

Budidaya Hidroponik dengan Nutrisi Tambahan Elektrolisis Menggunakan Energi Hibrida PLTS dan Modul Surya di Green Hous Telkom University

Abd. Mutaali Wildan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
alywildan@student.telkomuniversity.ac.id

Ekki Kurniawan
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
ekkekikurniawan@telkomuniversity.ac.id

Irham Mulkan Rodiana,
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
irhammulkan@telkomuniversity.ac.id

Pertanian hidroponik semakin populer di Indonesia karena keterbatasan lahan akibat pertumbuhan penduduk, memungkinkan budidaya di area sempit dengan media air yang efisien. Penelitian ini merancang sistem hidroponik bayam merah berbasis IoT dengan nutrisi elektrolisis dan sumber energi hibrida dari PLN dan PLTS, dilengkapi Automatic Transfer Switch (ATS) yang secara otomatis mengalihkan pasokan listrik saat tegangan baterai turun di bawah 12,3 V atau melebihi 15,7 V. Sistem memantau pH, nutrisi, dan debit air secara real-time melalui Blynk. Biaya energi mencapai Rp2.544,07 per kWh, lebih tinggi dari tarif PLN, namun sebanding dengan efisiensi dan kemudahan pemantauan. Hasil uji menunjukkan pH meningkat lebih cepat saat elektrolisis dikombinasikan dengan nutrisi mix AB, sehingga diperlukan larutan penyeimbang untuk menjaga kestabilan pH.

Kata kunci : Hidroponik, Nutrisi Elektrolisis, Energi Hibrida, PLTS, PLN.

pangan yang mayoritas dipenuhi melalui sektor pertanian [1].

Dikarenakan kebutuhan komoditas pertanian yang tinggi, sebagian masyarakat bermata pencaharian sebagai petani dengan berbagai jenis komoditas [2]. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, masyarakat perkotaan perlahan meninggalkan aktivitas bertani dikarenakan keterbatasan lahan hijau di perkotaan akibat alokasi pembangunan [3]. Menyadari akan dampak berkepanjangan yang disebabkan oleh keterbatasan lahan tersebut, masyarakat mulai menerapkan gerakan *urban farming* [4]. *Urban farming* merupakan kegiatan bertani yang dirancang dengan tujuan untuk membantu masyarakat dalam memenuhi konsumsi makanan yang bergizi dengan menanam tanaman hortikultural di lahan perkotaan [5]. Beberapa contoh penerapan pertanian Urban yang dapat dilaksanakan pada pekarangan rumah, antara lain hidroponik, *polybag*, vertikultur, dan memanfaatkan *rooftop*.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan sumber daya alam yang melimpah. Masyarakat Indonesia memanfaatkan sumber daya alam di sekitarnya untuk memenuhi kebutuhan hidup. Kebutuhan hidup manusia yang paling mendasar ialah

II. KAJIAN TEORI

A. Hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT)

Dalam sistem *Deep Flow Technique* (DFT) ini, akar tanaman terendam sebagian

dalam aliran larutan nutrisi yang cukup dalam dan terus bersirkulasi menggunakan pompa air[6].



GAMBAR 1
Budidaya Hidroponik DFT

Sistem ini terdiri dari reservoir nutrisi, pompa air, saluran distribusi, serta talang tanam yang menampung larutan. Pemilihan jenis tanaman sangat memengaruhi efektivitas DFT, tanaman daun seperti selada, bayam, dan kangkung sangat cocok karena memiliki akar yang relatif kecil dan cepat tumbuh.

B. Tanaman Bayam Merah

Bayam merah adalah salah satu sayuran yang dapat ditanam dengan sistem hidroponik *Deep Flow Technique* (DFT). Tanaman ini sangat bermanfaat bagi kesehatan karena kaya akan vitamin dan serat, serta memiliki nilai ekonomis tinggi sebagai bahan obat. Permintaan bayam merah terus meningkat, terutama di perkotaan[7].

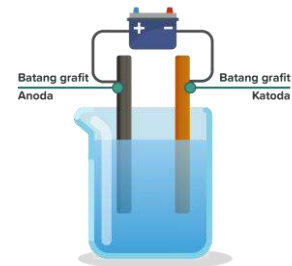


GAMBAR 2
Tanaman Bayam merah sebelum diaplikasikan pada media hidroponik

Bayam cabut, yang terdiri dari bayam hijau dan bayam merah, mengandung mineral penting seperti kalsium (Ca) dan besi (Fe). Kadar Ca pada bayam merah lebih tinggi (368 PPM) dibandingkan bayam hijau (267 PPM). Namun, bayam hijau memiliki kandungan zat besi lebih tinggi (6,66 mg% - 8,18 mg%) dibanding bayam merah (2,63 mg% - 4,43 mg%)[8].

C. Elektrolisis

Untuk meningkatkan kadar zat besi pada bayam merah yang ditanam secara hidroponik, penulis menggunakan air elektrolisis sebagai nutrisi tambahan. Elektrolisis air adalah proses penguraian air (H_2O) menjadi hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2) dengan bantuan listrik. Dua elektroda ditempatkan dalam air dan arus searah dialirkan di antara keduanya, menghasilkan hidrogen di katoda dan oksigen di anoda. Proses ini digunakan untuk mengalirkan unsur hara besi ke akar tanaman bayam merah guna memenuhi nutrisinya[9].



GAMBAR 3
Sistem Elektrolisis

Elektrolisis merupakan reaksi kimia dalam elektrolit dengan bantuan arus listrik, di mana elektrolit terurai menjadi ion positif (kation) dan ion negatif (anion). Air sebagai elektrolit lemah akan terionisasi menjadi ion H^+ dan OH^- , memungkinkan proses elektrolisis menghasilkan O_2 dan H_2 . [10].

D. Energi Hibrida PLTS dan Modul Surya



GAMBAR 4
Energi Hibrida pada Green House

PLTS adalah salah satu sumber energi baru terbarukan. PLTS PV memanfaatkan sumber energi matahari untuk diubah menjadi energi listrik [16].

Upaya lain mengatur nutrisi berdasarkan cahaya matahari, namun masih mengandalkan listrik PLN yang cukup besar karena sistem monitoring dan pompa air menyala terus menerus[11]. Pada penelitian ini mengembangkan metode sebelumnya dengan menambahkan panel surya (PLTS) untuk mengurangi konsumsi listrik PLN dan meningkatkan efisiensi energi. Sistem PLTS memanfaatkan cahaya matahari menggunakan sel surya untuk mengubahnya menjadi energi listrik DC, yang digunakan untuk menggerakkan pompa air hidroponik. Sistem ini terdiri dari sel surya, *solar control charger*, baterai, dan beban[12].

E. Analisis Investasi dan Ekonomi

- Investasi awal

Biaya investasi awal adalah jumlah keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk merangkai hingga konfigurasi pada semua sistem energi PLTS hibrida [13].

- Perhitungan biaya operasional dan *maintenance*

Perhitungan ini mencakup proses perhitungan biaya untuk mengoperasikan hingga pemeliharaan sistem PLTS hibrida.

Termasuk biaya listrik, pemeliharaan dan administrasi.

$$LCO\&M = 1\% \times S \quad (2.1)$$

$$O\&Mp = O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.2)$$

- Biaya LCOE (*Levelized Cost of Energy*)

LCOE (*Levelized Cost of Energy*) digunakan untuk menghitung biaya produksi listrik PLTS per kWh selama periode tertentu. Metode ini menilai efisiensi ekonomi sistem dan memungkinkan perbandingan biaya listrik PLTS dengan PLN.

$$LCOE = \frac{\text{total biaya}}{\text{total energi}} \quad (2.3)$$

$$\text{Total energi harian} = \text{peak sun hours} \times \text{kapasitas pembangkit} \quad (2.4)$$

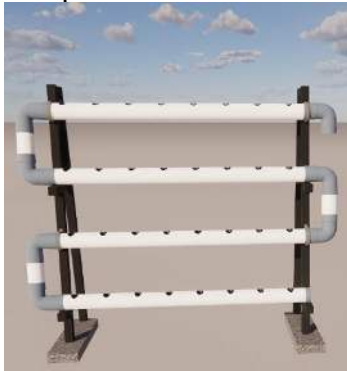
$$\text{Total biaya} = \text{Biaya investasi awal} + \text{Biaya O\&M} \quad (2.5)$$

III. METODE

A. Desain Sistem

Pada penelitian ini, terdapat *input* sistem rancangan yang terdiri dari energi matahari dan tambahan energi listrik dari PLN. Cara kerja sistem PLTS Hibrida bermula dari sinar matahari mengenai permukaan sel surya kemudian cahaya matahari diubah menjadi energi listrik, lalu sensor akan mendeteksi arus dan tegangan, data dari sensor kemudian ditampilkan ke dalam LCD. *Input* ini kemudian diproses untuk menghasilkan beberapa *output*, yaitu energi Listrik yang dihasilkan akan ditampung ke dalam baterai, sementara ketika PLTS tidak dapat memberi daya yang cukup untuk beban maka akan diambil energi listrik tambahan dari PLN.

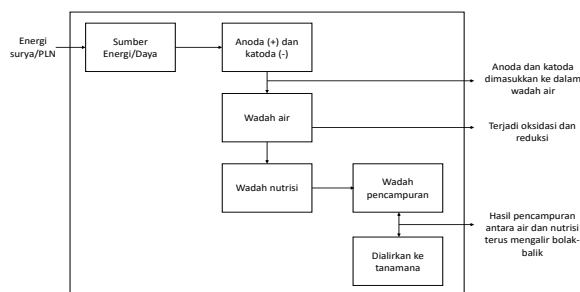
- Hidroponik DFT



GAMBAR 5
Hidroponik DFT

Gambar 5 merupakan desain dari media hidroponik DFT yang terdapat pipa paralon berukuran 110x83cm sebagai bahan utamanya dan memiliki 24 lubang berjarak 8 cm antara satu sama lain.

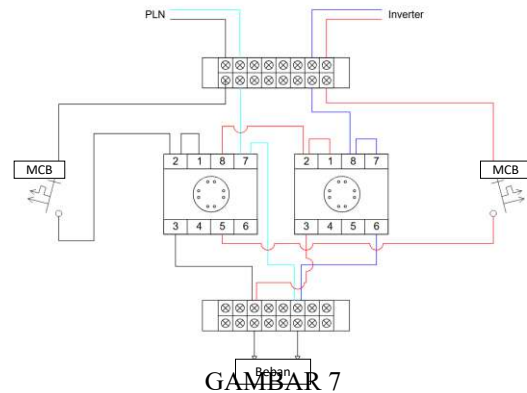
- Elektrolisis



GAMBAR 6
Blok Diagram Elektrolisis

Gambar 6 merupakan blok diagram dari alur kerja sistem elektrolisis dengan input energi PLTS/PLN melalui SCC kemudian dialirkan melalui sepasang elektroda karbon yang berfungsi sebagai anoda (+) dan katoda (-). Kemudian akan masuk ke wadah nutrisi (*mix AB*) dan dicampur untuk dialirkan pada tanaman hidroponik.

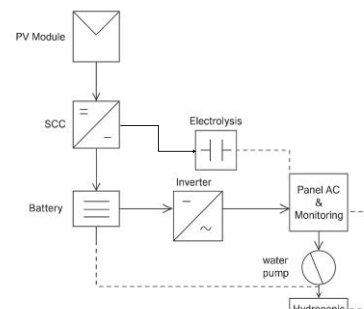
- Energi Hibrida PLTS dan modul surya



GAMBAR 7
Sistem Automatic Transfer Switch (ATS)

Gambar 7 merupakan desain skema sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS), terdapat 2 input yaitu dari PLN dan inverter (PLTS) yang masing-masing memiliki 2 MCB sebagai saklar *ON/OFF* dengan tujuan akhir yang sama yaitu beban (sistem *monitoring*).

B. Desain Perangkat keras



GAMBAR 8
Wiring diagram

Gambar 8 merupakan desain skema sistem PLTS, mulai dari modul surya hingga ke beban yaitu panel *monitoring* dan tanaman hidroponik. Terdiri dari modul surya, SCC, AKI (baterai), *inverter*, kotak panel *monitoring*, pompa, tanaman hidroponik dan sistem elektrolisis. Sistem elektrolisis sendiri terhubung langsung melalui SCC dan hasil dari elektrolisis tersebut dibaca melalui panel *monitoring*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Rancangan Sistem

Sistem PLTS pada penelitian ini bertegangan 200Wp yang terhubung untuk memenuhi kebutuhan sistem hidroponik.



GAMBAR 9
Sistem ATS

Gambar 10 merupakan realisasi sistem ATS, komponennya terdiri dari *inverter*, 2 relay, 2 MCB, *Low Voltage Disconnect* (LVD), dan *step down*.

B. Hasil Simulasi

1. Sistem Hibrida PLN dan PLTS

Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa PLTS sebagai pasokan utama dan PLN sebagai daya cadangan. Penelitian ini menggunakan tegangan 12,3 *Volt* sebagai titik minimum dan 15,4 sebagai titik maksimum. Jika pada saat alat beroperasi dalam kondisi kekurangan atau kelebihan tegangan maka akan secara otomatis switch dari PLTS ke PLN. Dari hasil pengujian *step down* kami menggunakan 15,5 *Volt* karena inverter 12 *Volt* memiliki toleransi maksimal sebesar 15,5 *Volt*. Dengan itu alat akan terus beroperasi selama alat masih terhubung ke PLN.

2. Elektrolisis

• Analisis data tanaman

TABEL 1

Standar PPM untuk tanaman bayam merah [14]

Tahap Pertumbuhan	Umur Tanaman	Kisaran PPM yang Disarankan
Persemaian	0–7 hari (1 minggu)	300–500 PPM
Pertumbuhan awal	1–2 minggu	500–800 PPM
Pertumbuhan aktif	2–3 minggu	800–1000 PPM
Menjelang panen	3–4 minggu	1000–1200 PPM

Tabel 1 merupakan standar PPM air yang dibutuhkan oleh bayam merah dari masa persemaian hingga masa panen.

TABEL 2

Parameter kondisi asam dan basa pH tanaman [15]

Kategori	Rentang pH	Dampak Utama	Gejala pada Tanaman
pH Asam	< 6	pertumbuhan lambat dan kelayuan	Daun tua menguning
pH Basa	> 7	klorosis dan pertumbuhan lambat	Daun menguning

Tabel 2 merupakan parameter kondisi asam dan basa pH tanaman, jika pH <6 maka pertumbuhan tanaman akan melambat yang ditandai dengan perubahan warna daun yang menua dini dan jika pH >7 maka tanaman tidak dapat klorofil yang cukup (klorosis).

• Pengujian air elektrolisis

TABEL 3

pengambilan data perubahan air elektrolisis

No.	Waktu (menit)	pH	PPM
1	0	6,87	226
2	15	7,33	299
3	30	7,79	372
4	45	8,25	445
5	60	8,71	518
6	75	9,18	591
7	90	9,64	664

8	105	10,1	737
9	120	10,56	810
10	135	11,02	883
Jumlah kenaikan		4,15	657

Pada tabel 3 merupakan hasil pengambilan data perubahan air ketika dilakukan elektrolisis menggunakan tegangan 12V 3A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa membutuhkan waktu <15 menit untuk mendapatkan kenaikan 1 pH agar mencapai titik aman sebagai nutrisi tambahan bagi tanaman hidroponik dan membutuhkan waktu <60 menit untuk persemaian, <105 menit untuk pertumbuhan awal, >120 menit untuk pertumbuhan aktif dan >135 menit untuk waktu menjelang panen. Pengujian ini menggunakan tegangan 12V dan arus 3A. Data tersebut bisa jauh lebih cepat dan efisien didapatkan dengan menggunakan tegangan dan arus yang lebih tinggi.

3. Analisis Investasi dan Ekonomi

Pengujian ini memiliki 3 tahap, berikut dibawah ini tahap pengujian:

- Perhitungan biaya investasi awal

TABEL 4
Rincian Biaya Investasi Awal

No.	Nama Barang	Jumlah	Harga
1	<i>Inverter Pure Sine Wave</i> 1000 W	1	Rp. 417.000
2	SCC (<i>Solar Panel Charger Controller</i>) 12V 30A	1	Rp. 82.655
3	Modul PV (Panel Surya) 200 Wp	2	Rp. 977.000
4	AKI	2	Rp. 390.000
5	<i>Relay Omron MK2P-I</i> 220V	1	Rp. 60.000
6	<i>Relay MX</i> 30/40A 4 pin 12V	1	Rp. 16.000
7	Socket <i>Relay</i>	1	Rp. 20.000

8	Sensor TDS	1	Rp. 240.000
9	Sensor INA219	1	Rp. 30.000
10	Sensor PZEM 004t	1	Rp. 130.000
11	Sensor <i>Waterflow</i>	1	Rp. 47.500
12	Sensor pH	1	Rp. 210.000
13	LCD 16x2	1	Rp. 35.000
14	MCB	2	Rp. 30.000
15	Kotak Panel	1	Rp. 72.500
16	ESP32	1	Rp. 100.000
17	Tabung Elektroda Karbon	2	Rp. 58.000
18	Terminal Blok	1	Rp. 10.000
19	LVD (<i>Low Voltage Disconnect</i>)	1	Rp. 30.000
20	<i>Adaptor Voltage</i>	1	Rp. 75.000
21	Sambungan jepit 2 jalur	15	Rp. 15.000
22	Kabel <i>Power 2 way</i>	1	Rp. 15.000
23	Kawat Email Tembaga 5A 0,64mm (m)	1	Rp. 5.000
24	Kabel 2x0,75 putih dan hitam (m)	6	Rp. 42.000
25	Pipa PVC 3/4 (m)	3	Rp. 66.000
26	TEE 3/4	32	Rp. 192.000
27	KENI 3/4	14	Rp. 63.000
28	<i>Netpot</i>	50	Rp. 50.000
29	Flanel Pendek	50	Rp. 6.250
30	<i>Rockwool</i>	50	Rp. 9.500
31	<i>AB Mix</i>	2	Rp. 50.000
32	<i>Tray Semai</i>	1	Rp. 25.000
32	<i>Step Down</i>	1	Rp. 25.000
Total			Rp. 3.568.500

Biaya investasi awal sistem hidroponik hibrida berbasis PLTS, mencakup panel surya, *inverter*, baterai, SCC, dan sensor, tercatat sebesar Rp3.568.500.

- Biaya Operasional dan *Maintenance*

Biaya operasional dan pemeliharaan sistem ini ditetapkan sebesar 1% dari total investasi, sesuai kisaran umum PLTS sebesar 1–2%. Rincian perhitungan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} LCO\&M &= 1\% \times S \\ &= 1\% \times \text{Rp } 3.568.500 \\ &= \text{Rp } 3.568,5/\text{tahun} \end{aligned}$$

Biaya O&M diperkirakan Rp20.780 per tahun, dengan asumsi usia panel 5 tahun dan suku bunga 7%. Rincian perhitungannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} O\&Mp &= O\&M \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \\ &= 35.568,5 \left[\frac{(1+0,07)^5 - 1}{0,07(1+0,07)^5} \right] \\ &= \text{Rp. } 145.831,85 \end{aligned}$$

Demikian, Harga biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) selama 5 tahun adalah Rp. 145.831,85

- Biaya LCOE (*Levelized Cost of Energy*)
- LCOE digunakan untuk menghitung biaya produksi listrik PLTS per kWh selama periode tertentu. Metode ini menilai efisiensi ekonomi sistem dan memungkinkan perbandingan biaya listrik PLTS dengan PLN. Rincian perhitungannya sebagai berikut:

$$LCOE = \frac{\text{total biaya}}{\text{total energi}}$$

Total biaya adalah biaya yang dikeluarkan mencakup investasi awal ditambahkan dengan biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) selama 5 tahun.

$$\text{Total biaya} = \text{Biaya investasi awal} + \text{Biaya O\&Mp}$$

$$\begin{aligned} &= \text{Rp. } 3.568.500 + \text{Rp. } 145.831,85 \\ &= \text{Rp. } 3.714.331,85 \end{aligned}$$

Total energi dihitung dari perkalian jumlah jam puncak matahari (*peak sun hours*) dengan kapasitas produksi per jam. Di Indonesia, *peak sun hours* diasumsikan 4 jam (10.00–14.00).

$$\begin{aligned} \text{Total energi harian} &= \text{peak sun hours} \times \text{kapasitas pembangkit} \\ &= 4 \times 200W \\ &= 800Wh \end{aligned}$$

Energi dihasilkan sebesar 800 W/hari dan dikonversi ke kWh dengan membaginya 1.000, sesuai dengan kebutuhan pada studi ini dengan mengetahui satuan per kWh.

$$\begin{aligned} \text{kWh/hari} &= \frac{\text{Jumlah watt}}{1000} \\ &= \frac{800 \text{ Wh}}{1000} \\ &= 0,8\text{kWh/hari} \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan estimasi energi harian. Total energi selama masa operasi dihitung dengan mengalikan nilai tersebut dengan masa pakai panel selama 5 tahun (1.825 hari).

$$\begin{aligned} \text{Total energi} &= \text{energi harian} \times \text{masa pemakaian panel surya} \\ &= 0,8 \text{ kWh/hari} \times 1.825 \text{ hari} \\ &= 1.460 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Total biaya dan energi yang telah dihitung selanjutnya digunakan langsung dalam perhitungan LCOE.

$$\begin{aligned} LCOE &= \frac{\text{total biaya}}{\text{total energi}} \\ &= \frac{\text{Rp. } 3.714.331,85}{1.460 \text{ kWh}} \\ &= \text{Rp. } 2.544,07/\text{kWh} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan total biaya dan energi yang dihasilkan, nilai LCOE dari sistem PLTS hibrida mencapai Rp2.544,07 per kWh selama masa operasional 5 tahun.

Pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS hibrida memiliki biaya produksi listrik lebih tinggi dibandingkan tarif PLN untuk daya VA900, yakni Rp2.544,07 per kWh dibandingkan sekitar Rp1.352 per kWh di tahun 2025.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji sistem hidroponik bayam merah berbasis IoT dengan sumber energi hibrida PLN dan PLTS yang dilengkapi ATS untuk peralihan otomatis saat tegangan baterai turun di bawah 12,3 V atau melebihi 15,7 V. Sistem ini memungkinkan pemantauan daring terhadap pH air, konsentrasi nutrisi, dan debit aliran melalui Blynk. Biaya energi mencapai Rp2.544,07 per kWh, lebih tinggi dari tarif PLN Rp1.352/kWh (900 VA), namun sebanding dengan efisiensi dan kemudahan pemantauan. Pengujian menunjukkan kenaikan pH bervariasi dari <15 hingga >135 menit pada tegangan 12V dan arus 3A, dengan kombinasi elektrolisis dan nutrisi mix AB yang mempercepat pH melewati 7. Oleh karena itu, diperlukan larutan pH up/down untuk menjaga keseimbangan, karena pH <6 dapat menyebabkan daun mengering dan pH >7 memicu klorosis pada daun muda.

REFERENSI

- [1]M. Noer, "Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan Dan Perencanaan Lahan," PERSPEKTIF PERTANIAN TROPIKA BASAH: POTENSI DAN TANTANGANNYA DALAM RANGKA PERTANIAN BERKELANJUTAN, p. 441.
- [2]S. N. Utami, "Mata Pencarian Penduduk Berdasarkan Letak Geografisnya," Kompas.com. Accessed: Apr. 16, 2023. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/skola/read/2022/09/02/150000569/mata-pencarian-penduduk-berdasarkan-letak-geografisnya>.
- [3]F. R. Harahap, "DAMPAK URBANISASI BAGI PERKEMBANGAN KOTA DI INDONESIA," Society, vol. 1, no. 1, pp. 35–45, Jun. 2013, doi: 10.33019/society.v1i1.40.
- [4]A. Danugroho, "Urgensi Peran Masyarakat Perkotaan dalam Program 'Urban Farming' Sebagai Daya Dukung Ketahanan Pangan di Masa Pandemi," Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia, vol. 3, no. 1, 2022, doi: <https://doi.org/10.22146/jpmmpi.v3i1.73906>.
- [5]N. Khasanah, "Urban Farming Sebagai Upaya Peningkatan Ekonomi Sulampua," Medikonis, vol. 12, no. 2, pp. 10–19, Sep. 2021, doi: 10.52659/medikonis.v12i2.39.
- [6]B. D. E. M. Ansar, sukawaty, Guyup Mahardian Dwi Putra, "Variasi Bentuk Penampang Saluran yang Sesuai untuk Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (Amaranthus Tricolor L.) pada Hidroponik," vol. 8, no. 2, pp. 143-152, 2020.
- [7]B. D. E. M. Ansar, sukawaty, Guyup Mahardian Dwi Putra, "Variasi Bentuk Penampang Saluran yang Sesuai untuk Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (Amaranthus Tricolor L.) pada Hidroponik," vol. 8, no. 2, pp. 143-152, 2020.

- [8]T. Solomon et al., "Analisis Kadar Besi (Fe) Pada Bayam Merah (*Iresine herbstii* hook) Dan Bayam Hijau (*Amaranthus tricolor* sp) Yang Dikonsumsi Masyarakat," *Int. J. Trop. Insect Sci.*, vol. 8, no. 4, pp. 104-110, 2004.
- [9]S. D. W. I. Utari, F. Tarbiyah, D. A. N. Keguruan, U. I. Negeri, and R. I. Lampung, "Pengaruh Waktu Elektrolisis Air Menggunakan Produksi Tanaman Hidroponik Kangkung (*Ipomoea reptans* poir)," 2018.
- [10]S. D. W. I. Utari, F. Tarbiyah, D. A. N. Keguruan, U. I. Negeri, and R. I. Lampung, "PENGARUH WAKTU ELEKTROLISIS AIR MENGGUNAKAN PRODUKSI TANAMAN HIDROPONIK KANGKUNG (*Ipomoea reptans* poir) PRODUKSI TANAMAN HIDROPONIK KANGKUNG (*Ipomoea reptans* poir)," 2018.
- [11]Mufida, Elly, et al. "Perancangan Alat Pengontrol pH Air Untuk Tanaman Hidroponik Berbasis Arduino Uno." *INSANTEK-Jurnal Inovasi dan Sains Teknik Elektro* 1.1 (2020): 13-19.
- [12]"Pemanfaatan Pompa Air-PLTS UNTUK Pemenuhan Ketersediaan Air Penyiram Tanaman pada Program Ecogarden SDIT Al Uswah."
- [13]W. Pasek and D. Wahyudi1, "Pembangkit Hibrida Panel Surya Dan Lintasan Catu Pln Hybrid Solar Cell and Power Line Pln," vol. 8, no. 1, pp. 25–33, 2021.
- [14]Wills et al. (1984) dalam *Canadian Journal of Plant Science*
- [15]CABI. (n.d.). *Amaranthus tricolor* (Red Amaranth) – Crop Summary. CABI Compendium. Retrieved 10 July, 2025, from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompendium.112199>
- [16]N. Sabbaha, E. Susanto, E. Kurniawan, F. T. Elektro, U. Telkom, and T. Angin, "Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Surya Dan Angin Untuk Design and Implementation of Converter for Hybrid Solar Panel and," vol. 4, no. 2, p. 9, 2016.