

PENGATURAN TEMPERATUR AIR HIDROPONIK MENGGUNAKAN WATER HEATER

Ratna Zulfarosda*, Retno Tri Purnamasari, Siti Nur Syaimah, Aidah Fauziyah

Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Merdeka Pasuruan
Jl. Ir. H. Juanda No. 68, Tapaan, Pasuruan, Jawa Timur, Indonesia

email : ratnazulfarosda@gmail.com

ABSTRAK

Temperatur udara termasuk dalam komponen iklim mikro yang berpengaruh temperatur air hidroponik. Petani hidroponik mengatasi temperatur air yang tinggi dengan menggunakan paranet, peletakan tandon di dalam tanah, atau melindungi tandon dari sinar matahari untuk menjaga air tetap dingin. Beberapa penelitian mengaplikasikan sistem otomatis untuk mengatur temperatur air hidroponik. Namun, peralatan yang digunakan cukup rumit dan mahal sehingga perlu alternatif yang dapat diterapkan petani dengan mudah dan terjangkau. Penggunaan *water heater* sebagai pengatur temperatur air akuarium banyak digunakan tetapi hasil riset pada tanaman hidroponik masih terbatas. Penelitian ini bertujuan mendapatkan data dan informasi pertumbuhan serta hasil panen berdasarkan perbedaan temperatur air hidroponik yang diatur menggunakan *water heater*. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan 9 perlakuan dan 3 ulangan menggunakan sistem *Nutrient Film Technique* (NFT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *water heater* tidak mampu mempertahankan temperatur air sesuai perlakuan yang ditentukan (22, 24, 26 dan 28°C). Nilai temperatur air yang tidak berbeda nyata (29.54 – 30.42°C) pada semua perlakuan menghasilkan berat segar serta berat kering tanaman dan akar yang berbeda. Berat segar dan berat kering tanaman umur 30 HST menunjukkan nilai tertinggi pada perlakuan W22D yakni berturut-turut sebesar 181,53 g dan 1,86 g. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kondisi temperatur air (temperatur daerah akar) dan udara yang seimbang, mampu menghasilkan berat segar tanaman yang maksimal.

Kata Kunci: *temperatur air, hidroponik, water heater*

ABSTRACT

Air temperature is included in the microclimate components which influence the temperature of the hydroponic water. Hydroponic farmers overcome high water temperatures by using paranets, placing reservoirs in the ground, or protecting reservoirs from sunlight to keep the water cool. Several studies apply automatic systems to regulate hydroponic water temperature. However, the equipment used is quite complicated and expensive, so alternatives are needed that farmers can implement easily and affordably. The use of water heaters to regulate aquarium water temperature is widely used, but research results on hydroponic plants are still limited. This research aims to obtain data and information on growth and crop yields based on differences in hydroponic water temperature which are regulated using a water heater. The research used a Randomized Block Design with 9 treatments and 3 replications using the Nutrient Film Technique (NFT) system. The results showed that the water heater was unable to maintain the water temperature according to the specified treatment (22, 24, 26 and 28°C). The water temperature values that were not significantly different (29.54 - 30.42°C) in all treatments resulted in different fresh weights and dry weights of plants and roots. The fresh weight and dry weight of plants aged 30 HST showed the highest values in the W22D treatment, namely 181.53 g and 1.86 g, respectively. This research also shows that balanced conditions of water temperature (root area temperature) and air can produce maximum plant fresh weight.

Keywords: water temperature, hydroponics, water heater

PENDAHULUAN

Hidroponik semakin dikembangkan karena menjadi salah satu alternatif budidaya yang menghemat tempat dan dapat dilakukan di wilayah perkotaan. Hidroponik juga dapat menjadi solusi jangka panjang untuk mendukung ketahanan pangan di Indonesia mengingat alih fungsi lahan pertanian menjadi pemukiman semakin meningkat. Meskipun hidroponik dikenal sebagai praktik budidaya tanam yang mudah, kendala tanam tetap mungkin terjadi.

Kendala petani terkait pupuk/nutrisi AB Mix dengan harga yang mahal memunculkan ide penggunaan alternatif pupuk lain dengan harga yang lebih murah seperti pupuk majemuk NPK. Akan tetapi, berdasarkan hasil penelitian (Utami Nugraha & Dinurrohman Susila, 2015), penggunaan pupuk NPK

tidak dapat menggantikan AB Mix dalam budidaya hidroponik. Beberapa penelitian mencoba melakukan riset pengaturan konsentrasi AB Mix (Furoidah, 2018; Hidayanti & Kartika, 2019) untuk mendapatkan rekomendasi dosis pupuk yang terbaik. Terkait AB Mix, penulis meneliti komposisi penyusun AB Mix yakni unsur hara besi (Fe) dengan jenis khelat yang berbeda dengan tujuan memberikan rekomendasi penggunaan Fe khelat yang menghasilkan panen terbaik karena unsur Fe mudah teroksidasi dan tidak tersedia bagi tanaman (Zulfarosda et al., 2020). Kendala dalam pengendalian keasaman air hidroponik juga diteliti mengingat petani hidroponik di Indonesia menggunakan air dengan kondisi yang berbeda. Petani hidroponik menggunakan asam sulfat karena lebih mudah diperoleh yakni dari air aki (*aquzuur*). Penelitian terkait penggunaan larutan asam ini dilakukan penulis dan hasil terbaik diperoleh dari penggunaan asam fosfat sebagai larutan penurun pH (Zulfarosda & Purnamasari, 2022). Kendala lain yakni monitoring kepekatan AB Mix, keasaman air dan temperatur air dalam tandon secara manual membutuhkan tenaga lebih banyak sehingga banyak dilakukan penelitian tentang sistem kontrol otomatis.

Kendala lain yang cukup sulit dikendalikan yakni temperatur udara tinggi di wilayah dataran rendah. Temperatur udara menyebabkan peningkatan temperatur air hidroponik sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman hidroponik. Pertumbuhan tanaman hidroponik menjadi tidak maksimal ketika dibudidayakan di lokasi dengan temperatur udara tinggi (panas). Berdasarkan pengalaman di lapang, resiko terjadi gagal semai meningkat ketika temperatur air di atas 30°C (data pribadi penulis). Beberapa petani hidroponik mengeluhkan tentang penurunan produksi dan kegagalan fase persemaian akibat temperatur udara tinggi di Kota Pasuruan (data pribadi penulis).

Temperatur air tandon yang disarankan yakni antara 18-28°C (Susilawati, 2019). Air dengan temperatur tinggi memiliki kandungan oksigen terlarut (*dissolved oxygen/DO*) yang rendah sehingga mengganggu pertumbuhan akar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar DO pada larutan hidroponik berdampak pada penurunan pH (pH menjadi asam) (Purbajanti et al., 2017). Hasil penelitian di rumah kaca (*greenhouse*) membuktikan bahwa temperatur harian di dalam *greenhouse* lebih tinggi dibandingkan dengan di luar *greenhouse* (Dewi et al., 2020). Artinya, penggunaan *greenhouse* bukan menjadi solusi dalam menjaga temperatur tetap stabil. Temperatur air tandon dapat dikendalikan secara kultur teknis dengan cara menjaga tandon terhindar dari terik matahari dengan penggunaan naungan/paranet. Penggunaan naungan terbukti dapat meningkatkan hasil dibandingkan tanpa naungan (Khodriyah et al., 2017; Tuo et al., 2021). Beberapa petani meletakkan tandon hidroponik di dalam tanah untuk menjaga temperatur air tandon tetap dingin, namun hal tersebut sulit dilakukan bila lokasi terletak di atap rumah/gedung (*rooftop*). Sistem pendingin air (kompresi uap) mampu mengendalikan temperatur air dari 30°C menjadi 25°C (Khoerun et al., 2023). Berdasarkan hal tersebut, maka pengaturan temperatur penting diperhatikan pada budidaya hidroponik.

Penelitian otomatisasi pengaturan temperatur telah banyak dilakukan bersama dengan pengaturan pH dan nutrisi (Chadirin et al., 2010; Hariono et al., 2021; Indriani et al., 2020; Putra et al., 2018; Shome & Ashok, 2012). Namun, dalam penelitian-penelitian tersebut membutuhkan peralatan yang cukup mahal dan kompleks sehingga kurang sesuai jika diterapkan oleh petani skala kecil. Alat pengatur temperatur yang mahal memiliki alternatif substitusi alat yakni menggunakan *water heater* yang biasa digunakan untuk mengatur temperatur air akuarium. Akan tetapi, perlu dilakukan pengujian apakah penggunaan *water heater* yang lebih sederhana dapat mengatur temperatur air hidroponik dan memberikan manfaat optimal bagi pertumbuhan tanaman. Pada penelitian yang menggunakan peralatan otomatis, pengaturan temperatur air membutuhkan biaya yang mahal. Salah satu alternatif pengaturan temperatur air dengan harga terjangkau dapat *water heater* yang biasa digunakan pada budidaya ikan di akuarium. Temperatur air dapat diatur pada kisaran 20-32°C. *Water heater* ini memiliki beberapa pilihan daya antara lain 25 W, 50 W, atau 100 W. Volume air hidroponik 50 liter dapat menggunakan *water heater* dengan daya 50 W. Sebagai upaya menghematan listrik maka penggunaan *water heater* dapat dinyalakan pada pagi hingga siang hari ketika temperatur mulai naik (pukul 10.00 sampai dengan 15.00). Penghematan listrik tersebut dapat dilakukan dengan menghubungkan *water heater* ke stop kontak yang dilengkapi dengan *timer*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan data komponen pertumbuhan serta komponen hasil panen berdasarkan perbedaan temperatur air hidroponik yang diatur menggunakan *water heater*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan di Kebun Percobaan Fakultas Pertanian Universitas Merdeka Pasuruan dengan ketinggian tempat 0-50 m dpl pada bulan April-Oktober 2024. Bahan yang digunakan antara lain: Benih Selada Dataran Rendah, Rockwool, Netpot, Nutrisi AB Mix (dengan Fe EDDHA), Larutan penurun pH Asam Fosfat (H_2PO_3 10%). Alat yang diperlukan antara lain alat ukur TDS dan Temperatur (TDS Meter), alat ukur pH (pH meter), *water heater* dan stop kontak *timer*, alat ukur suhu dan kelembaban (*Hygrometer*) alat pengaduk, instalasi NFT, nampan semai, dan gelas ukur. Sistem hidroponik yang digunakan ialah *Nutrient Film Technique* (NFT). Tiap perlakuan pada tiap ulangan terdapat 18 tanaman.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok dengan 9 (sembilan) perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan tersebut antara lain: (1) W22D, *water heater* 22°C menyala 24 jam; (2) W22T6, *water heater* 22°C menyala 6 jam; (3) W24D, *water heater* 24°C menyala 24 jam; (4) W24T6, *water heater* 24°C menyala 6 jam; (5) W26D, *water heater* 26°C menyala 24 jam; (6) W26T6, *water heater* 26°C menyala 6 jam; (7) W28D, *water heater* 28°C menyala 24 jam; (8) W28T6, *water heater* 28°C menyala 6 jam; (9) Kontrol, tanpa *water heater*. *Water heater* diletakkan ke dalam air hidroponik dengan setting temperatur sesuai dengan perlakuan. Perlakuan *water heater* menyala 24 jam dilakukan dengan menyambungkan *water heater* langsung ke stop kontak tanpa timer. Perlakuan *water heater* menyala 6 jam dilakukan dengan menyambungkan *water heater* ke stop kontak dilengkapi timer. Pengaturan timer menyala mulai pukul 10.00 sampai dengan 15.00.

Parameter pengamatan dalam penelitian ini yakni: (1) pengukuran pH, temperatur (°C) dan kadar hara terlarut (ppm) air hidroponik, serta kelembaban dan suhu udara dilakukan mulai awal tanam hingga panen pada 3 waktu (pagi, siang dan sore) menggunakan pH meter, TDS meter, dan *hygrometer*; (2) berat segar dan berat kering tanaman bagian atas dan akar (g) dilakukan pada umur 10, 20 dan 30 HST; (3) berat panen per plot (g) dilakukan dengan menimbang seluruh tanaman pada saat umur 30 HST. Data hasil pengamatan dianalisis ragam dengan uji F taraf 5% dan apabila berbeda nyata dilanjutkan dengan uji beda nyata terkecil (BNT) taraf 5% untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur (°C), pH, dan kadar hara terlarut (ppm)

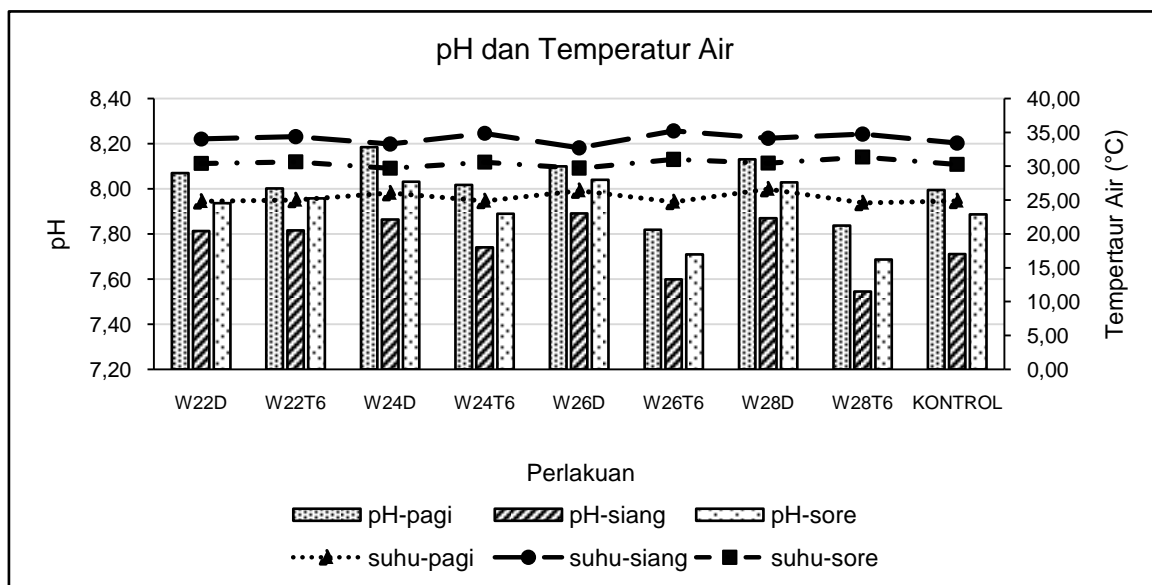
Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa temperatur pada semua perlakuan tidak berbeda nyata, sedangkan pH dan kadar hara air hidroponik pada semua perlakuan berbeda nyata. Temperatur air pada penggunaan *water heater* tidak mampu mempertahankan suhu pada 22, 24, 26 dan 28°C (Tabel 1). Temperatur air pada penelitian ini berada pada rentang 29.54 – 30.42°C. *Water heater* dapat digunakan untuk hidroponik dengan kondisi air temperatur rendah (Nxawe et al., 2009). Hasil penelitian lain menyimpulkan bahwa temperatur air hidroponik dapat diturunkan secara signifikan menjadi 20°C dengan menggunakan *water chiller* yang dihubungkan dengan pompa air (Hooks et al., 2022). Hasil penelitian ini menunjukkan nilai pH pada rentang 7.68 – 8.02, lebih tinggi dibandingkan dengan pH ideal untuk hidroponik yakni antara 5,5-6,5. pH terendah ditunjukkan dari perlakuan W26T6 dan W28T6 berturut-turut sebesar 7,71 dan 7,69. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya (Zulfarosda et al., 2022), penggunaan asam fosfat dalam penelitian ini sebagai larutan penurun pH (*pH Down solution*) merupakan rekomendasi untuk diterapkan pada hidroponik dataran rendah dengan kondisi air dengan pH > 8. Kadar hara air hidroponik selama penelitian yakni antara 939,0 – 1.105,3 ppm, sesuai dengan kebutuhan hara untuk tanaman jenis *lettuce* yakni antara 900–1.000 ppm (Ali Al Meselmani, 2023; Frasetya et al., 2019).

Kondisi pH dan temperatur air berdasarkan waktu pengamatan (pagi, siang dan sore) ditampilkan pada Gambar 1. Pengukuran pH pagi dilakukan sebelum aplikasi larutan asam fosfat dan tercatat pH pagi paling tinggi pada perlakuan W24D (pH 8,18). Larutan asam fosfat diaplikasikan hingga mencapai target pH 7-8. Penambahan larutan asam fosfat hanya dilakukan jika pH > 7 pada pagi hari. Berdasarkan grafik (Gambar 1), terlihat bahwa terjadi penurunan pH pada siang hari, kemudian pH berangsur naik pada sore hari. Hal serupa juga terjadi pada temperatur air hidroponik yakni mengalami peningkatan pada siang hari dengan rerata peningkatan temperatur sebesar 8,74°C. Hal ini dapat disimpulkan bahwa, peningkatan temperatur air saat siang tidak diikuti dengan peningkatan pH siang. Dengan kata lain, aplikasi larutan asam fosfat mampu mempertahankan pH pada kisaran pH 7-8

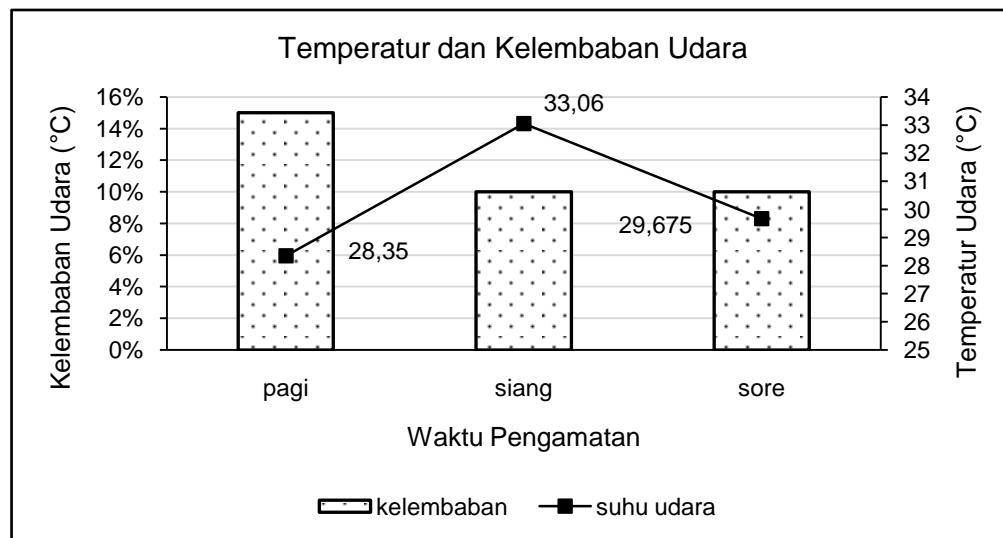
meskipun temperatur air diatas 30°C. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa *pH Down* komersil berbahan asam fosfat mampu mempertahankan pH dengan nilai yang stabil dibandingkan dengan asam sitrat dan cuka (Singh et al., 2019). Bila dikaitkan dengan temperatur dan kelembaban udara, temperatur air meningkat seiring dengan peningkatan temperatur udara. Grafik temperatur dan kelembaban udara (Gambar 2) menunjukkan bahwa pada siang hari tercatat temperatur udara lebih tinggi dan kelembaban udara lebih rendah dibandingkan pagi hari. Hal ini sejalan dengan penelitian hidroponik di dalam *greenhouse* dimana temperatur udara rendah (dibandingkan di luar *greenhouse*) yang berdampak pada temperatur air yang rendah pula (Hooks et al., 2022).

Tabel 1. Rerata Temperatur, pH dan kadar hara terlarut air hidroponik pada 9 perlakuan

Perlakuan	Temperatur Air (°C)	pH	Kadar hara terlarut (ppm)
W22D	29,76	7,94 c	1039,7 d
W22T6	30,02	7,92 c	1044,0 de
W24D	29,69	8,03 d	939,0 a
W24T6	30,13	7,89 b	988,3 b
W26D	29,62	8,01 d	1006,7 c
W26T6	30,33	7,71 a	1060,7 e
W28D	30,42	8,01 d	1057,3 de
W28T6	30,24	7,69 a	1105,3 f
KONTROL	29,54	7,86 b	973,0 b
BNT 5%	0,79	0,02	17,95



Gambar 1. Grafik pH dan Temperatur Air hidroponik (Pagi, Siang, dan Sore hari)



Gambar 2. Temperatur dan kelembaban udara

Berat Segar, Berat Kering Tanaman (bagian atas) dan Akar

Berat segar tanaman bagian atas dan akar masing-masing menunjukkan hasil berbeda nyata (Tabel 2 dan Tabel 3). Perlakuan W26T6 menghasilkan berat segar dan berat kering (tanaman dan akar) paling kecil karena sebagian tumbuh abnormal dan sebagian mati (Gambar 4, kanan). Faktor yang mempengaruhi hal tersebut belum diketahui secara pasti, namun ada kemungkinan pH air rendah (asam) ditandai dengan kondisi akar tanaman berwarna cokelat (Gambar 4, kiri).

Berat segar tanaman umur 30 HST menunjukkan nilai tertinggi pada perlakuan W22D yakni sebesar 181,53 g (Tabel 2). Sejalan dengan hal tersebut, berat kering tanaman tertinggi juga dihasilkan oleh tanaman W22D yakni sebesar 1,86 g. Analisis ragam berat segar dan berat kering akar menunjukkan terdapat perbedaan yang nyata (Tabel 3). Temperatur udara rata-rata yang tercatat selama penelitian berlangsung sebesar 30,36°C dengan temperatur tertinggi diukur pada waktu siang sebesar 33,06°C (Gambar 3). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa berat segar dan berat kering tersebut tidak berkaitan langsung dengan temperatur air. Dengan kata lain, berat segar tanaman dan akar masing-masing menunjukkan perbedaan nyata meski berada pada kondisi temperatur air yang relatif seragam.

Temperatur daerah akar (*root zone temperature/RZT*) pada 35°C secara nyata menurunkan berat kering tajuk dan akar selada tetapi dapat meningkatkan kandungan klorofil, karotenoid dan antosianin pada daun (Levine et al., 2023). Yan et al. melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur daerah akar 10°C dan 20°C dengan serapan hara N, P, dan K (Yan et al., 2012). Hasil penelitian tersebut mengemukakan bahwa temperatur daerah akar dapat mempengaruhi serapan N, P, dan K. Temperatur daerah akar 10°C mengurangi serapan hara N, P, K pada pucuk tanaman dan meningkatkan akumulasi hara pada akar. Temperatur daerah akar 20°C menunjukkan serapan hara lebih tinggi dan distribusi hara yang seragam pada bagian pucuk dan akar tanaman. Temperatur daerah akar 20°C mampu meningkatkan biomassa tanaman secara signifikan. Penambahan unsur hara N meningkatkan toleransi cekaman suhu rendah pada perkecambahan timun dibandingkan dengan penambahan unsur hara P dan K.

Berdasarkan hasil pengamatan tersebut, dapat dikatakan bahwa berat segar tanaman selada tetap dapat diperoleh maksimal karena keseimbangan antara temperatur udara dengan temperatur daerah akar. Pertumbuhan tanaman selada dapat lebih maksimal pada temperatur udara 30/25°C, dibandingkan pada 25/20°C (temperatur siang/malam), dengan temperatur daerah akar/RZT 30°C. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa untuk mendapatkan pertumbuhan yang maksimal temperatur daerah akar perlu disesuaikan dengan temperatur udara (Yamori et al., 2022). Sakamoto et. al. melaporkan hal serupa, tanaman selada yang dibudidayakan pada temperatur udara 20°C menunjukkan berat segar dan berat kering (bagian atas dan akar) lebih baik pada temperatur daerah akar 20 dibandingkan dengan 10, 25 dan 30°C (Sakamoto & Suzuki, 2015).

Tabel 2. Berat Segar dan Berat Kering Tanaman Bagian Atas

Perlakuan	Temperatur Air (°C)	Berat Segar Tanaman (g)						Berat Kering Tanaman (g)		
		Umur Tanaman (HST)								
		10	20	30	10	20	30			
W22D	29,76	3,48 bc	38,89 c	181,53 e	0,32 b	2,58 d	9,49 d			
W22T6	30,02	2,95 b	24,00 b	127,57 cd	0,22 a	1,74 bc	7,82 cd			
W24D	29,69	1,98 a	26,62 b	86,51 b	0,21 a	2,06 c	5,50 b			
W24T6	30,13	2,07 a	24,24 b	105,48 bc	0,19 a	1,81 bc	6,75 bc			
W26D	29,62	2,89 b	22,66 b	128,67 cd	0,26 ab	1,74 bc	7,57 c			
W26T6	30,33	1,61 a	3,23 a	23,28 a	0,19 a	0,28 a	1,75 a			
W28D	30,42	2,92 b	22,95 b	133,20 cd	0,23 a	1,94 bc	10,02 d			
W28T6	30,24	2,38 ab	22,87 b	122,37 cd	0,22 a	1,62 b	7,01 bc			
Kontrol	29,54	3,85 c	21,11 b	140,94 d	0,34 b	1,59 b	7,88 cd			
BNT 5%		0,81	6,39	29,17	0,07	0,42	1,87			

Tabel 3. Berat Segar dan Berat Kering Akar

Perlakuan	Temperatur Air (°C)	Berat Segar Akar (g)						Berat Kering Akar (g)		
		Umur Tanaman (HST)								
		10	20	30	10	20	30			
W22D	29,76	0,57 c	9,34 d	29,94 d	0,11 b	0,74 d	2,85 d			
W22T6	30,02	0,23 ab	4,62 b	14,82 b	0,09 b	0,52 bc	1,74 c			
W24D	29,69	0,39 b	6,81 c	15,67 bc	0,06 ab	0,60 c	1,75 c			
W24T6	30,13	0,20 a	5,03 b	18,20 bc	0,06 ab	0,56 c	1,36 bc			
W26D	29,62	0,56 c	6,72 c	19,90 c	0,09 b	0,48 bc	1,35 bc			
W26T6	30,33	0,24 ab	0,59 a	5,72 a	0,04 a	0,09 a	0,37 a			
W28D	30,42	0,47 bc	7,41 c	28,16 d	0,05 a	0,59 c	1,55 bc			
W28T6	30,24	0,45 bc	5,47 bc	22,04 c	0,07 ab	0,54 bc	1,31 b			
Kontrol	29,54	0,59 c	5,65 bc	8,47 a	0,11 b	0,42 b	2,11 c			
BNT 5%		0,16	1,35	4,88	0,03	0,13	0,42			



Gambar4. Kondisi tanaman W26T6: akar berwarna coklat (kiri) dan pertumbuhan abnormal (kanan)

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *water heater* tidak mampu mempertahankan temperatur air sesuai perlakuan yang ditentukan (22, 24, 26 dan 28°C). Nilai temperatur air yang tidak berbeda nyata (29.54 – 30.42°C) pada semua perlakuan menghasilkan berat segar serta berat kering tanaman dan akaryang berbeda. Berat segar dan berat kering tanaman umur 30 HST menunjukkan nilai tertinggi pada perlakuan W22D yakni berturut-turut sebesar 181,53 g dan 1,86 g. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa kondisi temperatur air (temperatur daerah akar) dan udara yang seimbang, mampu menghasilkan berat segar tanaman yang maksimal.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Lembaga Layanan Pendidikan Tinggi (LLDikti) Wilayah VII Jawa Timur, Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan,

Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, Kontrak Induk No. 109/E5/PG.02.00.PL/2024 tanggal 11 Juni 2024. Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Merdeka Pasuruan telah memberikan kesempatan, arahan dan dukungan sehingga penelitian ini dapat selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Al Meselmani, M. (2023). Nutrient Solution for Hydroponics. *Recent Research and Advances in Soilless Culture*, 1–21. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101604>
- Chadirin, Y., Suhardiyanto, H., Purwanto, Y., & Arief, C. (2010). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Untuk Pendugaan Suhu Larutan Nutrisi yang Disirkulasikan dan Didinginkan Siang-Malam pada Tanaman Tomat Hidroponik. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 24(2), 138063.
- Dewi, V. A. K., Setiawan, B. I., Waspodo, R. S. B., & Liyantono, L. (2020). Microclimate Condition in the Natural Ventilated Greenhouse. *Jurnal Tanah Dan Iklim*, 44(1), 31. <https://doi.org/10.21082/jti.v44n1.2020.31-36>
- Frasetya, B., Taofik, A., & Sholehah, M. (2019). The evaluation of various nutrient formulation on the growth of lettuce (*Lactuca sativa* Var. Arista) in hydroponic raft system at tropic region. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033025>
- Furoidah, N. (2018). Efektivitas penggunaan ab mix terhadap pertumbuhan beberapa varietas sawi (*Brassica* sp.). *Prosiding Seminar Nasional UNS*, 2(1), 239–246.
- Hariono, T., Mahdalena, A., & Ashoumi, H. (2021). Automatic Water Temperature Control System In Hydroponic Plants With Peltier Tec1 12706 And Temperature Sensors DS18B20. *MULTIDISCIPLINE - International Conference 2021*, 1(1), 438–445.
- Hidayanti, L., & Kartika, T. (2019). Pengaruh Nutrisi AB Mix Terhadap Pertumbuhan Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus tricolor* L.) secara Hidroponik. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 16(2), 166. <https://doi.org/10.31851/sainmatika.v16i2.3214>
- Hooks, T., Sun, L., Kong, Y., Masabni, J., & Niu, G. (2022). Effect of Nutrient Solution Cooling in Summer and Heating in Winter on the Performance of Baby Leafy Vegetables in Deep-Water Hydroponic Systems. *Horticulturae*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080749>
- Indriani, E. S., Qurthobi, A., & Darmawan, D. (2020). Perancangan Kontrol Suhu Larutan Nutrisi Pada Sistem Hidroponik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy; Studi Kasus Selada Keriting (*lactuca Sativa* L.). *EProceedings of Engineering*, 7(1), 1274–1280.
- Khodriyah, N., Susanti, R., & Santri, D. J. (2017). Pengaruh Naungan terhadap Pertumbuhan Sawi Pakchoy (*Brassica rapa* L.) pada Sistem Budidaya Hidroponik dan Sumbangannya pada Pembelajaran Biologi SMA. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan IPA 2017*, 1(22), 591–602.
- Khoerun, B., Aziz, R., Sugara, F., Apriyanto, K., Putri A., N., & Ramadhan K., A. (2023). Kontrol Sistem Pendingin Temperatur Air dan Larutan Nutrisi. *Jurnal Rekayasa Energi (JRE)*, 02(02), 17–23.
- Levine, C. P., Hayashi, S., Ohmori, Y., Kusano, M., Kobayashi, M., Nishizawa, T., Kurimoto, I., Kawabata, S., & Yamori, W. (2023). Controlling root zone temperature improves plant growth and pigments in hydroponic lettuce. *Annals of Botany*, 132(3), 455–470. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad127>
- Nxawe, S., Laubscher, C. P., & Ndakidemi, P. A. (2009). Effect of regulated irrigation water temperature on hydroponics production of Spinach (*Spinacia oleracea* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 4(12), 1442–1446.
- Purbajanti, E. D., Slamet, W., & Kusmiyati, F. (2017). *Hydroponic Bertanam Tanpa Tanah*. EF Press Digimedia.
- Putra, Y. H., Triyanto, D., & Suhardi. (2018). Sistem Pemantauan dan Pengendalian Nutrisi, Suhu, dan Tinggi Air Pada Pertanian Hidroponik. *Jurnal Coding, Sistem Komputer Universitas Tanjungpura*, 06(03), 128–138.
- Sakamoto, M., & Suzuki, T. (2015). *Effect of Root-Zone Temperature on Growth and Quality of* *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia Volume 9 Nomor 2 September 2024*

Hydroponically Grown Red Leaf Lettuce (Lactuca sativa L . cv . Red Wave). September, 2350–2360.

- Shome, A., & Ashok, S. D. (2012). Fuzzy Logic Approach for Boiler Temperature & Water Level Control. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 3(6), 1–6. <http://www.ijser.org>
- Singh, H., Dunn, B., & Payton, M. (2019). Hydroponic pH Modifiers Affect Plant Growth And Nutrient Content In Leafy Greens. *Journal of Horticultural Research*, 27(1), 31–36.
- Susilawati. (2019). *Dasar – Dasar Bertanam Secara Hidroponik*.
- Tuo, Z. Z., Wahida, & Mangera, Y. (2021). Kajian pengaruh penggunaan naungan untuk tanaman selada (*Lactuca sativa L.*) menggunakan sistem hidroponik NFT (Nutrient Film Technique). *Maef-J*, 3(2), 62–70.
- Utami Nugraha, R., & Dinurrohman Susila, A. (2015). Sumber Sebagai Hara Pengganti AB mix pada Budidaya Sayuran Daun Secara Hidroponik. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.29244/jhi.6.1.11-19>
- Yamori, N., Levine, C. P., Mattson, N. S., & Yamori, W. (2022). Optimum root zone temperature of photosynthesis and plant growth depends on air temperature in lettuce plants. *Plant Molecular Biology*, 110(4), 385–395. <https://doi.org/10.1007/s11103-022-01249-w>
- Yan, Q., Duan, Z., Mao, J., Li, X., & Dong, F. (2012). Effects of root-zone temperature and N, P, and K supplies on nutrient uptake of cucumber (*Cucumis sativus L.*) seedlings in hydroponics. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58(6), 707–717. <https://doi.org/10.1080/00380768.2012.733925>
- Zulfarosda, R., & Purnamasari, R. T. (2022). Pengaruh Larutan Asam Terhadap Fluktuasi Ph Hidroponik. *Jurnal Buana Sains*, 22(1), 45–50.
- Zulfarosda, R., Purnamasari, R. T., & Julaikha, S. (2020). Pengaruh Variasi Kelat Pupuk Mikro Fe Terhadap Ph Larutan Nutrisi Dan Berat Tanaman Selada (*Lactuca sativa L.*) Pada Sistem Hidroponik. *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 5(1), 12–17. <https://doi.org/10.32503/hijau.v5i1.683>
- Zulfarosda, R., Retno, D., & Purnamasari, T. (2022). Pengaruh Larutan Asam Terhadap Fluktuasi Ph Hidroponik. *Jurnal Buana Sains*, 22(1), 2527–5720.