

Prototipe Otomatisasi dan Pemantauan Sistem Hidroponik Berbasis IoT dengan Pemanfaatan Solar Panel Sebagai Sumber Energi

Apta Prana Mas Erlangga¹, Ketut Saha Kesta Dinatha², Frisca Elfrisa Nainggolan³, Soni Prayogi^{4✉}

^{1, 2, 3, 4} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, Jakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 23-08-2023

Direvisi : 30-08-2023

Diterima : 31-08-2023

Kata Kunci:

Hidroponik, Internet of Things, Prototype, Photovoltaic, Real-time.

Keywords:

Hydroponic, Internet of Things, Prototype, Photovoltaic, Real-time.

ABSTRAK

Penelitian ini menghadirkan sebuah prototipe otomatisasi dan pemantauan sistem hidroponik berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dioptimalkan dengan pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi. Sistem ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi pertanian hidroponik modern dengan memantau dan mengontrol parameter lingkungan seperti tingkat kelembaban, suhu, pH, dan pencahayaan tanaman secara real-time. Panel surya digunakan untuk menyediakan sumber energi berkelanjutan, menjadikan sistem ini ramah lingkungan dan otonom. Prototipe ini terhubung ke platform IoT yang memungkinkan pengguna untuk mengakses dan mengontrol sistem melalui aplikasi ponsel pintar atau komputer. Selain itu, data lingkungan yang terkumpul dapat dianalisis untuk meningkatkan hasil pertanian dan meminimalkan konsumsi sumber daya. Penelitian ini mewakili langkah penting dalam menggabungkan teknologi IoT dan energi terbarukan untuk meningkatkan produktivitas pertanian modern dengan cara yang berkelanjutan dan efisien.

ABSTRACT

This research presents a prototype of automation and monitoring of an Internet of Things (IoT) based hydroponic system that is optimized by utilizing solar panels as an energy source. This system is designed to increase the efficiency of modern hydroponic farming by monitoring and controlling environmental parameters such as humidity levels, temperature, pH, and plant lighting in real time. Solar panels are used to provide a sustainable source of energy, making the system eco-friendly and autonomous. This prototype is connected to an IoT platform that allows users to access and control the system via a smartphone or computer application. In addition, the collected environmental data can be analyzed to increase agricultural yields and minimize resource consumption. This research represents an essential step in combining IoT technology and renewable energy to increase the productivity of modern agriculture in a sustainable and efficient way.

Corresponding Author:

Soni Prayogi

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina

Alamat: Jl. Teuku Nyak Arief, Simprug, Kebayoran Lama, Jakarta 12220

Email: soni.prayogi@universitaspertamina.ac.id

PENDAHULUAN

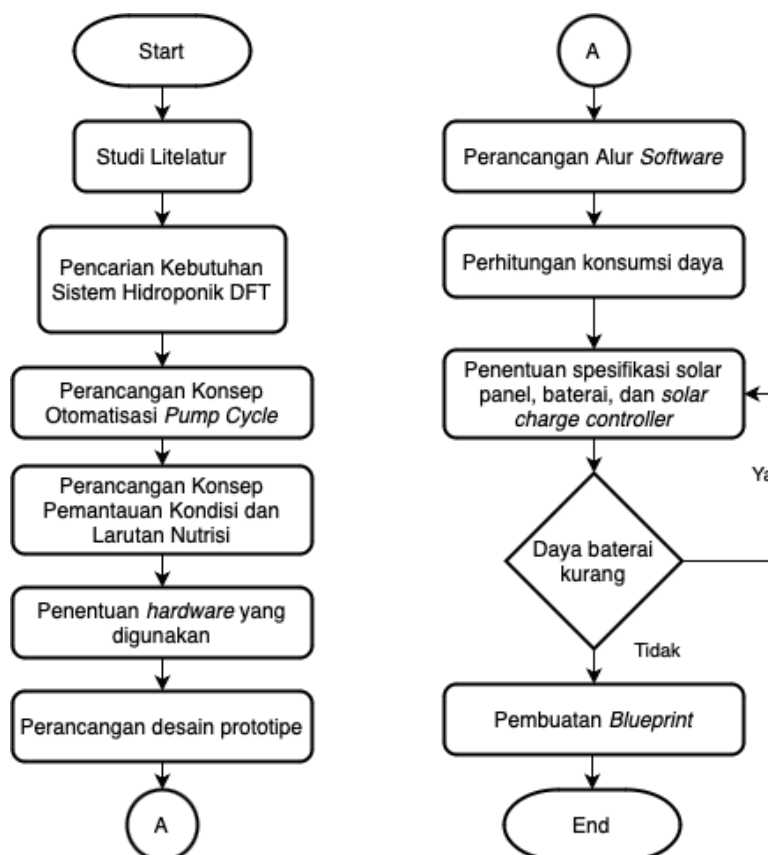
Hidroponik merupakan teknik bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam, melainkan menggunakan air yang kaya nutrisi untuk menyediakan makanan bagi tanaman (Velazquez-Gonzalez et al., 2022). Dalam hidroponik, tanaman ditanam pada media seperti pasir, batu apung, serat kelapa, atau bahan lainnya yang dapat menopang akar tanaman dan menyediakan akses untuk air dan nutrisi (Wedashwara et al., 2021). Teknik hidroponik sangat efisien dalam hal penggunaan air dan nutrisi, karena air dan nutrisi dapat disuplai secara langsung ke akar tanaman, sehingga tidak terbuang sia-sia seperti pada pertanian konvensional yang menggunakan tanah sebagai media tanam (Ramin Shamshiri et al., 2018). Selain itu, hidroponik juga memiliki kelebihan dalam hal produksi yang lebih cepat, hasil panen yang lebih besar, dan penggunaan lahan yang lebih efisien, karena tanaman dapat ditanam lebih rapat dan dalam jumlah yang lebih banyak didalam ruang yang lebih kecil (Siregar et al., 2016). Adapun kekurangan hidroponik yaitu biaya awal yang lebih mahal untuk membangun sistem hidroponik, perlu adanya pengaturan yang lebih cermat dalam hal pemberian nutrisi dan pH air, serta resiko yang lebih tinggi dalam hal infeksi jamur dan penyakit pada tanaman (Ramadhan et al., 2023).

Salah satu teknik hidroponik yaitu hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT) menjadi teknik hidroponik yang cukup populer dan mudah dilakukan (Chowdhury et al., 2020). Teknik hidroponik DFT ini menggunakan wadah yang cukup dangkal dan berisi air yang dialirkan dengan kecepatan yang cukup rendah sehingga membentuk lapisan tipis diatas media tanam (Megantoro et al., 2022). Pada teknik hidroponik DFT, air yang kaya nutrisi dialirkan secara terus menerus melalui wadah dan media tanam untuk menyediakan nutrisi yang cukup bagi tanaman (Al-Ali et al., 2019). Salah satu keunggulan hidroponik DFT ialah efisiensi dalam penggunaan air dan nutrisi (Santoso et al., 2023). Air yang digunakan pada hidroponik DFT dapat digunakan kembali, karena air yang kaya nutrisi akan terus dialirkan kembali ke wadah nutrisi (Roidah, 2014). Panel surya dan energi matahari memainkan peran penting dalam suplai energi hidroponik DFT karena dapat memberikan sumber daya listrik yang diperlukan untuk mengoperasikan sistem hidroponik DFT secara efisien dan berkelanjutan (Wibowo, 2021). Dengan menggunakan panel surya dan energi matahari dalam otomasi hidroponik DFT, kita dapat mengoptimalkan kinerja sistem hidroponik DFT dengan biaya yang lebih rendah dan lingkungan yang lebih bersih (Prayogi et al., 2023).

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi perkembangan tanaman hidroponik, yakni suhu, kelembapan, pH dan ppm (Ghufron & Prayogi, 2023). Pemantauan suhu pada tanaman hidroponik sangat penting untuk memastikan suhu ideal untuk pertumbuhan tanaman, yaitu sekitar 18-25 (S. Sari & Zahrosa, 2017). Pemantauan kelembapan pada tanaman hidroponik sangat penting untuk memastikan kelembapan udara yang ideal untuk pertumbuhan tanaman, yaitu sekitar 60-80% (Silviana & Prayogi, 2023). Pemantauan pH pada tanaman hidroponik sangat penting untuk memastikan pH yang ideal untuk penyerapan nutrisi oleh tanaman, yaitu sekitar 5,5-6,5 (Prayogi et al., 2021). pH yang tidak seimbang pada larutan nutrisi sistem hidroponik dapat mempengaruhi penyerapan nutrisi menjadi tidak tersedia untuk tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Begitupun pemantauan ppm (parts per million) (Karanisa et al., 2022). Dalam sistem hidroponik, kita dapat memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang cukup dan seimbang, yang dapat meningkatkan kesehatan, produktivitas, dan konsistensi pertumbuhan tanaman hidroponik (Dhanaraju et al., 2022). Dalam sistem hidroponik juga membutuhkan sumber energi listrik yang besar karena penyalan pompa yang harus dilakukan selama 24 jam (Hamdani et al., 2022). Oleh karena besarnya potensi energi terbarukan yaitu energi matahari, maka dirancanglah sistem hidroponik menggunakan panel surya yang dilengkapi dengan timer yang dapat mengatur lamanya pengairan dalam sistem hidroponik serta penggunaan sensor pH dan nutrisi dan proses pertaniannya (Prayogi et al., 2022). Pompa berfungsi sebagai alat untuk mengalirkan air ke pipa tanaman hidroponik, yang kemudian akan kembali ke tandon besar tempat pompa tersebut (Tatas et al., 2022). Untuk mengatur lamanya pengairan dalam sistem hidroponik tersebut, digunakanlah timer sebagai pengatur waktu penyalan pompa.

METODE

Sistem otomatisasi hidroponik DFT ini dirancang untuk dapat melakukan otomatisasi siklus nyala pompa (pump cycle) yang berpengaruh langsung terhadap konsumsi listrik dan aliran debit air yang dibutuhkan. Selain itu sistem ini dirancang dapat memantau kondisi nutrisi dan lingkungan sekitar tanaman melalui penggunaan sensor suhu dan kelembapan DHT11, sensor Ph, dan sensor TDS. Dalam pemberdayaan green energy, digunakan solar panel sebagai sumber daya utama dan baterai sebagai penyimpan cadangan energi (Alfanz et al., 2023). Digunakan pula SCC (solar charge controller) sebagai kontrol dari pengisian daya solar panel terhadap baterai. Sehingga nantinya dapat dirancang pula estimasi biaya dalam merancang prototipe ini secara keseluruhan. Adapun diagram alir perancangan seperti pada Gambar 1. Berdasarkan diagram tersebut, dilakukan studi litelatur terlebih dahulu mengenai konsep penanaman secara hidroponik DFT hingga ditemukannya permasalahan dari sistem DFT konvensional. Kemudian dirumuskan perancangan otomatisasi nyala pompa (pump cycle), pemantauan kondisi suhu dan kelembapan, hingga kondisi nutrisi sistem hidroponik (Venu & Muralimohan, 2023). Setelah itu, ditentukan hardware yang berpotensi digunakan sebagai mikrokontroller hingga sensor untuk memenuhi tujuan perancangan sekaligus desain prototipe media tanam dan penempatan seluruh komponen system (I. K. Sari et al., 2022). Dilanjutkan dengan perancangan alur software dan perhitungan daya yang dibutuhkan sistem. Perhitungan tersebut bertujuan untuk menentukan kapasitas dan spesifikasi dari solar panel, baterai, dan SCC yang akan digunakan. Ketika telah sesuai, maka disusun laporan berupa blueprint perancangan sistem.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

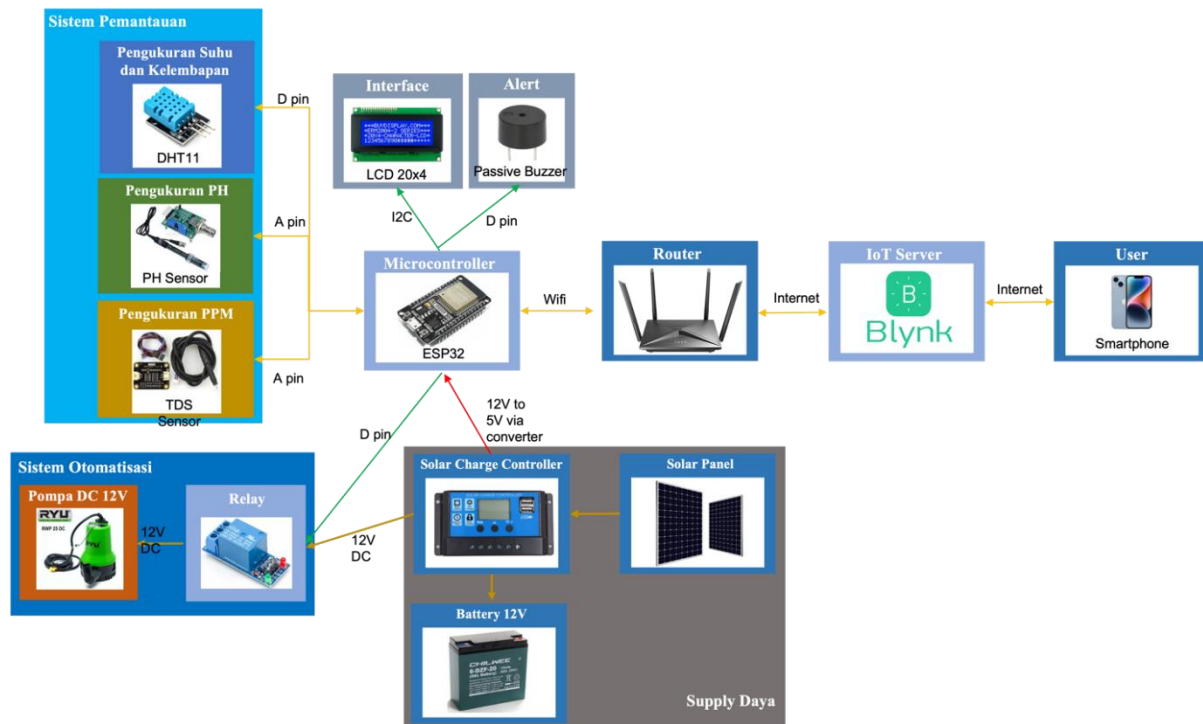
Sistem otomatisasi pengaliran nutrisi pada hidroponik DFT bekerja berdasarkan pewaktuan nyala pompa air (*pump cycle*). Sehingga pompa tidak harus menyala secara terus menerus sekaligus masih menjaga kebutuhan aliran air pada sistem (2L/mnt). Sistem pemantauan kondisi lingkungan media tanam dan nutrisi bekerja berdasarkan nilai pembacaan sensor yang digunakan, yaitu sensor suhu dan kelembapan DHT11, sensor Ph, dan sensor TDS. Ketika nilai pembacaan sensor berada pada ambang batas abnormal sesuai standar tanaman, maka akan men-

trigger buzzer sebagai notifikasi kepada pengguna. Selain itu dirancang pula sumber energi terbarukan melalui penggunaan solar panel, baterai, dan SCC. Dikarenakan sumber energi tersebut menghasilkan daya DC, maka seluruh komponen juga menggunakan arus DC termasuk pompa air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rancangan Hardware

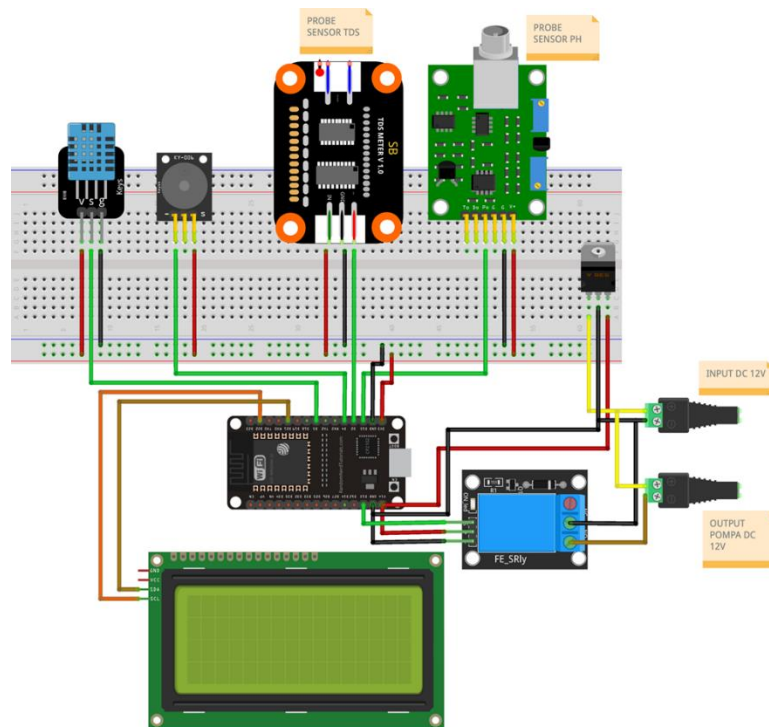
Pada rancangan hardware, terdapat beberapa komponen yang digunakan dalam pemantauan, otomatisasi, IoT, serta supply daya sistem seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Diagram Skematik

Pada Gambar 2 digunakan mikrokontroler dengan tipe ESP32 sebagai pusat kontrol sensor dan komponen lainnya, sekaligus penghubung IoT melalui fitur wifinya. Kontroler ini digunakan karena memiliki fitur pin Analog yang mumpuni serta built-in wifi yang memungkinkan koneksi dengan internet dan IoT server. Pada sistem pemantauan digunakan sensor DHT11 dengan koneksi digital pin, sensor PH dengan koneksi analog pin, dan sensor tds dengan koneksi analog pin. Sistem otomatisasi menggunakan relay 5V yang terhubung dengan digital pin yang akan mengatur arus listrik 12V dari SCC ke pompa DC. Untuk supply daya menggunakan interkoneksi komponen solar panel, solar charge controller, dan baterai 12v dengan spesifikasi yang akan dihitung kemudian. Dikarenakan mikrokontroler dan komponen lainnya membutuhkan supply tegangan 5v, maka digunakan komponen penurun tegangan seperti regulator 7805.

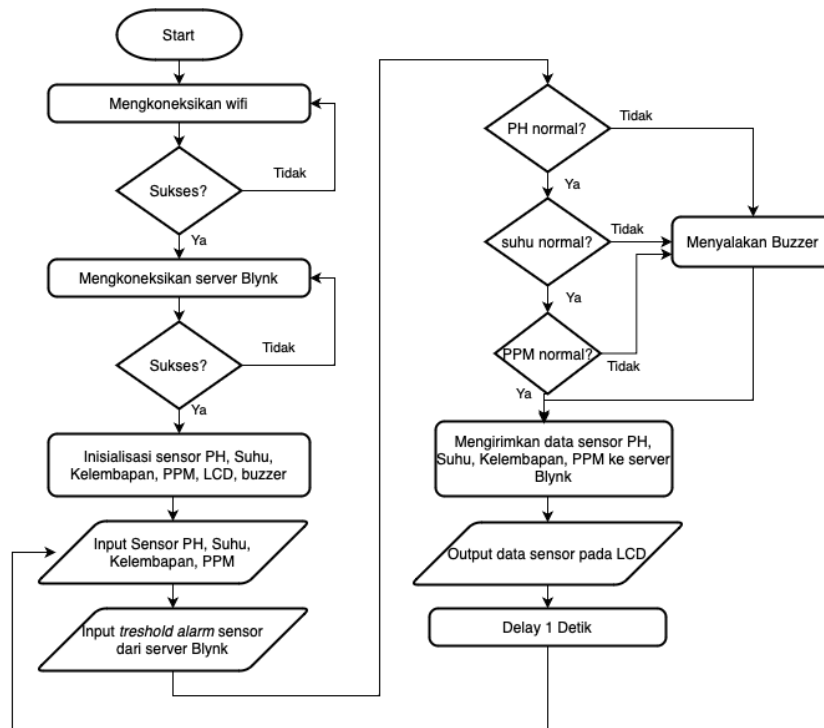
Untuk dapat terhubung dengan IoT server, ESP32 terhubung terlebih dahulu dengan koneksi wifi dari router yang memiliki akses internet. Sehingga ESP dapat berkomunikasi dengan IoT server milik Blynk. Dengan Blynk, memungkinkan dilakukan pemantauan kondisi sensor, input parameter treshord cycle pump, dan input treshold alarm pengukuran sensor melalui aplikasi mobile Blynk yang tersedia. Adapun wiring diagram sistem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rancangan Wiring Diagram

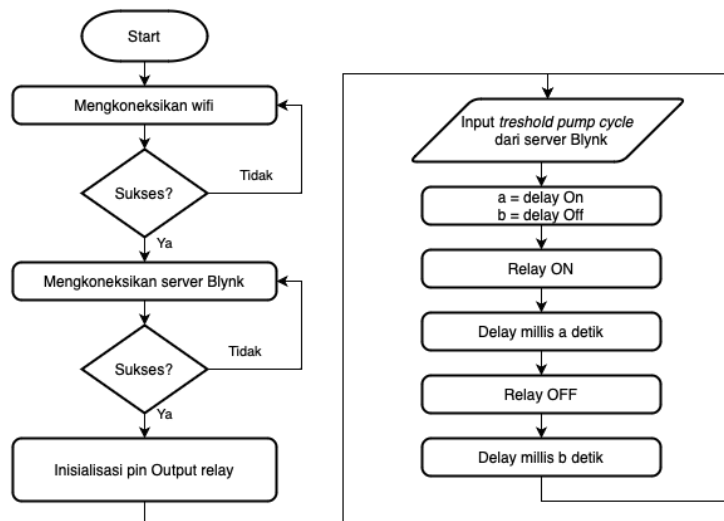
2. Rancangan Software

Pada rancangan software, dilakukan pemrograman pada aplikasi Arduino IDE berdasarkan flowchart kerja pada Gambar 4 dan Gambar 5. Program tersebut nantinya akan tertanam pada mikrokontroller ESP32. Perancangan alur kerja ESP disajikan dalam 2 sistem, yaitu sistem pemantauan dan otomatisasi agar dapat lebih mudah dimengerti. Namun pada pengaplikasiannya, kedua program tersebut tersusun menjadi satu dengan memanfaatkan delay millis dalam melakukan perintah lainnya.



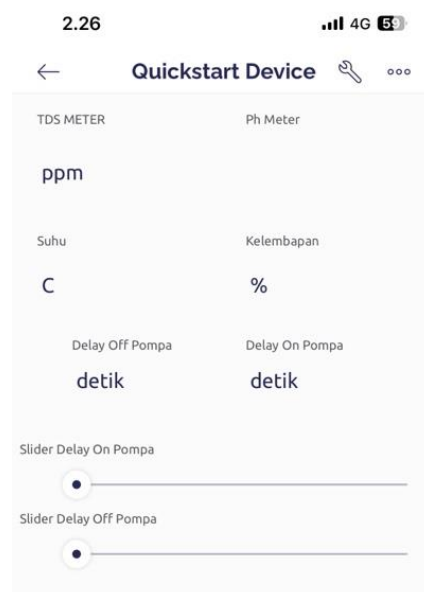
Gambar 4. Rancangan Flowchart Kerja Mikrokontroller pada Sistem Pemantauan

Dapat dilihat pada Gambar 5, bahwa saat dihidupkan ESP akan melakukan pengkoneksian wifi dan server Blynk hingga berhasil terkoneksi. Kemudian dilanjutkan dengan inisialisasi pin yang digunakan oleh sensor-sensor, LCD, dan buzzer. Lalu pada fungsi looping (*void loop*), ESP akan menerima input data sensor suhu, kelembapan, PH, dan PPM dari sensor. Dan input *threshold* (rentang pengukuran normal) untuk pengkondisian nilai sensor dari server Blynk. Hasil *threshold* tersebut dijadikan acuan dalam program percabangan untuk menyalakan buzzer sebagai alarm. Dilanjutkan dengan pengiriman data sensor ke server Blynk dan ditampilkan pada LCD. Diberikan delay selama 1 detik sebelum kembali melakukan looping program.



Gambar 5. Rancangan Flowchart Kerja Mikrokontroller pada Sistem Otomatisasi

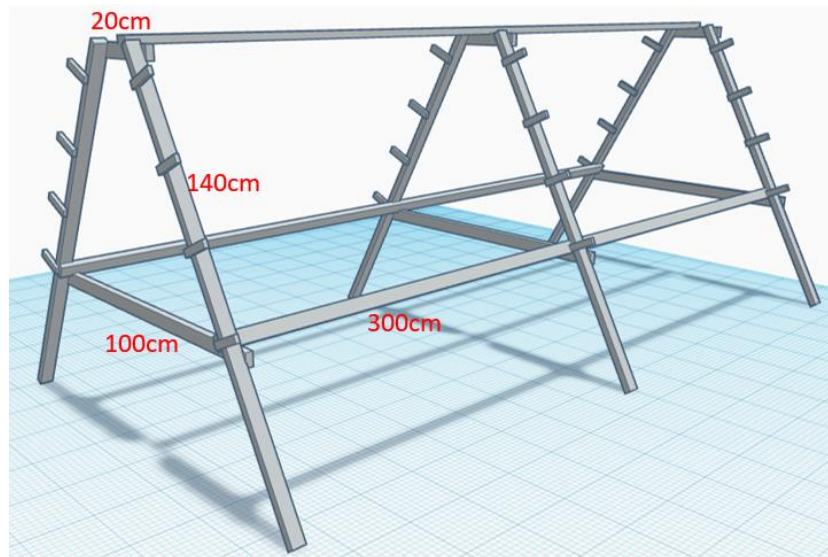
Flowchart pada Gambar 5, berfokus pada sistem otomatisasi pengaturan pump cycle (siklus nyala pompa) berdasarkan *threshold* waktu yang ditentukan oleh user pada server Blynk. Sebagai contoh pompa akan menyala selama 20 detik dan mati selama 180 detik. Maka setelah menyalakan relay, ESP akan melakukan looping dengan delay millis selama 20 detik setelah menyalakan relay. Pada saat looping tersebut, ESP dapat disisipkan program pemantauan kondisi sensor. Selain pemrograman pada aplikasi Arduino IDE, dilakukan pula penyusunan UI aplikasi yang disediakan server IoT Blynk seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan UI Aplikasi Blynk

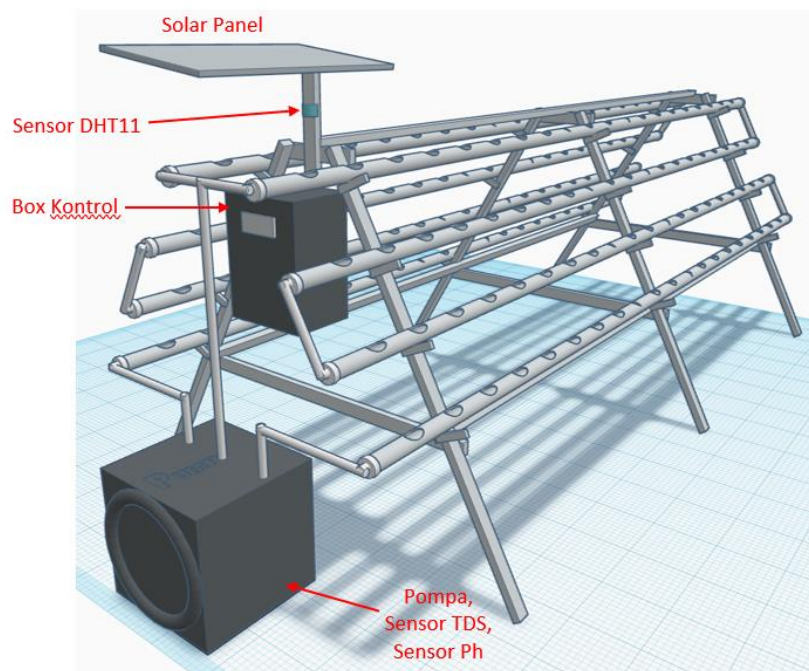
3. Rancangan Media Tanam Hidroponik DFT

Setelah dilakukan penyusunan hardware komponen, dilakukan perancangan media tanam dari sistem hidroponik DFT seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Rancangan Kerangka Media Tanam Sistem Hidroponik DFT

Gambar 7 memperlihatkan kerangka media tanam sistem hidroponik DFT yang tersusun secara bertingkat dengan menyerupai bentuk segitiga. Sehingga memungkinkan untuk melakukan penanaman pada kedua sisinya (kanan dan kiri). Kerangka tersebut dirancang menggunakan aluminium holo 2x4cm dengan ukuran masing-masing bagian seperti pada gambar. Kerangka tersebut memiliki ketinggian maksimal 120 cm. Sehingga spesifikasi pompa dengan ketinggian maksimum 4m dengan debit 63L/mnt secara teori dapat memenuhi kebutuhan debit melebihi kebutuhan standar 2L/mnt pada kedua sisi paralon. Dengan menggunakan bahan aluminium, diharapkan memiliki usia pakai yang panjang. Mengingat sifat aluminium yang kokoh dan tidak dapat berkarat. Dalam perakitannya dibutuhkan sekitar 4 buah Aluminium holo 2x4cm dengan panjang 600cm.



Gambar 8. Rancangan Media Tanam Sistem Hidroponik DFT

Kemudian dilanjutkan dengan penempatan 8 buah pipa paralon berukuran 2,5" dengan panjang 4m yang telah diberi lubang tanam 20 buah pada masing-masing pipa. Sehingga secara keseluruhan sistem memiliki 160 lubang tanam. Pipa tersebut dipasang secara bertingkat dengan menjaga ketinggian air pada pipa sesuai sistem hidroponik DFT dengan debit 2 liter/menit. Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada sistem terdapat solar panel, sensor DHT11, dan box kontrol yang terpasang pada kerangka aluminium. Adapun pada box kontrol terdiri dari mikrokontroller, LCD, buzzer, relay, solar charge controller, hingga baterai. Terdapat pula tandon penampungan air nutrisi pada bagian bawah yang terdapat pompa air DC, sensor TDS, dan sensor Ph.

4. Perhitungan Konsumsi Daya

Dalam menentukan konsumsi daya yang dibutuhkan sistem, dibutuhkan nilai rating daya setiap komponen yang digunakan dan dikalikan dengan lama waktu pengoperasian seperti pada Tabel 1. Namun dikarenakan sistem otomatisasi pewaktuan pompa yang membuat pompa tidak menyala secara terus-menerus, maka perlu dirumuskan durasi pump cycle guna memenuhi kebutuhan debit air pada sistem hidroponik (2L/mnt). Dengan dua buah percabangan input air media tanam (susunan kiri dan kanan paralon) memerlukan debit pompa sebesar 4L/menit. Sedangkan kapasitas pompa yang digunakan memiliki debit yang besar hingga 63L/mnt. Sehingga diperlukan perhitungan kisaran pump cycle dengan asumsi pompa menyala selama 20 detik.

$$\text{Kapasitas air selama 20 dtk} = \text{debit pompa} \times \frac{\text{durasi nyala pompa}}{60 \text{ dtk}}$$

$$\text{Kapasitas air selama 20 dtk} = 63\text{L/mnt} \times \frac{20 \text{ dtk}}{60 \text{ dtk}}$$

$$\text{Kapasitas air selama 20 dtk} = 21\text{L}$$

Ketika pompa menyala selama 20 detik, secara teori akan membawa kapasitas air sebesar 21L. Kemudian dilakukan perhitungan durasi pompa tersebut mati dengan kebutuhan aliran 4L/mnt.

$$\text{Durasi pompa off} = \frac{\text{kapasitas air selama 20 detik}}{\text{kebutuhan debit sistem}}$$

$$\text{Durasi pompa off} = \frac{21\text{L}}{4\text{L/mnt}}$$

$$\text{Durasi pompa off} = 5,25 \text{ menit}$$

Diperoleh pump cycle sebesar 20 detik pompa menyala dan 315 detik pompa mati untuk memenuhi kebutuhan debit air 4L/mnt. Dari nilai tersebut, dapat dihitung durasi pompa menyala dalam satu hari sebagai berikut.

$$\text{Jumlah pump cycle dalam 1 hari} = \frac{1440 \text{ mnt}}{(\text{durasi pompa off} + \text{durasi pompa on})}$$

$$\text{Jumlah pump cycle dalam 1 hari} = \frac{1440 \text{ mnt}}{(5,25 \text{ mnt} + 0,33 \text{ mnt})}$$

$$\text{Jumlah pump cycle dalam 1 hari} = 258,064 \text{ cycle} \approx 258 \text{ cycle}$$

$$\text{Durasi pompa menyala dalam 1 hari} = \text{jumlah cycle} \times \text{durasi pompa on}$$

$$\text{Durasi pompa menyala dalam 1 hari} = 258 \text{ cycle} \times 0,33 \text{ mnt}$$

$$\text{Durasi pompa menyala dalam 1 hari} = 85,14 \text{ mnt} = 1,419 \text{ jam}$$

Efisiensi penggunaan daya pompa dapat dihitung sebagai berikut.

$$\% \text{ Efisiensi pompa} = \frac{(24 \text{ jam} - 1,419 \text{ jam})}{24 \text{ jam}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Efisiensi pompa} = 94,0875\%$$

Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan daya dan energi yang dibutuhkan masing-masing komponen seperti pada Table 1.

Tabel 1. Konsumsi Daya Sistem Dalam 1 Hari

Komponen	Daya (W)	Durasi (jam)	Energi (Wh)
RYU Pompa DC RWP25	50	1,419	70,95
Wemos D1 mini	0,264	24	6,336
Sensor <i>DHT11</i>	0,0025	24	0,06
Sensor PH Meter Module PH-4502C	0,05	24	1,2
DFRobot Analog TDS Sensor Meter	0,033	24	0,792
LCD 20x4	0,04	24	0,96
TOTAL			80,298

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Pada sistem prototipe otomatisasi dan pemantauan hidroponik DFT ini dirancang media tanam bertingkat empat pada sisi kanan dan kiri dengan 8 buah paralon 4m dan 160 lubang tanam. Media tanam menggunakan kerangka aluminium dengan dimensi 150x300x120cm. Sistem ini memiliki fungsi pemantauan yaitu suhu, kelembapan, Ph, dan PPM, sekaligus memberikan alarm ketika terjadi kondisi abnormal sensor. Selain itu terdapat sistem otomatisasi pompa yang mengatur siklus nyala pompa yang dapat menghemat pemakaian listrik hingga 94%. Dengan menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi yang memungkinkan sistem stand-alone dan dapat bertahan hingga 2 hari tanpa terpapar sinar matahari. Adapun sistem membutuhkan energi sekitar 80,298 Wh setiap harinya. Sehingga digunakan panel surya dengan spesifikasi 30 Wp, solar charge controller bertipe PWM, dan baterai 12V 20 Ah.

Saran

Perancangan dapat diimplementasikan dalam masyarakat. Perkiraan waktu BEP berpengaruh terhadap jenis tanaman serta harga tanaman di pasaran. Perbedaan jenis tanaman akan mempengaruhi harga jual tanaman dan durasi BEP. Dapat menambahkan beberapa variasi kontrol otomatis seperti kontrol nutrisi secara otomatis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada program studi Teknik elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Pertamina atas dukungan dana dan fasilitas melalui program DST-B.

REFERENSI

- Al-Ali, A. R., Al Nabulsi, A., Mukhopadhyay, S., Awal, M. S., Fernandes, S., & Ailabouni, K. (2019). IoT-solar energy powered smart farm irrigation system. *Journal of Electronic Science and Technology*, 17(4), 100017. <https://doi.org/10.1016/j.jnlest.2020.100017>

- Alfanz, R., Aqbal, A. H. A., & Martiningsih, W. (2023). Smart Farm Agriculture Design by Applying a Solar Power Plant. *JURNAL NASIONAL TEKNIK ELEKTRO*. <https://doi.org/10.25077/jnte.v12n2.1085.2023>
- Chowdhury, M. E. H., Khandakar, A., Ahmed, S., Al-Khuzaei, F., Hamdalla, J., Haque, F., Reaz, M. B. I., Shafei, A. A., & Al-Emadi, N. (2020). Design, Construction and Testing of IoT Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(19). <https://doi.org/10.3390/s20195637>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., Ramalingam, K., Pazhanivelan, S., & Kaliaperumal, R. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT)-Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Ghufron, S., & Prayogi, S. (2023). Cooling System in Machine Operation at Gas Engine Power Plant at PT Multidaya Prima Elektrindo. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.31004/riggs.v1i2.21>
- Hamdani, D., Prayogi, S., Cahyono, Y., Yudoyono, G., & Darminto, D. (2022). The Effects of Dopant Concentration on the Performances of the a-SiO_x:H(p)/a-Si:H(i1)/a-Si:H(i2)/ μ c-Si:H(n) Heterojunction Solar Cell. *International Journal of Renewable Energy Development*, 11(1), 173–181. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.40193>
- Karanisa, T., Achour, Y., Ouammi, A., & Sayadi, S. (2022). Smart greenhouses as the path towards precision agriculture in the food-energy and water nexus: Case study of Qatar. *Environment Systems and Decisions*, 42(4), 521–546. <https://doi.org/10.1007/s10669-022-09862-2>
- Megantoro, P., Prastio, R. P., Kusuma, H. F. A., Abror, A., Vigneshwaran, P., Priambodo, D. F., & Alif, D. S. (2022). Instrumentation system for data acquisition and monitoring of hydroponic farming using ESP32 via Google Firebase. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(1), 52. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v27.i1.pp52-61>
- Prayogi, S., Cahyono, Y., & Darminto, D. (2022). Electronic structure analysis of a-Si: H p-i1-i2-n solar cells using ellipsometry spectroscopy. *Optical and Quantum Electronics*, 54(11), 732. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-04044-5>
- Prayogi, S., Cahyono, Y., Iqballudin, I., Stchakovsky, M., & Darminto, D. (2021). The effect of adding an active layer to the structure of a-Si: H solar cells on the efficiency using RF-PECVD. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(6), 7609–7618. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-05477-6>
- Prayogi, S., Silviana, F., & Saminan, S. (2023). Development of an Inexpensive Spectrometer Tool with a Tracker to Investigate Light Spectrum. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 24(1), Article 1.
- Ramadhan, R. A., Kakke, G. R., Fajar, I. N., & Prayogi, S. (2023). Smart Trash Bin Berbasis Internet Of Things Menggunakan Suplai dari Panel Surya. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 1149–1158. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i3.2777>
- Ramin Shamshiri, R., Kalantari, F., C. Ting, K., R. Thorp, A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 11(1), 1–22. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181101.3210>

- Roidah, I. S. (2014). PEMANFAATAN LAHAN DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM HIDROPONIK. *Jurnal BONOROWO*, 1(2), Article 2. <https://doi.org/10.36563/bonorowo.v1i2.14>
- Santoso, P. P. A., Mahmuda, D., & Sanubary, I. (2023). Pengaruh Jumlah Panel dan Aki terhadap Waktu Operasi Pompa Air pada Sistem Hidroponik Tenaga Surya. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 827–836. <https://doi.org/10.33379/gtech.v7i3.2525>
- Sari, I. K., Rosida, A. I., Sephia, S., Syafitri, Y., Prakoso, R., Omega, N., Febriyanti, Y., Kristin, S., Gerald, W., Sy, Y. T., & Josua, M. (2022). TEKNIK BUDIDAYA HIDROPONIK DENGAN SISTEM RAKIT APUNG DI DESA HARAPAN JAYA, PELALAWAN. *Nusantara Hasana Journal*, 2(5), Article 5.
- Sari, S., & Zahrosa, D. B. (2017). PEMANFAATAN LAHAN SEMPIT DENGAN SISTEM HIDROPONIK SEBAGAI USAHA TAMBAHAN BAGI IBU RUMAH TANGGA. *INTEGRITAS: Jurnal Pengabdian*, 1(1), Article 1.
- Silviana, F., & Prayogi, S. (2023). An Easy-to-Use Magnetic Dynamometer for Teaching Newton's Third Law. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 9(1), Article 1. <https://doi.org/10.29303/jpft.v9i1.4810>
- Siregar, S., Sari, M. I., & Jauhari, R. (2016). AUTOMATION SYSTEM HYDROPONIC USING SMART SOLAR POWER PLANT UNIT. *Jurnal Teknologi*, 78(5–7), Article 5–7. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.8713>
- Tatas, K., Al-Zoubi, A., Christofides, N., Zannettis, C., Chrysostomou, M., Panteli, S., & Antoniou, A. (2022). Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems. *Technologies*, 10(1), 26. <https://doi.org/10.3390/technologies10010026>
- Velazquez-Gonzalez, R. S., Garcia-Garcia, A. L., Ventura-Zapata, E., Barceinas-Sanchez, J. D. O., & Sosa-Savedra, J. C. (2022). A Review on Hydroponics and the Technologies Associated for Medium- and Small-Scale Operations. *Agriculture*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050646>
- Venu, S., & Muralimohan, G. (2023). Sustainable atmospheric water generator for hydroponic farming. *AIP Conference Proceedings*, 2788(1), 130004. <https://doi.org/10.1063/5.0148627>
- Wedashwara, W., Jatmika, A. H., Zubaidi, A., & Arimbawa, I. W. A. (2021). Solar-powered IoT based smart hydroponic nutrition management system using FARM. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 913(1), 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/913/1/012010>
- Wibowo, S. (2021). PEMANFAATAN LAHAN PEKARANGAN DENGAN HIDROPONIK SEDERHANA OLEH KWT SIDA MAKMUR PUCANG BANJARNEGARA. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ*, 8(3), Article 3. <https://doi.org/10.32699/ppkm.v8i3.1487>