

e-ISSN : 3031-0342
Diterima: : 16 Juli 2025
Disetujui : 22 September 2025
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

RESPON PERTUMBUHAN TANAMAN PAKCOY (*Brassica Rapa L.*) TERHADAP SUHU DINGIN PADA DAERAH PERAKARAN DENGAN SISTEM HIDROPONIK VERTIKAL

*Response Of Pakcoy Plant Growth (*Brassica Rapa L.*) To Cold Temperatures in The Root Area with a Vertical Hydroponic System*

Rusanti^{1*}, Guyup Mahardhian Dwi Putra¹, Ida Ayu Widhiantari¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram

Email: rusanti831@gmail.com

ABSTRACT

Vertical hydroponic cultivation is an efficient solution for limited land, but suboptimal rooting temperatures can inhibit plant growth. This study aims to analyze the effect of cold temperatures in the root zone on the growth of bok choy in a vertical hydroponic system. The study was an experimental study using a Completely Randomized Design (CRD) with three treatments: cold temperature, control temperature, and greenhouse temperature, conducted for 30 days. Each treatment consisted of four towers, where each tower consisted of 6 bok choy plants, resulting in a total of 72 bok choy plants. Observed parameters included plant height, number of leaves, root length, as well as climate and water media conditions. Data were analyzed using one-way ANOVA and Tukey's HSD ($\alpha=0.05$). The cold temperature treatment produced the best growth with plant heights ranging from 23.5 cm to 26.9 cm and leaf numbers ranging from 15-18, significantly higher than the control and greenhouse ($p<0.05$). The highest root lengths found in the greenhouse ranged from 22.6 cm to 32.8 cm, likely due to physiological adaptation. Statistical analysis showed significant differences between treatments ($F=24.087$ for plant height and $F=18.390$ for leaf number). Cool temperatures ($18-28^{\circ}\text{C}$) in the root zone significantly increased vegetative growth of bok choy in vertical hydroponic systems. These findings support the development of hydroponic cultivation techniques with temperature control for yield optimization.

Keywords: *anova; cold temperature; pakcoy; roots; vertical hydroponics*

ABSTRAK

Budidaya hidroponik vertikal menjadi solusi efisien untuk lahan terbatas, tetapi suhu perakaran yang tidak optimal dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu dingin pada zona perakaran terhadap pertumbuhan pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal. Penelitian bersifat eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan tiga perlakuan: suhu dingin, suhu kontrol, dan suhu greenhouse yang dilakukan selama 30 hari. Masing-masing perlakuan terdiri atas empat tower, dimana setiap tower terdiri dari 6 tanaman pakcoy sehingga total tanaman pakcoy menjadi 72 tanaman pakcoy. Parameter yang diamati meliputi tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, serta kondisi iklim dan media air. Data dianalisis menggunakan uji ANOVA satu arah dan uji lanjut Tukey HSD

($\alpha=0,05$). Perlakuan suhu dingin menghasilkan pertumbuhan terbaik dengan tinggi tanaman berkisar antara 23,5 cm hingga 26,9 cm dan jumlah daun berkisar antara 15-18 helai, secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kontrol dan greenhouse ($p<0,05$). Panjang akar tertinggi ditemukan pada greenhouse berkisar antara 22,6 cm hingga 32,8 cm, diduga akibat adaptasi fisiologis. Analisis statistik menunjukkan perbedaan signifikan antar perlakuan ($F=24,087$ untuk tinggi tanaman dan $F=18,390$ untuk jumlah daun. Suhu dingin ($18-28^{\circ}\text{C}$) pada zona perakaran meningkatkan pertumbuhan vegetatif pakcoy secara signifikan dalam sistem hidroponik vertikal. Temuan ini mendukung pengembangan teknik budidaya hidroponik dengan pengendalian suhu untuk optimasi hasil.

Kata Kunci: anova; hidroponik vertikal; pakcoy; perakaran; suhu dingin

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sawi pakcoy (*Brassica rapa* L.) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang populer dan banyak dikonsumsi masyarakat. Tanaman ini dikenal dengan sebutan sawi manis, sawi sendok, atau sawi daging karena memiliki pangkal yang tebal dan lembut. Pakcoy dapat dibudidayakan di berbagai jenis lahan, seperti pekarangan rumah, sawah, atau tegalan, asalkan kebutuhan nutrisinya terpenuhi (Irianto, 2021). Permintaan pakcoy yang tinggi mendorong perlunya teknik budidaya yang efisien, terutama di tengah keterbatasan lahan.

Permintaan lahan untuk kegiatan produksi, baik pertanian maupun non-pertanian, terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi. Namun, lahan pertanian seringkali terdesak oleh alih fungsi ke sektor non-pertanian yang lebih menguntungkan secara ekonomi. Fenomena ini mendorong perlunya pengembangan teknik budidaya alternatif yang memaksimalkan pemanfaatan ruang, salah satunya melalui sistem hidroponik.

Hidroponik merupakan metode budidaya tanaman yang menggunakan media air tanpa tanah, sehingga lebih efisien dalam penggunaan lahan. Sistem hidroponik vertikal semakin populer karena memungkinkan penanaman dalam ruang terbatas. Namun, keberhasilan sistem ini sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, salah satunya suhu. Suhu media tanam berperan penting dalam pertumbuhan akar dan penyerapan nutrisi

(Rusmini et al., 2021). Penelitian menunjukkan bahwa suhu yang tidak optimal dapat menghambat pertumbuhan tanaman, bahkan menyebabkan stres fisiologis (Lawrence Adi Supriyono & Andy Febrian Wibowo, 2023).

Pengaruh suhu terhadap tanaman meliputi berbagai aspek, seperti metabolisme, keseimbangan fitohormon, dan adaptasi fisiologis. Pada sistem hidroponik, suhu air sebagai media tanam sangat menentukan efisiensi penyerapan nutrisi, laju fotosintesis, dan tingkat stres tanaman. Beberapa penelitian membuktikan bahwa pengaturan suhu perakaran dapat meningkatkan produktivitas, seperti pada budidaya cabai hidroponik (Amaliah et al., 2019). Namun, studi mengenai pengaruh suhu dingin pada pertumbuhan pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons pertumbuhan pakcoy terhadap variasi suhu dingin di daerah perakaran dalam sistem hidroponik vertikal. Analisis statistik digunakan untuk menguji pengaruh suhu terhadap parameter pertumbuhan, seperti tinggi tanaman, jumlah daun, dan panjang akar. Data dianalisis secara deskriptif dan inferensial (ANOVA dan uji Tukey HSD) guna menentukan suhu optimal bagi pakcoy. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi ilmiah untuk meningkatkan efisiensi produksi pakcoy secara hidroponik, sekaligus mengisi kesenjangan pengetahuan mengenai adaptasi tanaman terhadap stres suhu dingin.

Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

- a. Menganalisis respon pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica Rapa L.*) terhadap suhu dingin pada daerah perakaran dengan sistem hidroponik vertical.
- b. Menganalisis perbandingan pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica Rapa L.*) pada beberapa perlakuan.
- c. Melakukan uji statistik respon pertumbuhan tanaman dari variasi perlakuan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu penggaris, pompa air, hygrometer digital HTC 2, sistem hidroponik vertikal, TDS meter, thermometer batang, netpot, kain flannel dan rockwool. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu air dingin, es batu, nutrisi AB mix, dan benih pakcoy.

Parameter Penelitian

Parameter yang diamati dalam penelitian ini yaitu parameter pertumbuhan tanaman, parameter iklim dan parameter media air.

Parameter Pertumbuhan Tanaman

1. Tinggi Tanaman (cm)

Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur tinggi tanaman dari pangkal akar sampai titik tumbuh menggunakan penggaris. Pengamatan parameter pertumbuhan tinggi tanaman dilakukan setiap hari pada pukul 07.00 WITA setelah pindah tanam sampai 30 hari pengamatan.

2. Jumlah Daun (Helai)

Jumlah helai daun dihitung secara manual dengan ciri-ciri daun yang telah membuka sempurna. Pengamatan parameter pertumbuhan jumlah daun dilakukan setiap hari pada pukul 07.00 WITA setelah pindah tanam sampai 30 hari pengamatan.

3. Panjang Akar (cm)

Pengukuran panjang akar dilakukan dengan cara mengukur batas akar dan batang hingga panjang akar terpanjang disetiap tanaman pakcoy dengan menggunakan penggaris. Pengamatan parameter pertumbuhan dilakukan pada hari terakhir pengamatan pada pukul 07.00 WITA.

Parameter Iklim

1. Suhu Udara (°C)

Pengukuran suhu udara dilakukan dengan alat hygrometer digital. Pengukuran dilakukan setiap hari sebanyak tiga kali sehari yaitu pagi, siang dan sore hari sampai 30 hari pengamatan.

2. Kelembapan Udara (%)

Pengukuran kelembapan udara dilakukan menggunakan hygrometer digital. Pengukuran dilakukan setiap hari sebanyak tiga kali, yaitu pada pagi, siang, dan sore hari sampai 30 hari pengamatan.

3. Intensitas Cahaya (lux)

Intensitas cahaya diukur menggunakan lux meter. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali sehari, yaitu pada pagi hari, siang hari, dan sore hari sampai 30 hari pengamatan.

Parameter Media Air

1. Suhu Media Air (°C)

Pengukuran suhu media air dilakukan menggunakan thermometer batang yang dicelupkan langsung kedalam bak larutan. Pengukuran pagi hari dilakukan pada pukul 07.00 WITA, pengukuran siang hari pada pukul 14.00 WITA dan pengukuran sore hari pada pukul 17.00 WITA sampai 30 hari pengamatan.

2. Konsentrasi Larutan Nutrisi (ppm)

Pengukuran konsentrasi larutan nutrisi diukur menggunakan TDS meter yang dimasukkan ke dalam larutan nutrisi pada setiap perlakuan. Pengukuran pagi dilaksanakan pada pukul 07.00 WITA, siang pada pukul 14.00 WITA, dan sore pada pukul 17.00 WITA, serta dilakukan secara rutin selama 30 hari masa pengamatan.

3. Volume Air (l)

Volume air diukur menggunakan gelas ukur. Pengukuran dilakukan secara harian

sebanyak tiga kali, masing-masing pada pagi pukul 07.00 WITA, siang pukul 14.00 WITA, dan sore pukul 17.00 WITA, yang dilaksanakan secara konsisten selama 30 hari masa pengamatan.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan dengan menggunakan sistem hidroponik vertikal tipe NFT. Terdapat tiga jenis perlakuan yang diterapkan, yaitu suhu dingin, suhu kontrol dan kondisi greenhouse sebagai perlakuan perbandingan. Perlakuan suhu dingin diberikan dengan cara menambahkan es batu secara manual ke dalam bak nutrisi untuk menurunkan suhu zona perakaran. Penelitian ini menggunakan 72 tanaman pakcoy, yang terbagi secara merata ke dalam tiga perlakuan, masing-masing 24 tanaman pakcoy. Setiap perlakuan terdiri dari empat tower hidroponik vertikal, masing-masing di beri kode A1, A2, A3, dan A4, dan setiap tower digunakan 6 sampel tanaman. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), pemilihan sampel dalam tower dilakukan secara sistematis dari atas ke bawah.

Prosedur Penelitian

Persiapan Alat dan Bahan

Tahap persiapan merupakan tahap penyediaan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.

Penyemaian Benih

Penyemaian dilakukan menggunakan media tanam rockwool. Kemudian tanaman dipindahkan setelah 14 hari atau sudah tumbuh 2-3 helai daun sejati.

Persiapan Rangkaian Set Hidroponik Sistem Wick

Persiapan set hidroponik dilakukan dengan melubangi penampang menggunakan hole saw berdiameter 64 mm, lalu merangkai sistem, memasang netpot beserta sumbu flanel, dan menempatkannya pada rangkaian hidroponik.

Penanaman dan Pemeliharaan

Tahap penanaman merupakan tahap dimana benih yang sudah tumbuh dipindah ke sistem hidroponik vertikal. Setelah itu, dilakukan pemeliharaan dengan menjaga kondisi media agar sesuai dengan perlakuan.

Pemanenan

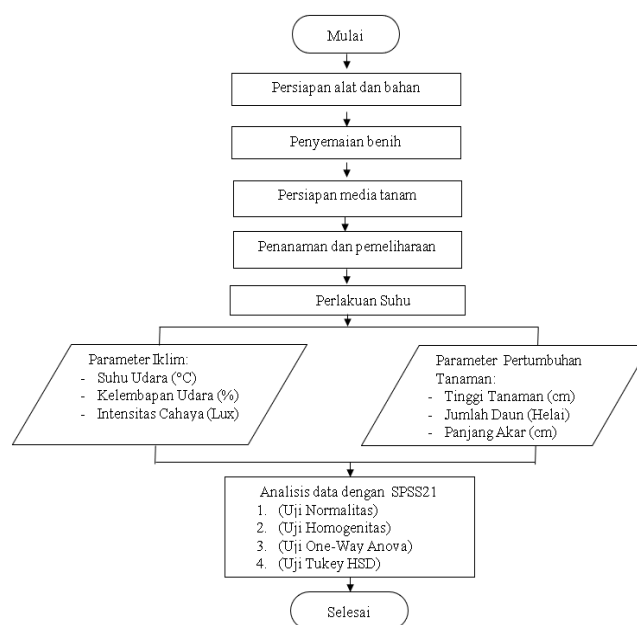
Pemanenan dilakukan setelah tanaman berumur 4 minggu setelah tanam. Kriteria pakcoy yang siap panen yaitu memiliki ukuran tanaman yang cukup besar.

Analisis Data

Data dianalisis menggunakan SPSS melalui tahapan uji normalitas (Shapiro-Wilk) dan homogenitas varians (Levene's Test) untuk memastikan asumsi parametrik terpenuhi. Selanjutnya, dilakukan uji ANOVA satu arah untuk melihat perbedaan signifikan antar perlakuan. Jika signifikan ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji Tukey HSD untuk mengetahui perbedaan antar kelompok perlakuan.

Diagram Alir

Adapun diagram alir berdasarkan prosedur penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Prosedur Penelitian

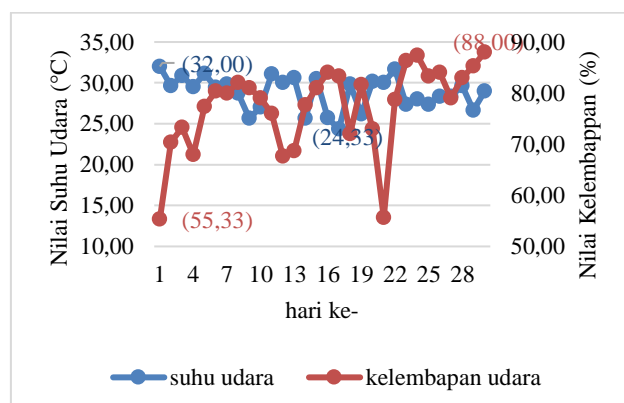
HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Iklim

Dalam penelitian ini, data parameter iklim dikumpulkan secara lengkap mulai dari hari ke-1 hingga hari ke-30 setelah tanam. Pemilihan rentang waktu tersebut bertujuan untuk menangkap dinamika kondisi lingkungan selama tahapan pertumbuhan tanaman pakcoy, mulai dari awal masa tanam hingga fase pertumbuhan yang lebih stabil.

Suhu dan Kelembapan Udara di Luar Greenhouse

Perkembangan suhu udara (°C) dan kelembapan udara (%) selama 30 hari masa pengamatan pada sistem hidroponik vertikal. Data yang ditampilkan mencerminkan kondisi lingkungan mikro yang berada di sekitar tanaman pakcoy selama perlakuan berlangsung.



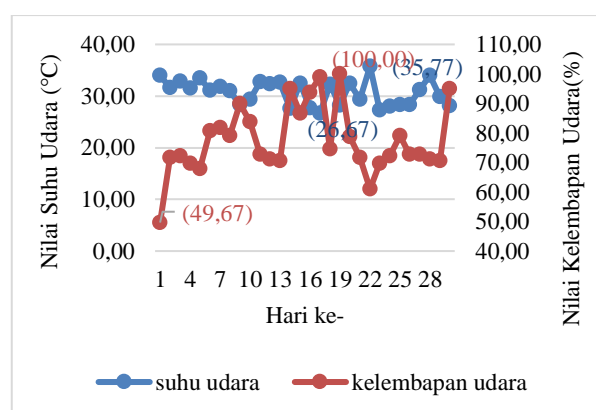
Gambar 2. Grafik Suhu dan Kelembapan Udara di luar *Greenhouse*

Grafik pada Gambar 2 ditunjukkan menggunakan dua sumbu Y untuk memvisualisasikan perkembangan suhu udara dan kelembapan udara di luar greenhouse selama masa pengamatan. Sumbu Y sebelah kiri menunjukkan nilai suhu udara (°C), sedangkan sumbu Y sebelah kanan menunjukkan nilai kelembapan udara (%). Berdasarkan grafik pada Gambar 2, suhu udara di luar greenhouse cenderung stabil dengan kisaran antara 24°C hingga 32°C, menunjukkan kondisi lingkungan luar yang cukup hangat namun tidak terlalu ekstrem. Sementara itu, kelembapan udara juga terlihat

cukup konsisten, berkisar antara 55% hingga 88%, dengan sedikit fluktuasi yang menunjukkan respons terhadap perubahan suhu harian. Secara umum, kondisi iklim mikro di luar greenhouse selama periode pengamatan ditandai dengan suhu udara yang hangat dan stabil serta kelembapan udara yang tinggi.

Suhu dan Kelembapan Udara di Dalam Greenhouse

Selama periode pengamatan 30 hari, tercatat perkembangan suhu udara (°C) dan kelembapan udara (%) di dalam greenhouse pada sistem hidroponik vertikal yang digunakan dalam penelitian ini. Data tersebut merepresentasikan kondisi iklim mikro di sekitar tanaman pakcoy selama masa perlakuan berlangsung.



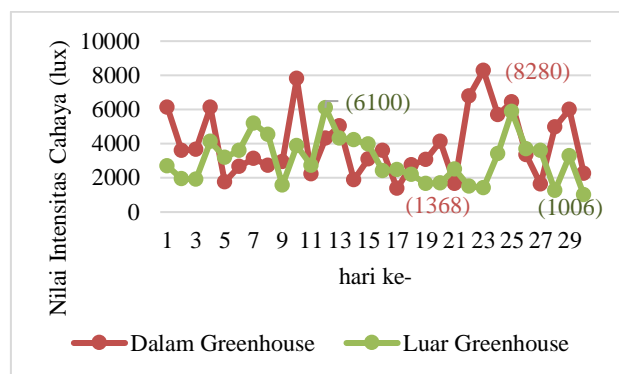
Gambar 3. Grafik Suhu dan Kelembapan Udara di dalam *Greenhouse*

Grafik suhu dan kelembapan udara pada Gambar 3 menunjukkan perkembangan nilai suhu udara (°C) dan kelembapan udara (%) di dalam greenhouse. Iklim mikro di dalam greenhouse menunjukkan stabilitas suhu dan kelembapan, meskipun terdapat fluktuasi ringan. Suhu udara berada dalam rentang 26°C hingga 35°C, dengan puncak mencapai hampir 36°C pada hari ke-22, kemungkinan akibat peningkatan intensitas cahaya matahari. Di sisi lain, kelembapan udara relatif stabil antara 49% hingga 100%, namun cenderung menurun seiring dengan peningkatan suhu udara. Hal ini menunjukkan adanya interaksi antara suhu dan kelembapan di dalam greenhouse yang dapat

mempengaruhi lingkungan pertumbuhan tanaman.

Intensitas Cahaya di Luar dan di Dalam Greenhouse

Parameter intensitas cahaya diambil sebagai bagian dari data pendukung untuk mengetahui kondisi lingkungan di dalam maupun luar yang berpotensi memengaruhi pertumbuhan tanaman.



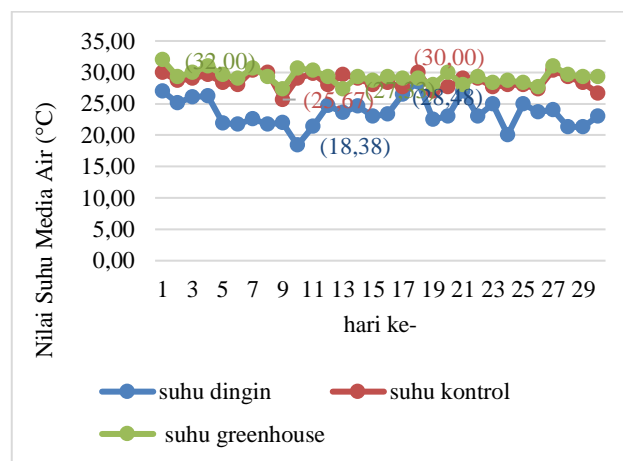
Gambar 4. Grafik Intensitas Cahaya di luar dan di dalam *Greenhouse*

Grafik pada Gambar 4 di atas menunjukkan data intensitas cahaya (lux) yang diukur selama 30 hari, baik di luar maupun di dalam *greenhouse*. yang diambil pada waktu yang sama setiap harinya untuk memastikan konsistensi dan representasi data harian menunjukkan perbedaan signifikan antara kondisi di dalam dan di luar *greenhouse* selama periode pengamatan 30 hari. Intensitas cahaya di dalam *greenhouse* bervariasi secara dinamis, dengan nilai terendah 1.368 lux dan tertinggi 8.280 lux, sementara intensitas di luar *greenhouse* cenderung lebih rendah, dengan nilai terendah 1.006 lux dan tertinggi 6.100 lux.

Tingginya intensitas cahaya di dalam *greenhouse* dipengaruhi oleh letak posisi matahari selama periode pengamatan. Pada saat penelitian berlangsung, arah datangnya cahaya matahari berasal dari barat, yang sejajar dengan orientasi *greenhouse*. Hal ini menyebabkan bayangan dari struktur *greenhouse* jatuh ke area di luar, sehingga sebagian besar sinar matahari terhalang sebelum mencapai lingkungan luar *greenhouse*. Fluktuasi signifikan yang terlihat

pada grafik kemungkinan dipengaruhi oleh faktor cuaca dan perubahan posisi matahari sepanjang hari, dengan kondisi mendung atau hujan dapat menurunkan intensitas cahaya secara drastis. Perbedaan intensitas cahaya ini memiliki implikasi penting bagi pertumbuhan tanaman, dimana intensitas yang lebih tinggi di dalam *greenhouse* umumnya menguntungkan proses fotosintesis (Kurniawan et al., 2021), namun berpotensi menyebabkan peningkatan suhu yang dapat membuat tanaman layu jika berlebihan (Kozai et al., 2022).

Parameter Media Air Suhu Larutan Tanaman



Gambar 5. Grafik Suhu Larutan Tanaman

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan fluktuasi suhu media air selama 30 hari pengamatan pada tiga perlakuan yang berbeda, yaitu suhu dingin, suhu kontrol, dan *greenhouse*. Perlakuan suhu dingin menghasilkan rata-rata suhu media air terendah dibandingkan dengan dua perlakuan lainnya, dengan kisaran suhu antara 18°C hingga 28°C. Sebaliknya, suhu kontrol menunjukkan kisaran rata-rata suhu yang lebih tinggi dan relatif stabil, berada di antara 25°C hingga 30°C. Sementara itu, suhu media air dalam perlakuan *greenhouse* cenderung paling tinggi dan stabil antara 27°C hingga 32°C. Perbedaan pola suhu ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan pada perlakuan suhu dingin mampu menurunkan suhu media air secara konsisten, sedangkan lingkungan *greenhouse* menyebabkan suhu media air

lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Temuan ini mengindikasikan pentingnya pengelolaan suhu media air dalam sistem hidroponik untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

Suhu rendah ($<10^{\circ}\text{C}$) secara signifikan menghambat pertumbuhan tanaman, khususnya pakcoy dan selada. Penurunan suhu $5\text{--}8^{\circ}\text{C}$ mengurangi aktivitas enzim fotosintesis hingga 50%, menghambat penyerapan nutrisi (terutama Ca^{2+} dan P), serta memicu akumulasi senyawa stres seperti prolin dan ROS (Reactive Oxygen Species). Akibatnya, tanaman menunjukkan gejala defisiensi nutrisi, pertumbuhan akar terhambat (25% lebih pendek), dan daun menebal sebagai respons adaptif (Jensen, M.H. 2020).

Konsentrasi Larutan Nutrisi (ppm)

Pemberian larutan nutrisi AB mix dilakukan secara manual setiap hari dengan menyesuaikan kebutuhan tanaman, yaitu pada kisaran 1000–1400 ppm. Pengukuran konsentrasi larutan dilakukan menggunakan alat TDS meter sebelum diberikan ke tanaman untuk memastikan larutan berada dalam rentang yang sesuai.

Nilai ppm pada setiap perlakuan bervariasi, namun sebagian besar berada dalam kisaran yang dianjurkan, yaitu antara 1000–1400 ppm. Pada perlakuan suhu dingin, konsentrasi rata-rata tercatat sebesar 1.080 ppm, sedangkan pada suhu kontrol mencapai 1.010 ppm. Di sisi lain, perlakuan *greenhouse* menunjukkan konsentrasi rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 1.525 ppm. konsentrasi larutan nutrisi dalam perlakuan *greenhouse* tercatat sebesar 1525 ppm, yang melebihi ambang optimal 1400 ppm sebagaimana dijelaskan oleh Gustaman (2022). Kelebihan nutrisi ini berisiko menimbulkan kondisi plasmolisis pada sel akar akibat tekanan osmotik yang tinggi, sehingga menghambat penyerapan air dan hara secara efisien, sehingga pertumbuhan tanaman seperti tinggi dan jumlah daun menjadi kurang optimal (Efendi & Murdono, 2021).

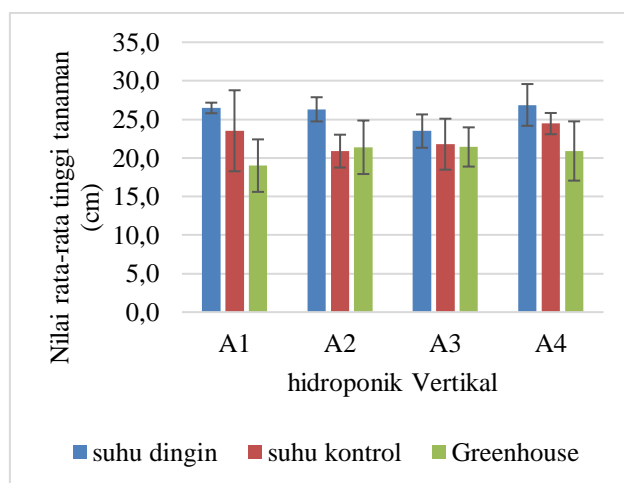
Volume Air (l)

Volume air yang ditambahkan diukur secara rutin untuk memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup. Penambahan air pada sistem hidroponik vertikal dilakukan secara teratur dua kali sehari, yaitu pada pagi dan sore hari. Volume air yang digunakan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik instalasi, terutama jika terdapat kebocoran yang dapat menyebabkan pemborosan air. Total volume air yang digunakan dalam sistem hidroponik vertikal selama periode pengamatan dari hari ke-1 hingga hari ke-30, dengan tiga perlakuan suhu yang berbeda: suhu dingin, suhu kontrol, dan *greenhouse*. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan suhu kontrol mencatat penggunaan air tertinggi, yaitu sebesar 2.205,8 liter, diikuti oleh perlakuan *greenhouse* dengan total 1.440,3 liter. Sementara itu, perlakuan suhu dingin menunjukkan penggunaan air terendah, yaitu sebesar 843,0 liter. Temuan ini mengindikasikan bahwa suhu lingkungan dapat mempengaruhi kebutuhan air dalam sistem hidroponik, di mana suhu kontrol yang lebih tinggi cenderung meningkatkan konsumsi air dibandingkan dengan suhu dingin.

Parameter Pertumbuhan Tanaman Pakcoy

Tinggi Tanaman

Hasil penelitian pada parameter tinggi tanaman menunjukkan bahwa perbedaan suhu lingkungan berpengaruh terhadap tinggi tanaman pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal. Tanaman yang tumbuh pada suhu dingin umumnya memiliki tinggi rata-rata lebih besar dibandingkan dengan tanaman yang berada pada suhu kontrol maupun di dalam *greenhouse*. Sebaliknya, tanaman yang tumbuh di lingkungan *greenhouse* cenderung mengalami pertumbuhan paling rendah dibandingkan dengan dua perlakuan lainnya. Rata-rata tinggi tanaman pakcoy dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Rata-rata Tinggi Tanaman Pakcoy

Dari grafik Gambar 6, terlihat bahwa perlakuan suhu dingin menghasilkan tinggi tanaman yang paling tinggi dibandingkan dua perlakuan lainnya. Rata-rata tinggi tanaman pada suhu dingin berkisar antara 23,5 cm hingga 26,9 cm, dengan standar deviasi relatif kecil (sekitar $\pm 2,6$ cm). Ini menunjukkan bahwa data tinggi tanaman pada perlakuan suhu dingin tidak hanya lebih tinggi secara rata-rata, tetapi juga lebih konsisten antar replikasi.

Pada perlakuan suhu kontrol, tinggi tanaman rata-rata berkisar antara 20,9 cm hingga 24,5 cm, dengan nilai standar deviasi yang juga tergolong rendah (sekitar $\pm 3,3$ cm). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun pertumbuhan lebih rendah dari suhu dingin, hasilnya tetap relatif stabil antar perulangan. Sedangkan pada perlakuan greenhouse, tinggi tanaman memiliki rata-rata terendah, yaitu antara 19,0 cm hingga 21,4 cm, namun dengan standar deviasi yang sedikit lebih tinggi (sekitar $\pm 3,2$ cm) dibanding perlakuan suhu kontrol. Hal ini menunjukkan adanya variasi yang lebih besar antar replikasi dalam kondisi *greenhouse*, yang mungkin disebabkan oleh fluktuasi suhu dan kelembapan yang tidak terkontrol secara optimal di lingkungan tersebut.

Hasil ini mengindikasikan bahwa suhu dingin mampu memfasilitasi pertumbuhan tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu kontrol maupun suhu dalam *greenhouse*. Pertumbuhan vertikal yang lebih

baik pada suhu dingin dapat dikaitkan dengan efek fisiologis tanaman terhadap kondisi suhu yang sejuk dan cenderung optimal untuk fotosintesis, terutama jika tanaman tersebut merupakan jenis sayuran daun atau tanaman yang lebih adaptif terhadap suhu sedang hingga rendah. Dalam suhu yang lebih dingin, aktivitas fotosintetik cenderung meningkat seiring dengan efisiensi penggunaan cahaya dan penurunan laju respirasi, sehingga lebih banyak energi yang dialokasikan untuk pertumbuhan.

Data tinggi tanaman pakcoy dianalisis untuk mengetahui pengaruh perlakuan suhu dingin pada daerah perakaran dalam sistem hidroponik vertikal. Uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa seluruh kelompok data memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05, yaitu suhu dingin (0,406), suhu kontrol (0,584), dan *greenhouse* (0,341). Hal ini mengindikasikan bahwa data berdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk dilakukan analisis parametrik. Data uji normalitas dapat di lihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Uji Normalitas

Perlakuan	Uji Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig. (p-value)
Suhu Dingin	0,958	24	0,406
Suhu Kontrol	0,967	24	0,584
Suhu Greenhouse	0,955	24	0,341

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Uji homogenitas varians menggunakan Levene test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,677 ($p > 0,05$), yang berarti varians antar kelompok adalah homogen. Dengan terpenuhinya kedua asumsi tersebut, analisis dilanjutkan dengan uji Anova satu arah. Data hasil uji Uji homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Homogenitas Varians

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,393	2	69	.677

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Berdasarkan uji One-Way Anova, terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy, dengan nilai $F_{hitung} = 24,087 > F_{tabel} = 3,130$ dan $p = 0,000$ ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa variasi suhu yang diberikan memiliki pengaruh nyata terhadap parameter yang diukur. Hasil uji One-Way Anova tinggi tanaman pakcoy dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Uji One-Way Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	462.326	2	231.163	24.087	.000
Within Groups	662.189	69	9.597		
Total	1124.515	71			

(Sumber: Data Primer diolah, 2025).

Berdasarkan uji lanjut Tukey pada Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan suhu dingin dengan suhu kontrol ($p = 0,000$) maupun dengan *greenhouse* ($p = 0,000$). Hal ini menunjukkan bahwa tanaman pakcoy yang ditanam pada suhu dingin tumbuh secara nyata lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang ditanam pada suhu kontrol maupun *greenhouse*. Sebaliknya, perbandingan antara suhu kontrol dan *greenhouse* menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,214, yang berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua perlakuan tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa pemberian suhu dingin pada daerah perakaran mampu meningkatkan tinggi tanaman pakcoy secara signifikan dibandingkan dengan suhu kontrol maupun kondisi *greenhouse*. Hasil lanjut Tukey HSD dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Tukey HSD

(I) perlakuan	(J) perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	Upper Bound
suhu dingin	suhu kontrol	4.45417*	.89428	.000	2.3121	6.5963
	Suhu <i>greenhouse</i>	5.97083*	.89428	.000	3.8287	8.1129
suhu kontrol	suhu dingin	-4.45417*	.89428	.000	-6.5963	-2.3121
	Suhu <i>greenhouse</i>	1.51667	.89428	.214	-.6254	3.6588
Suhu <i>greenhouse</i>	suhu dingin	-5.97083*	.89428	.000	-8.1129	-3.8287
	suhu kontrol	-1.51667	.89428	.214	-3.6588	.6254

Keterangan: * = perbedaan yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji Tukey HSD. Nilai positif berarti perlakuan pada baris lebih besar dari kolom, sedangkan nilai negatif sebaliknya. (Sumber: Data Primer diolah, 2025)

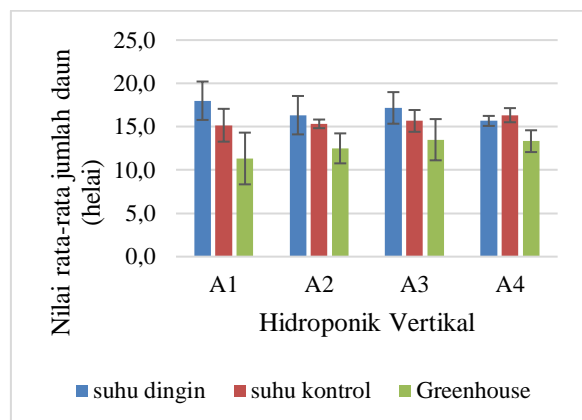
Sebagai salah satu indikator dalam pertumbuhan, tinggi tanaman merupakan ukuran tanaman yang sering di amati sebagai indikator pertumbuhan maupun sebagai indikator untuk mempengaruhi lingkungan atau perlakuan yang di berikan. Peningkatan tinggi tanaman pada perlakuan suhu dingin diduga berkaitan dengan stimulasi pertumbuhan sel dan efisiensi penyerapan nutrisi pada suhu akar yang lebih rendah namun masih dalam kisaran toleransi fisiologis tanaman. Dalam beberapa kasus, suhu dingin yang masih dalam batas toleransi dapat meningkatkan efisiensi fotosintesis pada tanaman tertentu. Penelitian menunjukkan bahwa beberapa spesies dapat memanfaatkan suhu rendah untuk meningkatkan laju fotosintesis, yang mendukung pertumbuhan vegetatif dan tinggi tanaman (Sulaminingih et al., 2024).

Jumlah Daun

Hasil penelitian pada parameter jumlah daun menunjukkan bahwa variasi suhu lingkungan berpengaruh terhadap jumlah daun tanaman pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal. Tanaman yang tumbuh pada suhu dingin memiliki jumlah daun lebih banyak dibandingkan dengan tanaman pada suhu kontrol maupun dalam kondisi *greenhouse*. Sebaliknya, tanaman yang berada dalam *greenhouse* cenderung memiliki jumlah daun paling sedikit dibandingkan dua perlakuan lainnya. Pada setiap tower hidroponik (A1 hingga A4), perlakuan suhu dingin menghasilkan jumlah daun terbanyak, sementara suhu kontrol berada di posisi menengah, dan *greenhouse* menunjukkan jumlah daun paling rendah. Rata-rata jumlah daun pakcoy dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai sebagai berikut:

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa perlakuan suhu dingin memberikan jumlah daun terbanyak dibandingkan perlakuan lainnya, dengan rata-rata berkisar antara 15 hingga 18 helai per tanaman. Nilai standar deviasi pada perlakuan ini cukup besar (sekitar $\pm 2,5$ helai), menandakan bahwa hasil pengamatan cukup konsisten. Perlakuan suhu kontrol menghasilkan jumlah daun yang

sedikit lebih rendah dibanding suhu dingin, yaitu antara 15 hingga 16 helai. Standar deviasi pada perlakuan ini umumnya juga kecil ($\pm 1,8$ helai), menunjukkan stabilitas hasil antar tower hidroponik.



Gambar 7. Grafik Rata-Rata Jumlah Daun Pakcoy

Adapun perlakuan *greenhouse* memperlihatkan jumlah daun terendah, dengan rata-rata antara 11 hingga 13 helai. Meskipun jumlah daunnya lebih sedikit, standar deviasi pada perlakuan ini relatif lebih besar ($\pm 2,4$ helai) dari pada dua perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat variasi yang lebih tinggi antar tanaman pada kondisi *greenhouse*, yang kemungkinan disebabkan oleh ketidakteraturan kondisi lingkungan mikro seperti suhu dan kelembapan.

Suhu dingin dapat meningkatkan pertumbuhan jumlah daun melalui mekanisme fisiologis yang terkait dengan alokasi energi dan efisiensi metabolisme. Paparan suhu dingin sekitar 20°C hingga 25°C selama fase vegetatif meningkatkan luas daun dengan 90% variasi pertumbuhan daun disebabkan oleh perubahan suhu. Hal ini terjadi karena suhu rendah menekan laju respirasi, sehingga lebih banyak energi dari fotosintesis dialokasikan untuk sintesis biomassa daun dari pada digunakan untuk proses respirasi. Suhu dingin tidak secara signifikan menghambat perkembangan akar pada beberapa spesies, memungkinkan penyerapan nutrisi yang cukup untuk mendukung ekspansi daun (Mahrup., 2018).

Data jumlah daun tanaman pakcoy dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan suhu dingin pada daerah perakaran dalam sistem hidroponik vertikal. Berdasarkan hasil uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk, seluruh kelompok perlakuan menunjukkan nilai signifikansi lebih dari 0,05, yaitu suhu dingin (0,565), suhu kontrol (0,077), dan greenhouse (0,120). Hal ini menunjukkan bahwa data berdistribusi normal dan memenuhi syarat untuk dilakukan analisis parametrik. Data uji normalitas jumlah daun pakcoy data dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil Uji Normalitas

Perlakuan	Uji Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig. (p-value)
Suhu Dingin	0,966	24	0,565
Suhu Kontrol	0,925	24	0,077
Suhu Greenhouse	0,934	24	0,120

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Selanjutnya, hasil uji homogenitas varians menggunakan Levene test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,376 ($p > 0,05$), sehingga varians antar kelompok dinyatakan homogen. Dengan terpenuhinya dua asumsi dasar tersebut, analisis dilanjutkan dengan uji Anova satu arah. Data hasil uji Uji homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Uji Homogenitas Varians

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0.993	2	69	.376

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Berdasarkan uji One-Way Anova menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan terhadap pertumbuhan tanaman pakcoy, dengan nilai $F_{hitung} = 18,390 > F_{tabel} = 3,130$ dan $p = 0,000$ ($p < 0,05$). Nilai ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan memiliki pengaruh nyata terhadap parameter yang diuji. Hasil uji One-Way ANOVA jumlah daun pakcoy dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Hasil Uji One-Way Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	194.694	2	97.347	18.390	.000
Within Groups	365.250	69	5.293		
Total	559.944	71			

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Berdasarkan uji lanjut Tukey pada Tabel 8 menunjukkan bahwa perlakuan suhu memberikan pengaruh yang berbeda terhadap jumlah daun tanaman. Perbandingan antara suhu dingin dan suhu kontrol menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan ($p = 0,118$) yang lebih besar dari 0,05. Namun, perbandingan antara suhu dingin dengan greenhouse menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan, dengan selisih rata-rata sebesar 3,958 daun dan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$). Hal serupa juga terlihat pada perbandingan antara suhu kontrol dengan greenhouse, di mana terdapat perbedaan signifikan dengan selisih rata-rata 2,625 daun dan nilai signifikansi 0,001 ($p < 0,05$). Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa jumlah daun tanaman pada perlakuan suhu dingin dan suhu kontrol secara signifikan lebih banyak dibandingkan dengan greenhouse, menunjukkan bahwa suhu dingin lebih mendukung pertumbuhan daun pakcoy dibandingkan lingkungan yang lebih hangat. Hasil lanjut Tukey HSD dapat dilihat pada tabel 8 berikut:

Tabel 8. Hasil Uji Tukey HSD

(I) perlakuan	(J) perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval Lower Bound	Upper Bound
suhu dingin	suhu kontrol	1.333	.664	.118	-.26	2.92
	Suhu greenhouse	3.958*	.664	.000	2.37	5.55
suhu kontrol	suhu dingin	-1.333	.664	.118	-2.92	.26
	Suhu greenhouse	2.625*	.664	.001	1.03	4.22
Suhu greenhouse	suhu dingin	-3.958*	.664	.000	-5.55	-2.37
	suhu kontrol	-2.625*	.664	.001	-4.22	-1.03

Keterangan: *= perbedaan yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$) berdasarkan uji Tukey HSD. Nilai positif berarti perlakuan pada baris lebih besar dari kolom, sedangkan nilai negatif sebaliknya. (Sumber: Data Primer diolah, 2025)

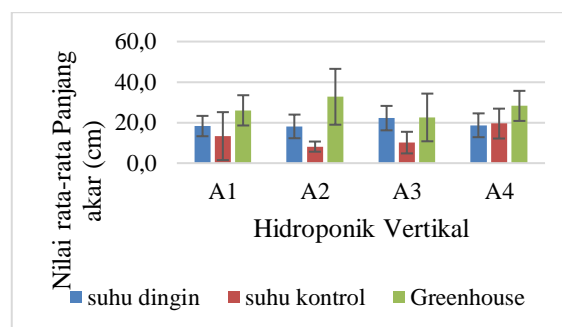
Daun merupakan organ tanaman tempat mensintesis makanan untuk kebutuhan tanaman maupun sebagai cadangan makanan. Daun memiliki klorofil yang berperan dalam melakukan fotosintesis. Semakin banyak jumlah daun, maka tempat untuk melakukan proses fotosintesis lebih banyak dan dan

hasilnya lebih banyak juga. Pengamatan jumlah daun sangat diperlukan karena selain sebagai indikator pertumbuhan, parameter jumlah daun juga diperlukan sebagai data penunjang untuk menjelaskan proses pertumbuhan yang terjadi. Suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap jumlah daun pada tanaman, di mana perubahan suhu dapat memengaruhi laju fotosintesis dan pertumbuhan.

Peningkatan jumlah daun yang signifikan pada perlakuan suhu dingin diduga berkaitan dengan lingkungan akar yang lebih sejuk, yang mampu meningkatkan aktivitas metabolisme serta memperbaiki efisiensi distribusi nutrisi ke bagian atas tanaman. Pengaturan suhu larutan nutrisi pada kisaran 20°C hingga 25°C memberikan dampak signifikan terhadap pertumbuhan tanaman, seperti peningkatan jumlah daun. Suhu yang sesuai membantu menjaga status klorofil yang optimal sehingga mendukung fotosintesis dan pertumbuhan keseluruhan (Nur Hidayat et al., 2022).

Panjang Akar

Pada setiap tower hidroponik, perlakuan *greenhouse* menghasilkan akar terpanjang, sedangkan suhu dingin berada di posisi menengah, dan suhu kontrol menunjukkan panjang akar paling pendek di sebagian besar kategori. Temuan ini mengindikasikan bahwa lingkungan dalam *greenhouse* cenderung mendukung pertumbuhan akar yang lebih panjang dibandingkan dengan kondisi suhu dingin maupun suhu kontrol. Rata-rata panjang akar pakcoy dapat dilihat pada Gambar 8 sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Rata-Rata Panjang Akar Pakcoy

Secara umum, perlakuan *greenhouse* menghasilkan akar terpanjang dibandingkan dua perlakuan lainnya. Rata-rata panjang akar pada kondisi *greenhouse* berada di kisaran 22,6 cm hingga 32,8 cm, dengan nilai standar deviasi yang cukup besar (sekitar $\pm 9,5$ cm), menandakan adanya variasi yang cukup tinggi antar tanaman. Hal ini dapat dipengaruhi oleh fluktuasi kondisi lingkungan dalam *greenhouse* yang cenderung tidak seragam. Sementara itu, perlakuan suhu dingin memberikan panjang akar sedang, yaitu berkisar 18,1 cm hingga 22,2 cm, dengan standar deviasi yang relatif lebih kecil ($\pm 5,8$ cm), yang menunjukkan bahwa perlakuan ini menghasilkan panjang akar yang lebih seragam dibanding *greenhouse*. Perlakuan suhu kontrol menghasilkan panjang akar terpendek, berada dalam rentang 8,2 cm hingga 19,5 cm, dengan standar deviasi yang juga cukup bervariasi ($\pm 6,8$ cm). Hasil ini menunjukkan bahwa akar tanaman pada suhu kontrol cenderung tumbuh lebih pendek dan tidak konsisten antar ulangan.

Suhu hangat dalam *greenhouse* meningkatkan laju respirasi dan aktivitas enzim, sehingga akar dapat tumbuh lebih panjang untuk menyerap air dan nutrisi secara lebih efektif. Sebaliknya, pada suhu dingin, akar cenderung lebih tebal karena pertumbuhan memanjang akar melambat, sementara tanaman mengalokasikan sumber daya untuk memperkuat akar agar tahan terhadap stres suhu rendah dan meningkatkan kemampuan penyimpanan cadangan. Selain itu, suhu yang fluktuatif dan lebih tinggi pada kontrol tanpa pendinginan menyebabkan stres suhu yang menghambat pertumbuhan akar panjang dan memicu adaptasi akar menjadi lebih tebal untuk mempertahankan fungsi vitalnya (Sumarni et al., 2013).

Data panjang akar tanaman pakcoy dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh perlakuan suhu dingin pada daerah perakaran dalam sistem hidroponik vertikal. Berdasarkan uji normalitas Shapiro-Wilk, seluruh kelompok perlakuan menunjukkan nilai signifikansi lebih dari 0,05, yaitu suhu dingin (0,475), suhu kontrol (0,610), dan

greenhouse (0,798), sehingga data dapat dinyatakan berdistribusi normal. Data uji normalitas panjang akar pakcoy data dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Hasil Uji Normalitas

Perlakuan	Uji Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig. (p-value)
Suhu Dingin	0,962	24	0,475
Suhu Kontrol	0,968	24	0,610
Suhu Greenhouse	0,975	24	0,798

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Uji homogenitas varians menggunakan Levene test menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,051 ($p > 0,05$), yang berarti varians antar kelompok homogen. Dengan terpenuhinya kedua asumsi tersebut, analisis dilanjutkan menggunakan uji Anova satu arah. Data hasil uji Uji homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 10 berikut:

Tabel 10. Hasil Uji Homogenitas Varians

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3.113	2	69	.051

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Berdasarkan uji Anova satu arah untuk panjang akar menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antar kelompok perlakuan, dengan nilai $F_{hitung} = 22,386 > F_{tabel} = 3,130$ dan $p = 0,000$ ($p < 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan yang diberikan berpengaruh nyata terhadap panjang akar tanaman pakcoy. Hasil uji One-Way Anova panjang akar pakcoy dapat dilihat pada Tabel 11 sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Uji One-Way Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2574.487	2	1287.244	22.386	.000
Within Groups	3967.692	69	57.503		
Total	6542.179	71			

(Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Hasil uji Tukey HSD pada Tabel 12 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara ketiga perlakuan suhu. Panjang akar tanaman pada suhu dingin secara signifikan lebih panjang dibandingkan suhu kontrol ($p = 0,011$), namun lebih pendek dibandingkan *greenhouse* ($p = 0,001$). Selain

itu, panjang akar pada suhu kontrol juga secara signifikan lebih pendek dibandingkan greenhouse ($p = 0,000$). Hal ini terlihat dari nilai signifikansi (Sig.) yang semuanya lebih kecil dari 0,05 dan interval kepercayaan 95% yang tidak mencakup nol pada setiap perbandingan. Hasil lanjut Tukey HSD dapat dilihat pada Tabel 12 berikut:

Tabel 12. Hasil Uji Tukey HSD

(I) perlakuan	(J) perlakuan	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
suhu dingin	suhu kontrol	6.54958*	2.18904	.011	1.3061	11.7930
	Suhu greenhouse	-8.07125*	2.18904	.001	-13.3147	-2.8278
suhu kontrol	suhu dingin	-6.54958*	2.18904	.011	-11.7930	-1.3061
	Suhu greenhouse	-14.62083*	2.18904	.000	-19.8643	-9.3774
Suhu greenhouse	suhu dingin	8.07125*	2.18904	.001	2.8278	13.3147
se	suhu kontrol	14.62083*	2.18904	.000	9.3774	19.8643

Keterangan: * = perbedaan yang berpengaruh nyata ($p < 0,05$). Nilai positif berarti perlakuan pada baris lebih besar dari kolom, sedangkan nilai negatif sebaliknya. (Sumber: Data Primer diolah, 2025)

Akar merupakan salah satu organ tanaman yang memegang peranan penting terhadap pertumbuhan tanaman. Selain sebagai alat untuk menyokong dan memperkokoh berdirinya tanaman, akar juga berfungsi untuk menyerap air dan unsur - unsur hara. Penambahan panjang akar merupakan bentuk respon akar terhadap ketersediaan air, nutrisi dan oksigen. Pengamatan panjang akar bertujuan untuk memberikan informasi kemampuan akar suatu tanaman dalam menyerap air dan nutrisi.

Temuan ini mengindikasikan bahwa perlakuan suhu dingin belum secara konsisten memberikan pengaruh yang nyata terhadap pertumbuhan panjang akar dibandingkan perlakuan lainnya, meskipun terdapat kecenderungan peningkatan dibanding suhu kontrol. Perbedaan suhu lingkungan memberikan respon fisiologis yang beragam terhadap sistem perakaran tanaman pakcoy. Tanaman yang dibudidayakan pada suhu greenhouse menunjukkan panjang akar tertinggi, diikuti oleh suhu dingin, sedangkan suhu kontrol menghasilkan panjang akar terpendek.

Tanaman pada perlakuan suhu dingin menunjukkan panjang akar yang tergolong

sedang namun relatif seragam, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai standar deviasi yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan akar dalam kelompok perlakuan tersebut berlangsung secara lebih merata. Sebaliknya, pada perlakuan greenhouse, meskipun panjang akar lebih besar, nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan adanya variasi pertumbuhan yang lebih besar antar tanaman. Adapun suhu kontrol selain menghasilkan panjang akar paling rendah, juga menunjukkan keseragaman pertumbuhan yang rendah.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, suhu dingin pada daerah perakaran memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal. Tanaman yang diberi perlakuan suhu dingin menunjukkan pertumbuhan vegetatif lebih optimal, dengan tinggi berkisar 23,5 cm hingga 26,9 cm dan jumlah daun 15-18 helai, didukung oleh peningkatan efisiensi fotosintesis dan penyerapan nutrisi. Dibandingkan dengan suhu kontrol yang memiliki tinggi tanaman berkisar antara 20,9 cm hingga 24,5 cm dengan jumlah daun 15–16 helai dan perlakuan suhu greenhouse dengan tinggi tanaman berkisar antara 19,0 cm hingga 21,4 cm dan jumlah daun 11–13 helai, suhu dingin terbukti paling mendukung pertumbuhan. Hasil analisis statistik (One-Way ANOVA) mengonfirmasi perbedaan signifikan pada semua parameter: tinggi tanaman ($F=24,087$), jumlah daun ($F=18,390$), dan panjang akar ($F=22,386$). Uji Tukey HSD menunjukkan bahwa suhu dingin secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman dan jumlah daun dibandingkan suhu lain, meskipun panjang akar pada suhu dingin dan kontrol lebih pendek dibandingkan perlakuan suhu greenhouse.

Saran

Selain parameter pertumbuhan, penelitian selanjutnya dapat menerapkan penggunaan sistem pendingin

otomatis dan pengukuran parameter tambahan (pH, EC). Suhu dingin yang diterapkan dapat difokuskan pada rentang tertentu yaitu suhu yang masih mendukung pertumbuhan pakcoy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada ibu/bapak dosen pembimbing dan rekan-rekan yang terlibat atas bantuan dan bimbingannya sehingga saya dapat menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Amaliah, W., Suhardiyanto, H., & Syukur, M. (2019). Sebaran Suhu Daerah Perakaran pada Sistem Hidroponik untuk Budidaya Tanaman Cabai di Kawasan Tropika. *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(1), 25–32.
- Gustaman, D. (2022). Pengaruh Nutrisi AB Mix terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica Rapa L*) dalam Sistem Hidroponik. *Fakultas Pertanian*, 1(1), 30–35.
- Irianto, H. (2021). *Laporan akhir penelitian dana mandiri analisis tekno-ekonomi sayuran hidroponik skala rumah tangga*. <http://repository.iti.ac.id/jspui/handle/123456789/850>.
- Jensen, M.H. (2020). *Cold Stress Adaptation in Hydroponic Leafy Greens*. *Norwegian Journal of Agricultural Science*, 15(3), 45–59.
- Kozai, T., Niu, G., & Masabni, J. (2022). Plant Factory Basics, Applications and Advances. *Plant Factory Basics, Applications and Advances*, 2, 1–449. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-01628-2>.
- Kurniawan, A., Ristiono, A., & Sulistiadi, S. (2021). Monitoring Iklim Mikro pada Greenhouse Secara Real Time Menggunakan Internet of Things (IoT) Berbasis Thingspeak. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 10(4), 468. <https://doi.org/10.23960/jtep-1.v10i4.468-480>.
- Lawrence Adi Supriyono, & Andy Febrian Wibowo. (2023). Sistem Monitoring Suhu, Kelembaban dan Kandungan Nutrisi Budidaya Tanaman Sawi Caisim Hidroponik Berbasis IoT. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro Dan Komputer*, 3(1), 171–178. <https://doi.org/10.51903/juritek.v3i1.2035>.
- Nur Hidayat, Maria, E., Rusmini, La, M., & Widayasari, D. (2022). PENGARUH PENGATURAN SUHU AIR NUTRISI HIDROPONIK PADA BUDIDAYA CABAI HABANERO (*Capsicum Chinense Jacq.*). *Jurnal Agrotech*, 12(1), 33–37. <https://doi.org/10.31970/agrotech.v12i1.86>.
- Rusmini, R., Daryono, D., Hidayat, N., Salusu, H. D., Beze, H., & Yulianto, Y. (2021). Growth and Production of Hydroponics Chinese Flat Cabbage With Ab Mix Concentration and Android Based Monitoring. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, <https://doi.org/10.25181/jppt.v21i3.1881>.
- Sulaminingih, Silamat, E., Ruruh, A., Syaiful, M., Ninasari, A., & AR, M. (2024). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Peningkatan Dan Penurunan Produktivitas Tanaman Pangan. *Jurnal Review Pendidikan Dan Pengajaran*, 7(3).
- Sumarni, E., Suhardiyanto, H., Boro Seminar, K., & Saptomo, S. K. (2013). Pendinginan Zona Perakaran (Root Zone Cooling) pada Produksi Benih Kentang menggunakan Sistem Aeroponik Root

Zone Cooling on Seed Potato Production
using Aeroponics System. *J. Agron.
Indonesia, 41(2), 154–159.*