

Efektivitas *Ultrasonic Mist Maker* sebagai *Evaporative cooler* Pada *Greenhouse* Hidroponik Berdasarkan Homogenitas Peta Kelembapan 2D

Effectiveness of *Ultrasonic Mist Maker* as an *Evaporative Cooler* in *Hydroponic Greenhouses* Based on 2D Humidity Map Homogeneity

Dini Makrufah¹, Muhamad Azwar Annaz^{1*}, Asmaul Lutfi Marufah¹, Aris Widodo¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Sains Teknologi & Pendidikan, Universitas Muhammadiyah Lamongan, Jl. Plalangan No.KM, RW.02, Wahyu, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur 62218

Email: makrufahdini@gmail.com, [*annasazwar93@gmail.com](mailto:annasazwar93@gmail.com), asmaullutfimarufah@gmail.com, aris.prof22@gmail.com

Received: 11th July 2025; Revised: 29th July 2025; Accepted: 3rd August 2025

Abstrak – Penelitian ini mengevaluasi efektivitas *ultrasonic mist maker* sebagai *evaporative cooler* dalam mengatur distribusi kelembapan pada salah satu *greenhouse* Hidroponik Farm Lamongan. Pengukuran kelembapan dilakukan pada 36 titik grid (dimensi 3 m × 12 m) dengan hygrometer UNI-T UT333 pada kondisi sebelum dan setelah pengoperasian *mist maker* ultrasonik selama 20 menit. Data diolah menggunakan perangkat lunak Surfer untuk menghasilkan peta kontur dan sebaran homogenitas distribusi kelembapan pada 6 rentang. Hasil menunjukkan bahwa sebelum *mist maker* dioperasikan, RH berkisar antara 42–58%, dengan distribusi didominasi kategori relatif kering sebesar 21,56% dan kategori aman atau sedang sebesar 78,44%, tanpa area pada kategori ideal. Setelah *mist maker* dioperasikan, rentang kelembapan meningkat menjadi 60–70%, dengan wilayah kategori relatif kering tidak lagi tercatat. Sebagian besar area *greenhouse* sebesar 97,13% masuk ke dalam kategori sedang yang mendekati kondisi optimal, sedangkan sisanya 2,87% mulai memasuki kategori ideal. Meskipun terjadi peningkatan kelembapan secara signifikan, sebaran kelembapan yang dihasilkan belum sepenuhnya merata maupun ideal. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan distribusi kelembapan, salah satunya dengan mempertimbangkan penambahan jumlah alat *mist maker* di dalam sistem.

Kata kunci: Distribusi kelembapan; *greenhouse*; homogenitas; pemetaan 2D; *ultrasonic mist maker*

Abstract – This study evaluates the effectiveness of an *ultrasonic mist maker* as an *evaporative cooler* in regulating humidity distribution within a *hydroponic greenhouse* at Farm Lamongan. Humidity measurements were conducted at 36 grid points across a 3 m × 12 m area using a UNI-T UT333 hygrometer, both before and after operating the *ultrasonic mist maker* for 20 minutes. The collected data were processed using Surfer software to generate contour maps and visualize the homogeneity of humidity distribution across six categorical ranges. The results showed that before the *mist maker* was operated, relative humidity (RH) ranged from 42% to 58%, with the distribution predominantly in the relatively dry category at 21.56% and the moderately humid category at 78.44%, while no areas reached the ideal range. After activating the *mist maker*, the humidity range increased to 60%–70%, and the relatively dry category was eliminated. The majority of the *greenhouse* area, specifically 97.13%, shifted into the moderately humid category, which approaches optimal conditions, while a smaller portion, 2.87%, entered the ideal category. Although humidity levels improved significantly, the distribution remained suboptimal in terms of uniformity and ideal coverage. Therefore, further research is needed to optimize humidity distribution, potentially by increasing the number of *mist maker* units in the system.

Keywords: Humidity distribution; *greenhouse*; homogeneity; 2D mapping; *ultrasonic mist maker*.

1. Pendahuluan

Variabilitas iklim, khususnya akibat fenomena El Nino, telah berdampak signifikan terhadap sistem pertanian tertutup seperti hidroponik dengan sistem *greenhouse* [1]. Peningkatan suhu dan penurunan kelembapan selama periode ini dapat mengganggu keseimbangan mikroklimat yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Dalam sistem hidroponik, kelembapan relative (RH) merupakan salah satu parameter fisis krusial yang harus dijaga pada rentang optimal untuk mendukung efisiensi pertumbuhan [2].

Beberapa jenis tanaman memiliki kadar RH hortikultura, khususnya sayuran daun seperti selada, umumnya memerlukan RH optimal pada rentang 70–80%. Untuk mencapai rentang tersebut, penggunaan teknologi *evaporative cooler* seperti *ultrasonic mist maker* merupakan hal yang umum ditemui dalam sistem pertanian *greenhouse* hidroponik. Teknologi ini menghasilkan kabut mikro dari air yang berfungsi meningkatkan kelembapan udara [3]. Dalam aplikasinya, *ultrasonic mist maker* dirangkai bersama beberapa komponen lain seperti *fan* dan pipa evaporasi untuk mendistribusikan kabut ke area yang lebih luas. Keduanya dipasang dalam box yang memiliki fungsi sebagai reservoir air dengan sensor pelampung air untuk memantau ketersediaan air.

Meskipun demikian, dalam praktiknya, distribusi kabut dari *mist maker* sering kali tidak merata yang mana dapat berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman. Diketahui pada sebuah penelitian dengan sistem *evaporative cooler* menunjukkan distribusi kelembapan yang tidak merata, dengan variasi hingga 21,7% akibat efek pendinginan yang tidak seragam [5]. Hal serupa juga ditunjukkan dalam penelitian sistem cooler berbasis *spray* air memiliki prinsip kerja pendinginan yang sama dengan *mist maker* yang memiliki prinsip pendinginan serupa dengan *mist maker generator*, menunjukkan peningkatan kelembapan dan penurunan suhu, namun distribusi kelembapan tidak merata, terutama di area jauh dari sumber semprotan [6]. Kedua penelitian tersebut memiliki keterbatasan yakni tidak mengkaji distribusi kelembapan secara lanjut menggunakan pendekatan pemetaan spasial, yang membuat zona-zona dengan kelembapan tidak optimal belum dapat diidentifikasi dengan jelas.

Pendekatan pemetaan kelembapan secara spasial dapat mengatasi keterbatasan ini dengan memvisualisasikan distribusi kelembapan secara akurat. Metode ini memungkinkan identifikasi pola sebaran kelembapan serta area kritis yang memerlukan penyesuaian sistem untuk mencapai distribusi yang lebih seragam. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah pemetaan dua dimensi (2D) menggunakan perangkat lunak Surfer, yang memungkinkan interpolasi data kelembapan berdasarkan titik *grid* pengukuran dan menghasilkan peta kontur distribusi RH [7]. Selain itu, analisis homogenitas distribusi kelembapan dapat dilakukan dengan menghitung proporsi luas area dalam berbagai rentang RH terhadap luas total area *greenhouse*. Persentase homogenitas ini memberikan ukuran kuantitatif terhadap sejauh mana distribusi kelembapan telah merata [8]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas distribusi kelembapan aktual pada *greenhouse* hidroponik di Farm Lamongan menggunakan pendekatan spasial dua dimensi berbasis *grid*. Data hasil pengukuran kelembapan akan dipetakan menggunakan Surfer dan dianalisis tingkat homogenitasnya sebagai dasar awal untuk merancang strategi optimalisasi distribusi kabut yang lebih efektif dan efisien.

Kelembapan Relatif didefinisikan sebagai rasio antara jumlah kandungan uap air di udara saat itu dengan tingkat kelembapan maksimum (jenuh) yang dapat ditahan oleh udara pada suhu dan tekanan gas tertentu. RH dinyatakan dalam persen (%), dan dihitung dengan Persamaan (1). Dimana P_v adalah tekanan parsial aktual dari kandungan kelembapan di udara dan P_s adalah tekanan jenuh dari udara lembab pada suhu yang sama [9].

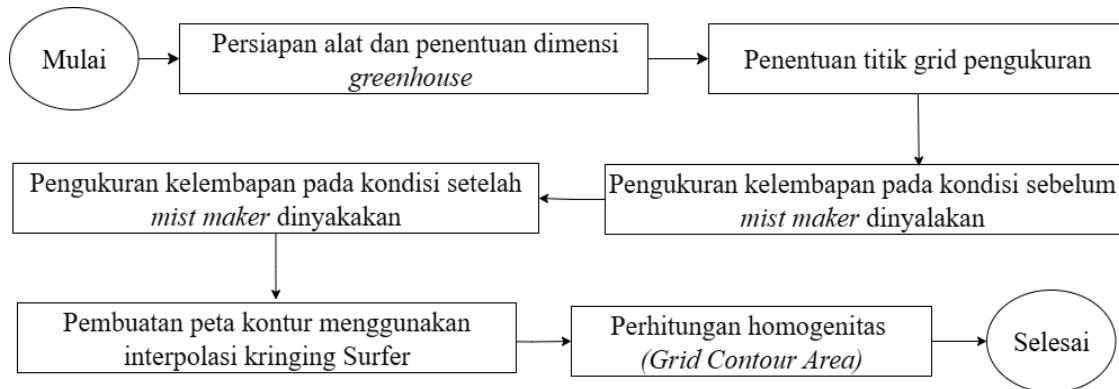
$$RH = \frac{P_v}{P_s} \quad (1)$$

2. Metode Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: rollmeter, laptop/komputer (dengan software *sweet home 3D* dan *Surfer*), hygrometer UNI-T UT333, dan *ultrasonic mist maker generator*. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan melalui *flowchart* pada Gambar 1.

Penelitian dilakukan di salah satu unit *greenhouse* Hidroponik Farm Lamongan yang berlokasi di Jl. Sunan Drajat No.156, Kaloharjo, Sidoharjo, Kecamatan Lamongan, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur,

Indonesia (7°07'43" LS, 112°24'45" BT). Area penelitian memiliki dimensi 3 m × 12 m dan dibagi secara sistematis ke dalam 36 titik grid. Titik-titik pengukuran disusun dengan tepi awal pada 50 cm dari batas area, kemudian berjarak 1 m antar titik, baik pada arah lebar (sumbu X) maupun panjang (sumbu Y) *greenhouse*.



Gambar 1. Flowchart penelitian.

Keseluruhan sistem *ultrasonic mist maker generator* dapat dihubungkan dengan panel kontrol yang memastikan alat dapat bekerja sesuai kebutuhan ditunjukkan pada Gambar 2 [4].



Gambar 2. Ultrasonic mist maker generator sebagai evaporative cooler a).bagian luar dan b). bagian dalam.

Pengukuran kelembapan dilakukan pada dua kondisi yakni sebelum *mist maker* dinyalakan dan sesudah. Nilai kelembapan diukur pada masing-masing titik menggunakan higrometer digital UNI-T UT333, alat ukur temperatur dan kelembapan yang memiliki spesifikasi rentang pengukuran kelembapan antara 0-100% RH, dengan akurasi $\pm 5\%$ RH dan resolusi 0,1% RH. Higrometer ini dipilih dikarenakan memiliki waktu respons cepat, praktis untuk pengukuran lapangan, serta dilengkapi fitur kalibrasi pabrik yang menjamin kestabilan data dalam rentang kerja normal [10]. Pengukuran dilakukan satu kali pada setiap titik setelah waktu stabilisasi selama tiga menit untuk memperoleh nilai yang representatif. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode interpolasi Kriging melalui perangkat lunak Surfer 13. Metode Interpolasi Kriging dipilih karena mampu memberikan estimasi nilai di lokasi yang tidak terukur dengan struktur spasial data, menghasilkan estimasi yang lebih akurat dibandingkan metode lain seperti *Inverse Distance Weighting (IDW)* dan interpolasi *Spline* [11].

Hasil dari proses interpolasi divisualisasikan dalam bentuk peta kontur dua dimensi menggunakan fitur *Grid Map* di Surfer 13. Visualisasi ini menyajikan sebaran kelembapan udara dalam bentuk gradasi warna, di mana setiap warna merepresentasikan rentang kelembapan tertentu. Untuk menilai pemerataan distribusi sebaran nilai, dilakukan perhitungan homogenitas menggunakan fitur *Grid Contour Area* pada Surfer 13 di masing-masing rentang kelembapan yang ada pada Tabel 1.

Homogenitas dihitung berdasarkan persentase luas area yang berada dalam rentang kategori kelembapan tertentu terhadap total luas *greenhouse*, dengan Persamaan(2) [14].

$$\%Homogenitas = \frac{\text{Luas area kontur}}{\text{Luas Total Area Peta Kontur}} \times 100 \% \quad (2)$$

Tabel 1. Kategori RH pada *Greenhouse* Hidroponik [12], [13].

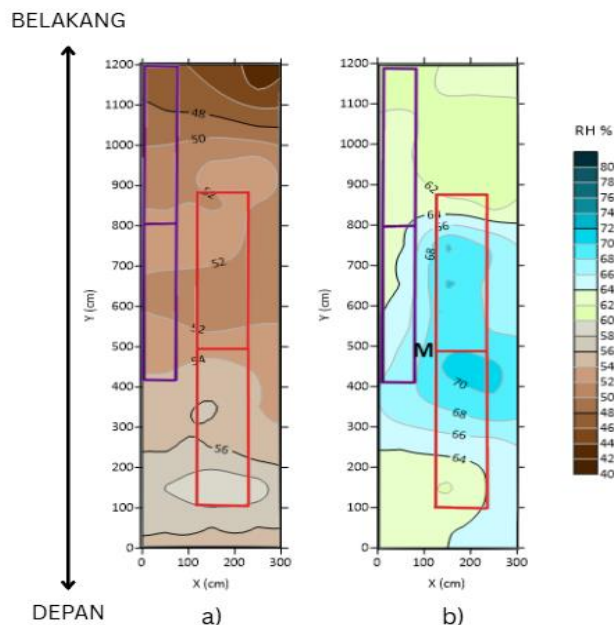
RH (%)	Keterangan Singkat	Label
0–40	Sangat kering, tidak cocok	F1
41–50	Relatif kering, kurang ideal	F2
51–69	Sedang, cukup mendukung	F3
70–80	Ideal untuk sayuran daun	F4
81–84	Tinggi, mulai kurang optimal	F5
85–100	Terlalu tinggi, risiko penyakit naik	F6

3. Hasil Dan Pembahasan

Adapun hasil yang didapat meliputi 36 nilai kelembapan pada masing-masing kondisi *ultrasonic mist maker generator off* dan *on*, yang kemudian diolah dan divisualisasikan menggunakan perangkat lunak Surfer untuk dilakukan analisis spasial dan kuantitatif terhadap distribusi kelembapan di dalam *greenhouse*. Analisis ini memungkinkan penilaian sejauh mana *mist maker* mampu menciptakan distribusi kelembapan yang seragam dan mendekati rentang optimal (70–80%) untuk tanaman sayuran daun, sehingga efektivitasnya sebagai evaporative cooler dapat ditentukan secara kuantitatif.

3.1 Analisis spasial

Distribusi spasial kelembapan udara di dalam *greenhouse* pada kedua kondisi di tunjukan pada Gambar 3. Gambar 3a menunjukkan kondisi ketika *mist maker* dimatikan sementara Gambar 3b saat *mist maker* dinyalakan. Area yang dibatasi tanda persegi berwarna merah adalah area rak tanaman yang digunakan dalam budidaya, sementara kotak ungu menunjukkan area rak yang tidak digunakan. Tanda M adalah tempat *mist maker* diletakkan selama proses *mist maker* dinyalakan.



Gambar 3. Peta distribusi kelembapan a) kondisi *mist maker Off*, dan b) kondisi *mist maker On*.

Pada kondisi sebelum *mist maker* dioperasikan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3a. kelembapan relatif (RH) di dalam *greenhouse* berkisar antara 42% hingga 58%. Distribusi kelembapan pada peta menunjukkan gradien dengan pola menurun dari bagian depan ke belakang *greenhouse*. Bagian depan diketahui memiliki kelembapan tertinggi (58%), ditunjukkan oleh zona krem/coklat muda, sedangkan bagian belakang memiliki kelembapan terendah (42%), ditandai oleh zona coklat gelap. Variasi ini terutama disebabkan oleh posisi keran dan aliran air nutrisi di bagian depan rak serta absennya paranet pada atap *greenhouse* di area belakang yang memungkinkan paparan radiasi matahari langsung. Secara

fisis, radiasi matahari meningkatkan suhu udara, mempercepat penguapan yang mengurangi kadar air di udara. Dalam kondisi ini, kelembapan udara sepenuhnya bergantung pada proses evapotranspirasi dari tanaman dan aliran air dari media tanam yang memiliki kontribusi terbatas [15]. Evapotranspirasi alami menghasilkan fluks uap air yang rendah, terutama di area belakang yang terpapar radiasi matahari intens, karena laju penguapan melebihi laju pelepasan uap air dari. Akibatnya, kelembapan pada kondisi ini memiliki distribusi yang jauh dari rentang ideal untuk tanaman sayuran daun (70–80%).

Gambar 3b. menunjukkan kondisi setelah *mist maker* dioperasikan selama 20 menit. Diketahui pada kondisi ini terjadi peningkatan signifikan dalam kelembapan udara, dengan rentang RH mencapai 60,0% hingga 70%. Peningkatan ini paling terlihat pada area tengah *greenhouse*, ditunjukkan oleh zona biru terang dengan RH mendekati 70%, sedangkan bagian depan dan belakang hanya mencapai 61–65%, sebagaimana terlihat dari gradasi warna hijau muda pada Gambar 3b.

Secara fisis, *ultrasonic mist maker* beroperasi dengan membagi air menjadi kabut droplet mikro pada frekuensi tinggi, hal ini memungkinkan penambahan jumlah molekul uap air di atmosfer [4]. Droplet mikro yang dihasilkan akan mengalami evaporasi secara cepat yang meningkatkan tekanan parsial uap air. Diketahui dari Persamaan 1, peningkatan P_v akan diikuti oleh peningkatan kelembapan relatif (RH) karena keduanya memiliki hubungan yang berbanding lurus [9]. Proses evaporasi droplet juga menyerap panas laten dari udara sekitar, hal ini menyebabkan efek pendinginan lokal yang membantu menjaga uap air dalam fase gas dan mencegah kondensasi [16].

Meskipun begitu, efektivitas penyebaran terbatas oleh jarak dari sumber *mist maker* dan aliran konveksi udara. Area tengah *greenhouse*, yang berdekatan dengan *mist maker*, mencapai batas bawah rentang kelembapan ideal (70–80%), tetapi area tepi dan belakang tetap di bawah ambang ini karena difusi uap air melemah seiring jarak dan adanya pertukaran udara melalui paranet berlubang, yang mengurangi akumulasi uap. Pemetaan spasial pada Gambar 1b menegaskan bahwa *mist maker* efektif meningkatkan kelembapan di area terdekat, tetapi distribusi kelembapan belum homogen di seluruh *greenhouse*.

3.2 Sebaran homogenitas

Sebaran homogenitas memberikan gambaran mengenai tingkat pemerataan distribusi kelembapan udara di dalam *greenhouse* pada dua kondisi pengamatan, yaitu sebelum dan sesudah *mist maker* dioperasikan. Untuk mempermudah analisis, data sebaran homogenitas berdasarkan masing-masing kategori kelembapan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel sebaran homogenitas.

Label	<i>Mist maker off</i> (%)	<i>Mist maker on</i> (%)
F1	0	0
F2	21,56	0
F3	78,44	97,13
F4	0	2,87
F5	0	0
F6	0	0

Analisis difokuskan pada perubahan sebaran kelembapan udara terhadap enam kategori kelembapan (F1–F6) yang ditetapkan berdasarkan klasifikasi RH tanaman sayuran daun. Pada kondisi sebelum *mist maker* diaktifkan, distribusi kelembapan didominasi oleh kategori aman (F3) dengan luasan sebesar 78,44% diikuti oleh rentang relatif kering (F2) sebesar 21,56%, dan tidak terdapat area dalam kategori RH ideal (F4, 70–80%). Ketidadaan zona F4 menunjukkan bahwa sistem kelembapan masih belum homogen dan belum terdapat area dengan kelembapan optimal.

Setelah *mist maker* dioperasikan selama 20 menit, terjadi perubahan signifikan pada pola distribusi kelembapan. Luasan area dalam kategori F2 berkurang menjadi 0%, menunjukkan bahwa kabut air berhasil meningkatkan kelembapan di area yang sebelumnya tergolong relatif kering. Sementara itu, kategori F3 meningkat menjadi 97,13%, dan mulai muncul area dengan kategori F4 (RH ideal) sebesar 2,87% dari total luas *greenhouse*. Hasil ini menunjukkan pengaruh satu buah *mist maker generator* dalam meningkatkan homogenitas kelembapan dapat mendekati optimal. Namun, homogenitas distribusi masih terbatas, dengan hanya sebagian kecil area mencapai rentang ideal.

3.3 Rekomendasi strategi optimalisasi

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan satu unit *ultrasonic mist maker* memang mampu meningkatkan kelembapan udara di sekitar alat, namun tidak cukup efektif untuk menjangkau sebagian besar area *greenhouse* ukuran 3 m x 12 m. Hal ini terlihat dari sebaran kelembapan yang masih timpang, di mana area ujung dan sisi ruang tetap berada di bawah ambang kelembapan ideal. Keterbatasan jangkauan sebaran kabut menjadi faktor utama rendahnya homogenitas kelembapan. Oleh karena itu, beberapa langkah optimalisasi yang direkomendasikan untuk dicoba adalah penambahan jumlah *mist maker* pada titik-titik dengan jangkauan yang lebih luas, yang mana harus dicari terlebih dahulu melalui peta pemindahan posisi. Hal ini didasari oleh temuan bahwa satu alat terbukti kurang mencakup seluruh area, menambah unit *mist maker* di area yang sebelumnya memiliki kelembapan rendah dapat meningkatkan cakupan sebaran kabut dan memperbaiki homogenitas kelembapan. Kipas eksternal juga dapat dipertimbangkan untuk menyebarkan kabut pada penelitian selanjutnya.

4. Kesimpulan

Pemetaan spasial dua dimensi menunjukkan bahwa *ultrasonic mist maker generator* efektif sebagai *evaporative cooler* dalam meningkatkan distribusi kelembapan relatif menuju kondisi optimal khususnya pada area tengah *greenhouse* ukuran 3 m x 12 m. Distribusi kelembapan menunjukkan bahwa sebelum pengoperasian *mist maker*, kelembapan relatif (RH) berkisar antara 42–58%, dengan distribusi didominasi oleh kategori relatif kering (F2) sebesar 21,56% dan kategori aman (F3) sebesar 78,44%, tanpa area dalam rentang ideal (F4). Setelah *mist maker* dioperasikan selama 20 menit, kategori relatif kering (F2) berhasil dihilangkan (0%), kategori aman (F3) meningkat menjadi 97,13%, dan kategori ideal (F4) muncul dengan luasan 2,87% dari total area *greenhouse*. Meskipun distribusi kelembapan belum efektif (ditunjukkan oleh tingkat homogen rentang ideal yang kurang), temuan ini menjadi dasar awal pengembangan sistem *Evaporative cooler* berbasis *mist maker* pada *greenhouse* hidroponik untuk skala *greenhouse* sama maupun lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Hidroponik Farm Lamongan atas fasilitas, waktu, dan dukungan penuh yang diberikan selama proses pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Latifatun atas bantuan yang diberikan dalam proses pengambilan data hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pustaka

- [1] Kementrian Pertanian, “Strategi dan Upaya Adaptasi Dampak El Nino pada Sektor Pertanian,” *Badan Penyuluhan dan Pengembangan SDM Pertanian*, vol. 9, Agustur 2023. [Online]. Available: <https://repository.pertanian.go.id/bitstreams/a25e4abe-e0ef-45b6-918c-d1df7129cf2e/download>
- [2] K. Tatas *et al.*, “Reliable IoT-Based Monitoring and Control of Hydroponic Systems,” *Technologies*, vol. 10, no. 1, p. 26, Feb. 2022, doi: 10.3390/technologies10010026.
- [3] S. L. H. Siregar and M. Rivai, “Monitoring dan Kontrol Sistem Penyemprotan Air Untuk Budidaya Aeroponik Menggunakan NodeMCU ESP8266,” *JTITS*, vol. 7, no. 2, pp. 380–385, Feb. 2019, doi: 10.12962/j23373539.v7i2.31181.
- [4] A. Widodo, U. Chasanah, and G. S. Tanjung, “Technology Transfer of Humidity and Temperature Control System Using Ultrasonic Mist Maker in the Lamongan Hydroponic Farm Area, Sidoharjo Lamongan District,” *ABDIMAS*, vol. 7, no. 4, pp. 1976–1986, Oct. 2024, doi: 10.35568/abdimas.v7i4.5450.
- [5] X. Wei *et al.*, “Distribution Characteristics and Prediction of Temperature and Relative Humidity in a South China Greenhouse,” *Agronomy*, vol. 14, no. 7, p. 1580, July 2024, doi: 10.3390/agronomy14071580.
- [6] J. Xu *et al.*, “Study on the Cooling Effect of Double-Layer Spray Greenhouse,” *Agriculture*, vol. 13, no. 7, p. 1442, July 2023, doi: 10.3390/agriculture13071442.

-
- [7] P.-F. Kuo, T.-E. Huang, and I. G. B. Putra, “Comparing Kriging Estimators Using Weather Station Data and Local Greenhouse Sensors,” *Sensors*, vol. 21, no. 5, p. 1853, Mar. 2021, doi: 10.3390/s21051853.
 - [8] J. G. Rosas and M. Blanco, “A criterion for assessing homogeneity distribution in hyperspectral images. Part 1: Homogeneity index bases and blending processes,” *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, vol. 70, pp. 680–690, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.jpba.2012.06.036.
 - [9] H. Farahani, R. Wagiran, and M. Hamidon, “Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review,” *Sensors*, vol. 14, no. 5, pp. 7881–7939, Apr. 2014, doi: 10.3390/s140507881.
 - [10] S. Kumar, G. Hariharan, M. Fayaz, and N. Kumar, “Experimental Investigation on Dehumidification Using a Solid Composite Bio Desiccant Internally Cooled Using Nanofluids for Building Cooling,” *Buildings*, vol. 13, no. 6, p. 1461, June 2023, doi: 10.3390/buildings13061461.
 - [11] C. Jie, Z. Hanting, H. Qian, W. Jianhua, and Q. Xuedi, “Selecting Proper Method for Groundwater Interpolation Based on Spatial Correlation,” in *2013 Fourth International Conference on Digital Manufacturing & Automation*, Shinan, China: IEEE, June 2013, pp. 1192–1195. doi: 10.1109/ICDMA.2013.282.
 - [12] H. A. Ahmed, T. Yu-Xin, and Y. Qi-Chang, “Optimal control of environmental conditions affecting lettuce plant growth in a controlled environment with artificial lighting: A review,” *South African Journal of Botany*, vol. 130, pp. 75–89, May 2020, doi: 10.1016/j.sajb.2019.12.018.
 - [13] A. G. Yusuf, F. A. Al-Yahya, A. A. Saleh, and A. M. Abdel-Ghany, “Optimizing greenhouse microclimate for plant pathology: challenges and cooling solutions for pathogen control in arid regions,” *Front. Plant Sci.*, vol. 16, p. 1492760, Feb. 2025, doi: 10.3389/fpls.2025.1492760.
 - [14] D. M. L. França, J. M. Amigo, C. Cairós, M. Bautista, and M. F. Pimentel, “Evaluation and assessment of homogeneity in images. Part 1: Unique homogeneity percentage for binary images,” *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 171, pp. 26–39, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.chemolab.2017.10.002.
 - [15] C. Kittas, T. Bartzanas, and A. Jaffrin, “Greenhouse Evaporative Cooling: Measurement and Data Analysis,” *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 44(3), pp. 683–689, 2001, doi: 10.13031/2013.6106.
 - [16] G. Havenith *et al.*, “Evaporative cooling: effective latent heat of evaporation in relation to evaporation distance from the skin,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 114, no. 6, pp. 778–785, Mar. 2013, doi: 10.1152/jappphysiol.01271.2012.