman. Hal ini akan memperluas cakupan penggunaan sistem dan meningkatkan potensi adopsi oleh petani dengan beragam komoditas.

5. Untuk penerapan skala lebih besar, diperlukan optimalisasi pompa airasi, sistem distribusi larutan, dan manajemen tandon agar efisiensi energi dan distribusi nutrisi tetap terjaga meskipun jumlah lubang tanam diperbanyak. Selain itu, analisis kelayakan ekonomi pada skala komersial juga perlu dilakukan untuk memastikan bahwa investasi alat ini memberikan keuntungan finansial bagi pengguna dalam jangka panjang.

Dengan mempertimbangkan saran-saran tersebut, diharapkan sistem nutrisi hidroponik otomatis bertenaga sel surya ini dapat terus dikembangkan menjadi solusi teknologi pertanian yang handal, efisien, ramah lingkungan, dan mampu berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas serta keberlanjutan sektor pertanian modern di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Astrom, K.J., & Murray, R.M. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press.
- Cross, N. (2005). *Engineering Design Methods: Strategies for Product Design* (4th ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Fujita, K., et al. (2016). Development of an Automated Hydroponic System for Lettuce Cultivation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9(2), 47-56.
- Isnawan, Mulyono. 2016. Beberapa Sistem Hidroponik dan Cara Budidaya Tanaman Hidroponik dengan Hidroponik Sistem Sumbu.
- Kadir, A. (2002). *Dasar Sistem Komputer*. Andi Offset.
- Kirk, D.E. (2004). *Optimal Control Theory: An Introduction*. Dover Publications.
- Lide, D.R. (2004). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press.
- Lingga. P. 1999. *Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah*, Jakarta: Penebar Swadaya.
- Malvino, A.P., & Leach, D.P. (2005). *Digital Principles and Applications*. McGraw-Hill.
- Nise, N.S. (2011). *Control Systems Engineering*. John Wiley & Sons.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering*. Prentice Hall.
- Pagliaro, Mario. 2008. *Flexible Solar Cells*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Patel. Mukund R. 2006. *Wind and Solar Power Systems Design, Analysis, and Operation*. USA: Taylor & Francis Group, LLC.
- Putra, Y., & Wahyudi, D. (2018). *Pengembangan Sistem Otomatisasi Irigasi Berbasis Sensor Cuaca*. Jurnal Teknologi Pertanian.
- Resh, H.M. (2013). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook*. CRC Press.
- Roozenburg, N. F., & Eekels, J. (1995). *Product Design: Fundamentals and Methods*. Chichester: John Wiley & Sons.

Samsurizal.2021. Pemanfaatan Tenaga Surya Pada Photovoltaic Jenis Untuk Catu Daya Tanaman Hidroponik: DJKI Kemenkumham.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development* (6th ed.). New York: McGraw-Hill Education.