

e-ISSN : 3031-0342
Diterima : 29 April 2026
Disetujui : 15 Juni 2026
Tersedia online di <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>

PENERAPAN MODEL GOMPERTZ DAN LOGISTIK DALAM MEMPREDIKSI PERTUMBUHAN TINGGI TANAMAN PAKCOY (*Brassica rapa* L.) PADA SISTEM HIDROPONIK VERTIKAL

*Application Of Gompertz And Logistic Models In Predicting Height Growth Of Pakcoy
(Brassica Rapa L.) Plants In Vertical Hydroponic Systems*

Ziaul Chair*¹, Guyup Mahardhian Dwi Putra¹, Gagasage Nanaluh De Side¹

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

Email*): ziaul05kba@gmail.com

ABSTRACT

*This study aimed to model and predict the height growth of pakcoy plants (*Brassica rapa* L.) in a vertical hydroponic system using the Gompertz and Logistic mathematical models. The research was conducted over 30 days with two environmental treatments, namely inside a greenhouse and outside the greenhouse (control). The main parameter observed was plant height, with supporting parameters including temperature, humidity, light intensity, and nutrient requirements (PPM). Growth data were analyzed using the Gompertz and Logistic equations with parameter estimation through Excel Solver, and evaluated using the coefficient of determination (R^2) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results showed that the Gompertz model consistently provided higher prediction accuracy than the Logistic model under both greenhouse and control conditions. The Gompertz model achieved coefficients of determination (R^2) greater than 0.99 with lower MAPE values than the Logistic model, indicating better agreement between predicted and observed plant height. Therefore, the Gompertz model is more suitable for predicting pakcoy plant height growth in vertical hydroponic systems.*

Keywords: Gompertz Model, Logistic Model, Pakcoy, Plant growth, Vertical hydroponics

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan memprediksi pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy (*Brassica rapa* L.) pada sistem hidroponik vertikal menggunakan model matematik Gompertz dan Logistik. Penelitian dilakukan selama 30 hari dengan dua perlakuan lingkungan, yaitu di dalam greenhouse dan di luar greenhouse (kontrol). Parameter utama yang diamati adalah tinggi tanaman, dengan parameter pendukung berupa suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan kebutuhan nutrisi (PPM). Data pertumbuhan dianalisis menggunakan persamaan Gompertz dan Logistik dengan estimasi parameter melalui Excel Solver, serta dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Gompertz memiliki akurasi prediksi yang lebih baik dibandingkan model Logistik pada kedua perlakuan. Model Gompertz menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) di atas 0,99 dengan nilai MAPE yang lebih rendah dibandingkan model Logistik, sehingga mampu memberikan prediksi pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih akurat. Dengan demikian, model Gompertz lebih sesuai digunakan untuk memprediksi pertumbuhan tinggi tanaman pakcoy pada sistem hidroponik vertikal.

Kata kunci: Hidroponik vertikal, Model Gompertz, Model Logistik, Pakcoy, Pertumbuhan tanaman.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknik budidaya tanaman sayuran di Indonesia semakin maju dengan adanya teknik budidaya seperti sistem hidroponik yang bisa diterapkan di lahan yang sempit, dengan penggunaan unsur hara AB mix yang dialiri dalam instalasi hidroponik. Sistem ini juga dapat menghasilkan produk sayuran yang terbebas dari hama penyakit dan memiliki produktivitas dengan nilai mutu yang tinggi dibanding hasil produksi sayuran sistem konvensional (Cahyanda et al., 2022). Salah satu bentuk pengembangan dari sistem ini adalah budidaya hidroponik vertikal. Pertanian hidroponik vertikal telah menjadi solusi dalam menjawab tantangan global terhadap ketersediaan pangan terutama di kawasan perkotaan yang padat.

Tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) termasuk dalam komoditas sayuran di antara tanaman hortikultura. Pakcoy juga merupakan tanaman sayuran hijau yang tumbuh dengan cepat. Proses pertumbuhannya dimulai dari biji yang berkecambah menjadi bibit kecil.

Berdasarkan pernyataan Alpendari & Prakoso, (2022), budidaya tanaman secara hidroponik, dipengaruhi oleh media dan nutrisi yang diberikan. Nutrisi yang diberikan harus sesuai dengan kebutuhan tanaman, baik kebutuhan unsur mikro maupun unsur makro.

Salah satu upaya untuk menganalisis pertumbuhan tinggi tanaman adalah dengan pemodelan matematik. Pemodelan matematik dapat membantu memprediksi pertumbuhan tanaman, produktivitas lahan, dan kebutuhan air dan pupuk secara lebih akurat. Dengan menggunakan model yang tepat dapat membantu petani mengambil keputusan yang lebih efisien, mengurangi risiko, dan meningkatkan hasil produksi secara berkelanjutan.

Penelitian ini berfokus pada pemodelan matematik Logistik dan pemodelan matematik Gompertz. Model Logistik dapat digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman yang awalnya berlangsung cepat, namun kemudian melambat saat mencapai batas maksimum. Artinya pada grafik model Logistik, bagian kurva sebelum dan sesudah titik infleksi memiliki kemiringan yang hampir seimbang. Hal ini terjadi karena laju pertumbuhan maksimal berada tepat di tengah kurva, membuat bentuk kurva menjadi simetris di sekitar titik infleksi, ini menunjukkan bahwa dari fase awal hingga mendekati titik tengah, kurva naik dengan pola yang mirip dengan fase setelah titik tengah menuju kapasitas maksimum. Sedangkan model Gompertz adalah modifikasi dari model Logistik. Menurut Werena et al, (2024), Persamaan Gompertz merupakan model matematis untuk pengamatan *time series*, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat awal dan akhir periode waktu. Artinya model Gompertz menghasilkan laju pertumbuhan tertinggi bukan di tengah kurva, tetapi lebih dekat ke bagian awal pertumbuhan, bagian awal naik lebih cepat setelah fase lag, sementara bagian akhir melandai jauh lebih panjang. Pada grafik Gompertz, kurva tampak lebih curam di awal dan lebih panjang serta landai menjelang titik maksimum, menunjukkan ketidakseimbangan antara fase sebelum dan sesudah titik infleksi (Cao et al., 2019).

Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman menggunakan sistem hidroponik vertikal.
2. Membangun model matematika pertumbuhan tanaman pada sistem hidroponik vertikal.
3. Menentukan model matematik yang terbaik dalam memprediksi pertumbuhan tanaman dalam sistem hidroponik vertikal.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Adapun alat yang digunakan pada penelitian ini, seperti alat tulis, lem tembak, penggaris, pompa air (Amara type AA-107, 105W), satu set sistem hidroponik vertikal, sensor TDS (TDS&EC), thermometer (S-006), netpot, selang, kain flannel, lux meter (AS803), dan *rockwool*.

Adapun bahan yang digunakan pada penelitian ini, seperti nutrisi AB mix (Hidroponik Surabaya), dan benih pakcoy (Garuda seed, PT Mahatani Pertiwi Sejahtera).

Metode

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimen yang dilakukan dengan pengamatan secara langsung agar didapatkan data yang akurat, dan bertujuan untuk mengetahui pengaruh faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) pada sistem hidroponik vertikal. Pengamatan pada penelitian ini menggunakan dua perlakuan ada yang di dalam greenhouse dan di luar greenhouse, di mana setiap perlakuan menggunakan 6 sampel tanaman per tower dan di satu perlakuan terdapat 4 tower jadi setiap perlakuan terdapat 24 sampel tanaman. Hasil pengamatan akan digunakan untuk membangun model matematika yang merepresentasikan pertumbuhan tanaman.

Parameter Penelitian

1. Tinggi Tanaman (cm)
2. Jumlah Daun (helai)
3. Suhu
4. Kelembapan
5. Intensitas Cahaya
6. Kandungan nutrisi atau PPM (*Parts Per Million*)

Prosedur Penelitian

1. Persiapan
2. Penyemaian
3. Pindah Tanam
4. Pengamatan
5. Analisis Data
6. Validasi Model

Berikut model persamaan Gompertz dan Logistik yang digunakan:

A. Persamaan model Gompertz:

$$f(x) = a \cdot \exp(-\exp^{(b-ct)}) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- a = Kapasitas maksimum (Asimtot atas)
 c = Laju pertumbuhan
 b,c = Konstanta negatif
 e = Bilangan euler (e = 2,71828)

B. Persamaan model Logistik:

$$f(x) = \frac{a}{(1+ce^{-bt})} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- a = Kapasitas maksimum
 b = Ukuran populasi awal pada (t = 0)
 c = Laju pertumbuhan intrinsik
 e = Bilangan Euler (~2.7181)

Validasi model dalam penelitian ini menggunakan MAPE, MAPE atau *mean absolute percentage error* adalah rata-rata nilai persentase absolut positif dari kesalahan meramal. Berikut rumus dari MAPE

C. Persamaan MAPE

$$MAPE = \left(\frac{100}{n} \right) \sum \left| X_t - \frac{F_t}{X_t} \right| \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

X_t = Nilai riil pada periode ke t

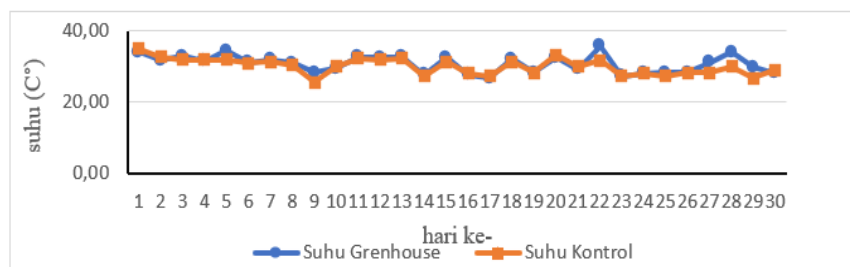
F_t = Nilai peramalan pada periode ke t

n = Jumlah periode peramalan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Iklim Mikro

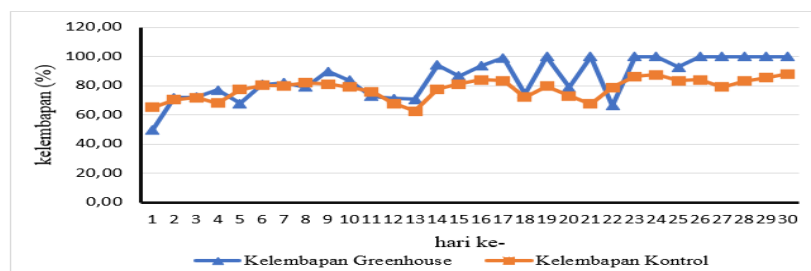
Analisis suhu di dalam *greenhouse* penting untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan produktivitas, dan menjaga kualitas hasil panen. Sedangkan analisis suhu di luar *greenhouse* mendukung sistem otomatisasi pada *greenhouse* dan memberikan informasi dalam keakuratan prediksi kebutuhan tanaman. **Gambar 1** menunjukkan hasil analisis suhu pada perlakuan *greenhouse* dan pada luar *greenhouse* untuk mendukung produktivitas tanaman.



Gambar 1. Grafik Perbandingan suhu *Greenhouse* dan Luar *Greenhouse*

Gambar 1 menunjukkan perbandingan suhu selama 30 hari setelah penelitian pada kedua perlakuan budidaya tanaman pakcoy, yaitu di dalam *greenhouse* dan di luar *greenhouse*. Data pada **Gambar 1** menunjukkan suhu pada *greenhouse* cenderung lebih stabil dengan fluktuasi yang lebih kecil dibandingkan suhu di luar *greenhouse*. Suhu pada *greenhouse* memiliki nilai terendah sebesar 27°C pada hari ke 14, 17, dan 23 dan mencapai nilai tertinggi sebesar 35°C pada hari ke 22, sedangkan suhu kontrol menunjukkan fluktuasi lebih besar, khususnya pada hari ke 9, 14, dan 23, di mana suhu menunjukkan penurunan yang cukup signifikan. Kestabilan suhu sangat penting karena suhu yang konsisten mendukung proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, respirasi, dan penyerapan nutrisi secara optimal. Hal ini sejalan dengan penelitian Nurawalia, (2022) yang menyatakan bahwa suhu optimal untuk pertumbuhan pakcoy berada pada kisaran 19–21 °C, sedangkan kisaran suhu pertumbuhan umumnya antara 15–30 °C.

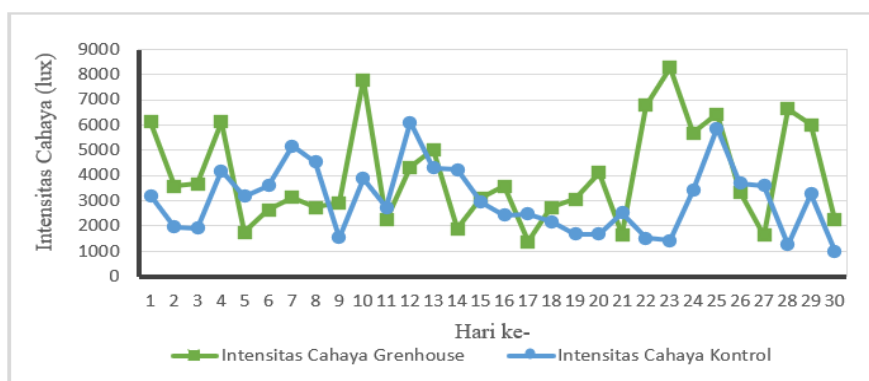
Selain suhu ada juga faktor iklim seperti kelembapan yang dapat mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman, di mana kelembapan memegang peran penting dalam pada proses pertumbuhan tanaman karena mempengaruhi terhadap penyerapan air dan nutrisi, laju transpirasi, dan proses fotosintesis. Tingkat kelembapan yang sesuai dapat menjaga keberlangsungan pada proses pertumbuhan tanaman, menurut Nikmatul et al. (2017) kelembapan udara yang sesuai untuk pertumbuhan tanaman pakcoy berkisar antara 80%-90%. **Gambar 2** memperlihatkan keterkaitan antara analisis kelembapan pada *greenhouse* dan kelembapan pada luar *greenhouse* dalam mendukung proses pertumbuhan tanaman pakcoy.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Kelembapan *Greenhouse* dan Kelembapan Luar *Greenhouse*

Gambar 2 menunjukkan perbandingan tingkat kelembapan antara dua kondisi, yaitu kelembapan di dalam greenhouse dan kelembapan pada luar greenhouse selama 30 hari. Di mana kelembapan di dalam greenhouse memiliki nilai tertinggi yaitu 100% dan nilai terendah 49% cenderung lebih tinggi dan fluktuasi lebih besar dibandingkan dengan kelembapan luar greenhouse yang memiliki nilai tertinggi yaitu 88% dan nilai terendah 62%. Pada pengamatan hari ke-1 sampai hari ke-10, kelembapan di greenhouse mengalami peningkatan yang signifikan mencapai 80-90% meskipun terdapat beberapa penurunan pada hari ke-5 dan hari ke-13. Setelah hari ke-15 kelembapan di dalam greenhouse sering kali mendekati atau mencapai 100%, ini menunjukkan kondisi lingkungan yang lebih lembap dibandingkan pada luar greenhouse yang hanya memiliki nilai kelembapan 70-90%. Fluktuasi kelembapan pada greenhouse terlihat lebih tajam dibandingkan dengan luar greenhouse, tetapi secara keseluruhan tingkat kelembapan di dalam greenhouse konsisten lebih tinggi, ini menunjukkan efektivitas greenhouse dalam mempertahankan kelembapan dibandingkan kondisi lingkungan luar.

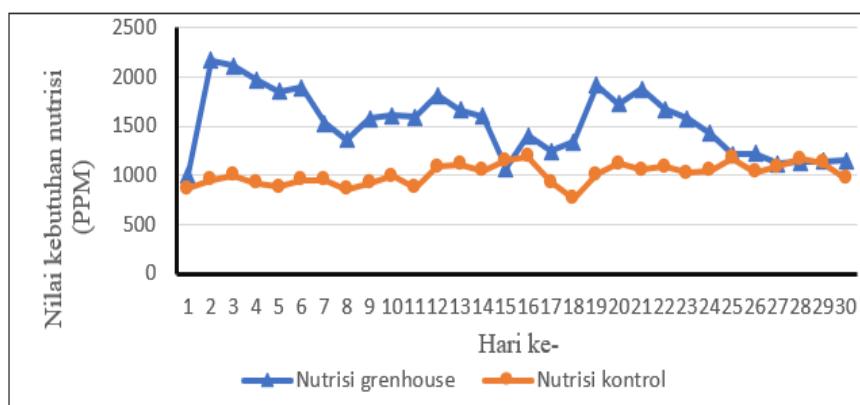
Faktor iklim lainnya yang dapat mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman pakcoy adalah intensitas cahaya. Intensitas cahaya merupakan faktor yang penting dalam proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman. Tanaman pakcoy membutuhkan pencahayaan yang cukup agar proses fisiologis tanaman berlangsung optimal. Dalam penelitian ini intensitas cahaya merupakan faktor pendukung yang diambil sebagai parameter yang diamati untuk mengetahui seberapa besar cahaya yang diterima tanaman dalam sistem hidroponik vertikal selama penelitian.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai Intensitas Cahaya di dalam Greenhouse dan di luar Greenhouse

Gambar 3 di atas menunjukkan perbandingan intensitas cahaya antara dua kondisi, yaitu dalam greenhouse dan kontrol atau luar greenhouse selama 30 hari pengamatan. Intensitas cahaya dalam greenhouse cenderung lebih berfluktuasi tajam dibandingkan dengan kondisi kontrol. Pada beberapa hari, seperti hari ke-1, ke-10, ke-22, dan ke-23, intensitas cahaya di dalam greenhouse tercatat cukup tinggi mencapai 7000-8000 Lux dan pada hari ke-5, ke-17, dan ke-27 nilai intensitas cahaya memiliki nilai terendah 1300-1700 Lux. Sebaliknya, intensitas cahaya pada kondisi kontrol (luar greenhouse) terlihat lebih stabil meskipun tetap mengalami variasi, namun dalam rentang yang lebih sempit. Intensitas cahaya di kontrol tidak setinggi di greenhouse, dengan nilai tertinggi hanya 6000 Lux dan nilai terendah hanya 1000 Lux. Perbedaan ini disebabkan oleh efek pemantulan cahaya dari material penutup greenhouse seperti plastik UV, karna bahan ini bukan hanya meneruskan sinar matahari, tetapi juga dapat menyebarkan sinar matahari ke seluruh ruangan yang mengakibatkan intensitas cahaya dalam greenhouse dapat lebih tinggi. Sementara itu, di luar greenhouse cahaya langsung diterima oleh tanaman, namun penerimaan ini lebih rentan terganggu oleh faktor lingkungan seperti cuaca, bayangan dari pohon atau bangunan, serta angin. Ini didukung dengan penelitian Putra et al, (2024) yang menjelaskan bahwa kombinasi cahaya alami dan buatan serta fluktuasi intensitas cahaya memiliki dampak terhadap penyerapan nutrisi dan pertumbuhan tanaman hidroponik.

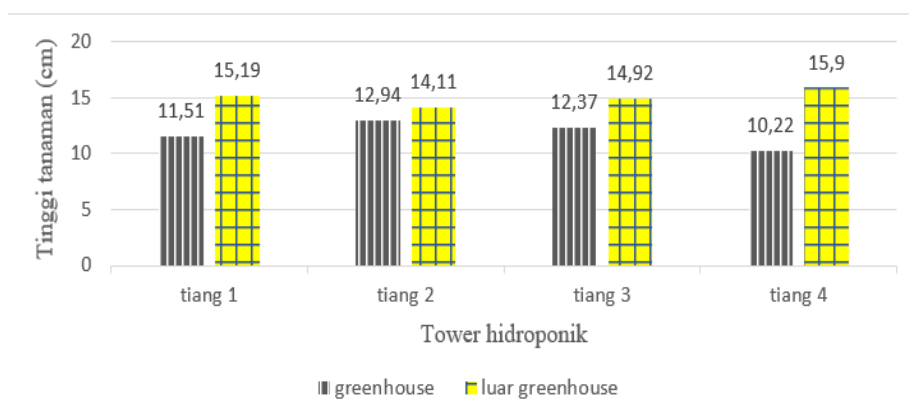
Kebutuhan nutrisi dalam sistem hidroponik vertikal juga merupakan komponen penting dalam budidaya tanaman. kebutuhan nutrisi tetap dijaga agar pertumbuhan tanaman tetap stabil, sehingga tanaman tidak mengalami kehilangan unsur hara yang penting.



Gambar 4. Grafik Kebutuhan Nutrisi (PPM)

Gambar 4 menunjukkan perbandingan kebutuhan nutrisi (PPM) antara tanaman di dalam greenhouse dan tanaman kontrol selama 30 hari pengamatan. Terlihat bahwa kebutuhan nutrisi pada tanaman di greenhouse cenderung lebih tinggi dan fluktuatif dibandingkan tanaman kontrol, terutama pada awal hingga pertengahan pengamatan yang di mana mencapai lebih dari 2000 PPM pada hari-hari tertentu. Sedangkan tanaman kontrol menunjukkan pola kebutuhan nutrisi yang relatif stabil dengan kisaran sekitar 900-1200 PPM selama pengamatan. Menurut Alborno et al, (2014) konsentrasi nutrisi yang dikehendaki untuk pertumbuhan tanaman yaitu 1000-1400 ppm. Perbedaan yang cukup jauh ini dapat terjadi karna sistem penambahan nutrisi pada greenhouse menggunakan sistem IoT yang memungkinkan pada penambahan nutrisi terjadi kesalahan saat penambahannya karna untuk penambahan nutrisinya menggunakan pompa, di mana pompa akan menyedot nutrisi A dan B secara bersamaan yang dapat menyebabkan kandungan nutrisi tidak sama dan mengakibatkan nilai nutrisi yang terlalu tinggi dibandingkan tanaman yang ditanam pada kondisi kontrol.

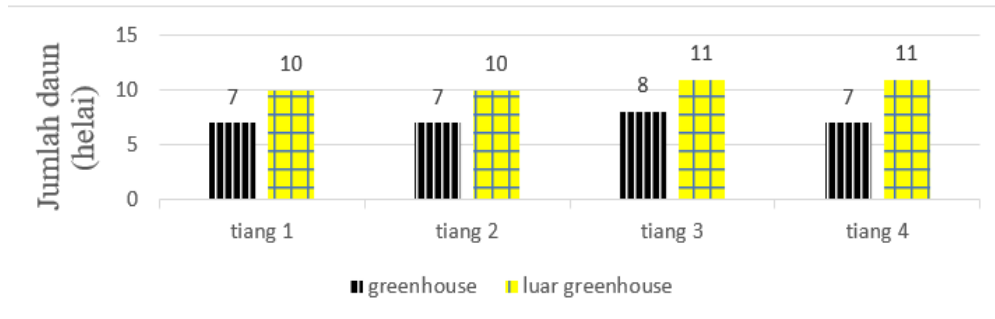
Pertumbuhan Tanaman



Gambar 5. Grafik Rata-Rata Tinggi Tanaman Pada *Greenhouse* dan Kontrol

Berdasarkan hasil pengamatan pada **Gambar 5**, menunjukkan perbandingan tinggi tanaman di dalam greenhouse dan kontrol pada empat titik pengukuran. Pada tiang 1, tinggi tanaman di dalam greenhouse mencapai 11,51 cm, sedangkan di luar greenhouse lebih tinggi yaitu 15,19 cm. Pada tiang 2, tinggi tanaman di dalam greenhouse mencapai 12,94 cm, sedangkan di luar greenhouse sedikit lebih tinggi yaitu 14,11 cm. Selanjutnya pada tiang 3, tanaman di dalam greenhouse memiliki tinggi 12,37 cm, sedangkan di luar greenhouse sedikit lebih tinggi juga yaitu 14,92 cm. Terakhir pada tiang 4, tanaman di dalam greenhouse memiliki tinggi terendah di antara semua titik pengukuran yaitu 10,22 cm, sedangkan di luar greenhouse mencapai tinggi 15,90 cm. Pada semua titik pengukuran tiang 4 memiliki nilai terendah dibandingkan tiang lainnya, selisih ini menunjukkan bahwa dalam pengambilan data saat penelitian perlakuan di luar greenhouse mendukung

pertumbuhan tinggi tanaman yang lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan greenhouse. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh kondisi lingkungan di luar greenhouse yang lebih mendukung seperti intensitas cahaya, sirkulasi udara, dan ruang tumbuh. Tanaman yang di luar greenhouse menerima cahaya secara langsung di mana dapat membantu proses fotosintesis yang lebih optimal. Sirkulasi udara luar juga dapat mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman, seperti di luar greenhouse sirkulasi udaranya lebih bebas sehingga membantu proses respirasi.



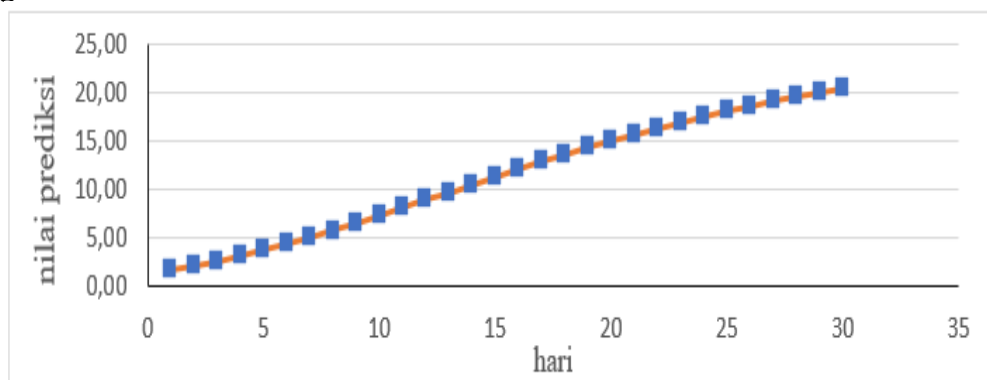
Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Rata-Rata Jumlah Daun Pada Perlakuan *Greenhouse* dan Luar *Greenhouse*

Gambar 6 menunjukkan rata-rata jumlah daun tanaman pada empat tiang dalam dua kondisi lingkungan, yaitu greenhouse dan luar greenhouse. Nilai rata-rata jumlah daun pada perlakuan greenhouse mencapai nilai tertinggi pada tiang 3 sebanyak 8 helai daun, sementara pada tiang 1, 2, dan 4 memiliki nilai rata-rata yang sama sebanyak 7 helai daun. Sedangkan perlakuan luar greenhouse jumlah daun terbanyak didapat sampai dengan 11 helai, di mana nilai itu didapat pada tiang 3 dan 4. Sementara pada tiang 1 dan 2 memiliki nilai yang sama juga yaitu sebanyak 10 helai, dari kedua perlakuan tersebut didapat selisih jumlah daun antara kedua perlakuan sebanyak 3 hingga 4 helai per tiang. Perbedaan antara jumlah daun yang ada di greenhouse dan di luar greenhouse bisa terjadi karna mungkin lingkungan di luar lebih alami yang sering kali menghasilkan pertumbuhan daun yang lebih baik dibandingkan dengan kondisi dalam greenhouse. Tanaman yang menerima intensitas cahaya secara langsung juga dapat membantu proses fotosintesis yang lebih optimal. Dalam penelitian Waruwu et al, (2024) mengatakan intensitas cahaya berperan penting dalam menentukan efisiensi fotosintesis dan pertumbuhan tanaman, cahaya dengan intensitas optimal memungkinkan fotosintesis berjalan maksimal, menghasilkan energi yang cukup untuk pertumbuhan tanaman.

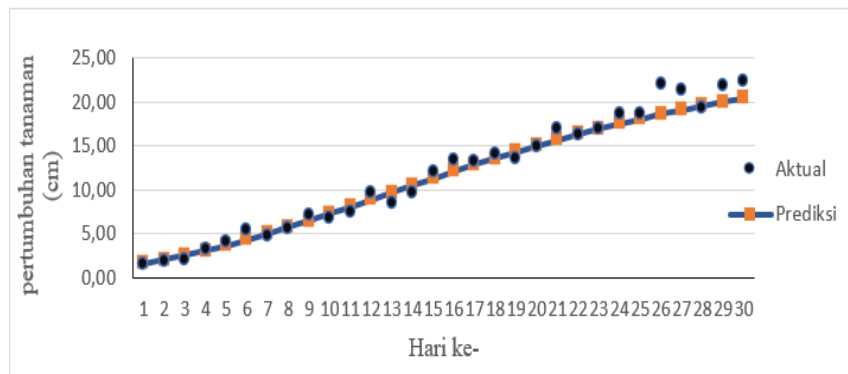
Model Matematika Pertumbuhan Tanaman

Berdasarkan data yang diperoleh selama penelitian, model matematika digunakan untuk mengidentifikasi pola pertumbuhan tanaman pakcoy. Penelitian ini menggunakan dua model matematika, yaitu model Gompertz dan model Logistik untuk menggambarkan pola pertumbuhan tanaman.

1. Tinggi Tanaman Perlakuan Greenhouse



Gambar 7. Grafik Nilai Prediksi Model Gompertz Pada Perlakuan *Greenhouse*



Gambar 8. Grafik Model Gompertz Pertumbuhan Tanaman Perlakuan *Greenhouse*

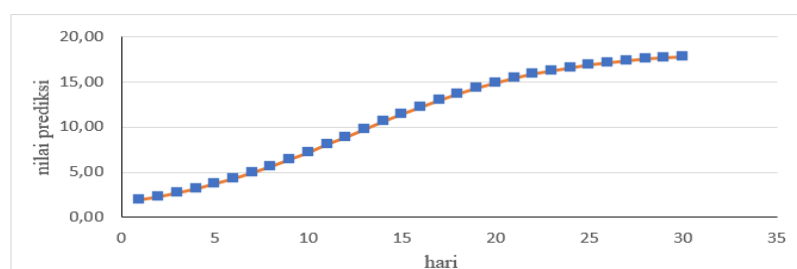
Berdasarkan kedua grafik pada **Gambar 7** menunjukkan grafik nilai prediksi model Gompertz pada perlakuan greenhouse dan **Gambar 8** menunjukkan pertumbuhan tanaman, di mana pertumbuhan tanaman ditandai dengan titik hitam pada **Gambar 8** dan garis biru dengan penanda kotak merupakan nilai prediksi yang telah dihitung menggunakan persamaan model Gompertz. Pada **Gambar 8** menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman cukup dekat dengan garis prediksi, hal ini menunjukkan bahwa perhitungan dengan persamaan Gompertz memberikan hasil yang hampir mendekati data asli, karena mampu menyesuaikan perubahan kecepatan pertumbuhan tanaman dari waktu ke waktu. Dengan demikian pertumbuhan tanaman tidak selalu berlangsung dengan kecepatan yang konstan, melainkan bisa mengalami percepatan atau perlambatan.

Nilai prediksi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan Gompertz dengan memasukkan nilai a (kapasitas maksimum), b (konstanta negatif), dan c (laju pertumbuhan) pada rumus secara acak (berkisar 0 sd 1). Setelah itu, untuk menentukan nilai a , b , dan c juga dibantu dengan Excel Solver, maka diperoleh persamaan model Gompertz sebagai berikut:

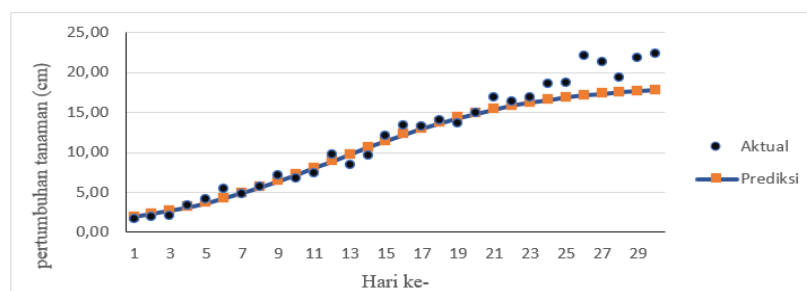
$$f(x) = 25,461222 * \exp(-\exp(1,08855 - 0,08658 * t)) \dots \dots \dots (4)$$

Persamaan 4 merupakan persamaan model Gompertz yang telah ditentukan nilai a , b , dan c dengan bantuan Excel Solver dan kemudian dimasukkan ke dalam persamaan Gompertz untuk mencari nilai prediksinya.

Selain model Gompertz, model logistik juga digunakan untuk menganalisis pola pertumbuhan tanaman. Gambar 10 menunjukkan perbandingan antara data hasil pengamatan dengan model logistik.



Gambar 9. Grafik Nilai Prediksi Model Logistik Pada Perlakuan *Greenhouse*



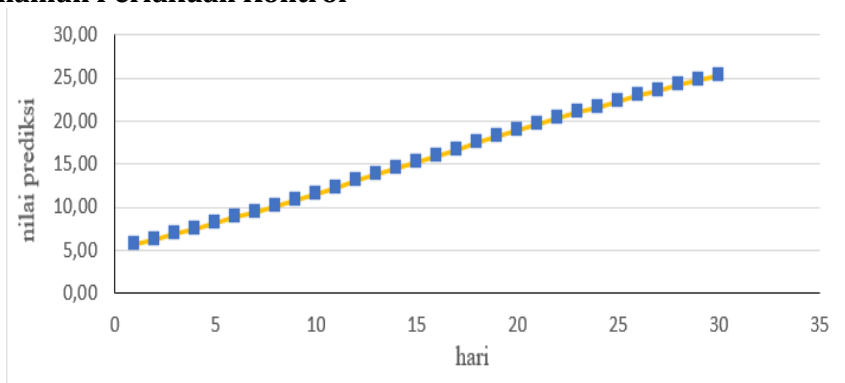
Gambar 10. Grafik Model Logistik Pertumbuhan Tanaman Perlakuan *Greenhouse*

Berdasarkan pada kedua grafik **Gambar 9** merupakan nilai prediksi hasil model Logistik pada perlakuan greenhouse dan **Gambar 10** menunjukkan pertumbuhan tanaman, di mana pertumbuhan tanaman ditandai dengan titik hitam pada **Gambar 10** dan garis biru dengan penanda kotak merupakan nilai prediksi yang telah dihitung menggunakan persamaan model Logistik. pada awal pengamatan (hari ke-1 hingga sekitar hari ke-20), kedua seri data menunjukkan pola pertumbuhan tanaman yang cukup mirip. Tinggi tanaman terus meningkat secara bertahap dari hari ke hari, membentuk kurva yang hampir sama. Ini menunjukkan bahwa pada fase awal pertumbuhan tanaman berlangsung normal dan dapat diprediksi. Menentukan nilai prediksi pada model Logistik hampir sama dengan model Gompertz, tapi hanya berbeda pada persamaannya.

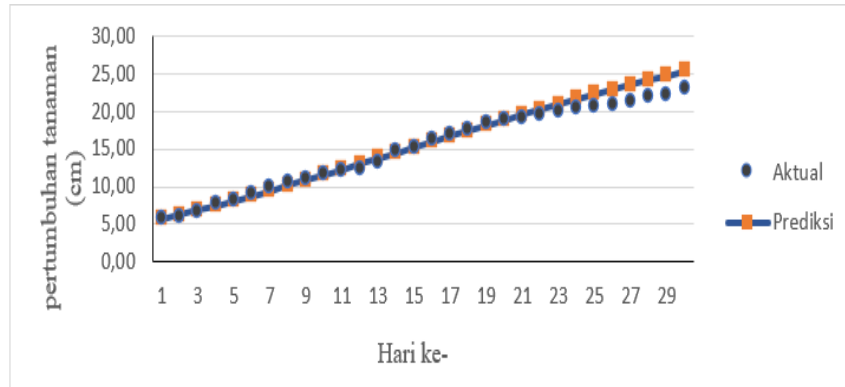
$$f(x) = \frac{18,4438}{(1+10,3092 \cdot e^{-0,1882 \cdot t})} \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan 5 merupakan persamaan model logistik yang di mana nilai a, b, dan c nya sudah dihitung dengan bantuan solver pada excel.

2. Tinggi Tanaman Perlakuan Kontrol



Gambar 11. Grafik Nilai Prediksi Model Gompertz Pada Perlakuan Kontrol



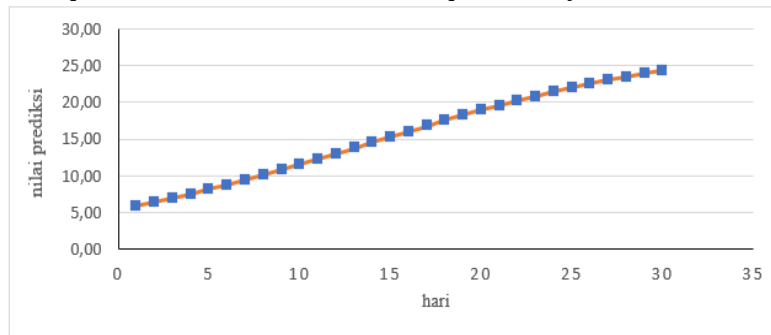
Gambar 12. Grafik Model Gompertz Pertumbuhan Tanaman Perlakuan Kontrol

Berdasarkan kedua grafik **Gambar 11** menunjukkan hasil nilai prediksi model Gompertz pada perlakuan kontrol dan grafik pada **Gambar 12** menunjukkan data pertumbuhan tinggi tanaman selama 30 hari. Pada fase awal pertumbuhan (hari ke-1 hingga sekitar hari ke-20), kedua nilai menunjukkan pola yang mirip. Keduanya mengalami peningkatan tinggi yang stabil dan konsisten dari hari ke hari, di mana titik aktual hampir sepenuhnya berimpit dengan garis prediksi. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman pada kedua kondisi berjalan dengan laju yang hampir sama dan dapat diprediksi. Namun, setelah hari ke-20 terlihat perbedaan yang signifikan di mana nilai prediksinya terus meningkat hingga hari terakhir, sementara itu nilai aktual menunjukkan laju pertumbuhan yang sedikit melambat. Ini menunjukkan ada faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang menyebabkan laju pertumbuhannya sedikit melambat, seperti faktor suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Tapi intensitas cahaya mungkin merupakan faktor yang paling berpengaruh pada proses pertumbuhan karna cahaya yang tinggi dapat menyebabkan tanaman stres dan mempengaruhi lajunya pertumbuhan tanaman, sejalan dengan

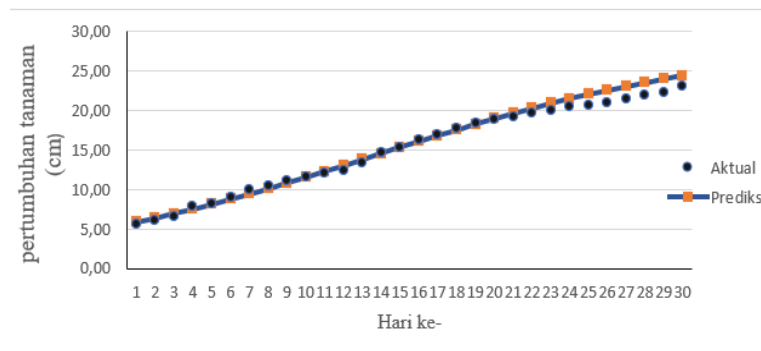
penelitian Waruwu et al, (2024) yang mengatakan cahaya yang berlebihan dapat merusak klorofil dan auksin, sehingga menghambat pertumbuhan tanaman. Model Gompertz untuk kontrol menghasilkan persamaan berikut:

$$f(x) = 39,7405 \cdot \exp(-\exp(0,7153 - 0,0505 \cdot t)) \dots \dots \dots (6)$$

Persamaan 6 merupakan persamaan model Gompertz yang digunakan untuk menentukan nilai prediksi dari pertumbuhan tanaman dengan perlakuan kontrol. Sama halnya dengan perlakuan greenhouse hasil angka di atas merupakan hasil nilai dari a, b, dan c yang kemudian dimasukkan dalam persamaan Gompertz untuk menentukan nilai prediksinya.



Gambar 13. Grafik Nilai Prediksi Model Logistik Pada Perlakuan Kontrol



Gambar 14. Grafik Model Logistik Pertumbuhan Tanaman Perlakuan Kontrol

Berdasarkan kedua grafik **Gambar 13** menunjukkan hasil nilai prediksi model Logistik pada perlakuan kontrol dan grafik pada **Gambar 14** menunjukkan pertumbuhan tanaman, di mana pertumbuhan tanaman ditandai dengan titik hitam pada **Gambar 14** dan garis biru dengan penanda kotak merupakan nilai prediksi yang telah dihitung menggunakan persamaan model Logistik. Fase awal pertumbuhan yang sama dengan model Gompertz di mana hari ke-1 hingga sekitar hari ke-20 menunjukkan pola pertumbuhan yang serupa pada kedua seri. Tetapi pada model logistik ini mempunyai perbedaan dengan model Gompertz di mana nilai prediksinya mencapai tinggi sekitar 25 cm sedangkan logistik nilai prediksinya mencapai tinggi sekitar 24 cm. Model logistik untuk kontrol menghasilkan persamaan berikut:

$$f(x) = \frac{28,6195}{1 + 4,3048 \cdot e^{-0,1064 \cdot t}} \dots \dots \dots (7)$$

Persamaan 7 digunakan untuk menentukan nilai prediksi dengan menggunakan model logistik untuk menunjukkan perbandingan pertumbuhan tanaman. Persamaan ini sudah ditentukan nilai a (kapasitas maksimum), b (laju pertumbuhan), dan c (laju pertumbuhan intristik) sebelum dimasukkan dalam persamaan untuk menghitung nilai prediksi. Kemudian dilakukan analisis perbandingan antara nilai tinggi tanaman aktual dan nilai prediksi dari model Gompertz maupun Logistik melalui nilai error (%). Perhitungan error ini menggunakan metode Mean Absolute Percentage Error (MAPE),

Tabel 1. Perbandingan Nilai Aktual Dan Prediksi dengan MAPE (%) Pada Tinggi Tanaman Perlakuan Greenhouse.

Hari ke-	Tinggi Aktual Tanaman (cm)	Tinggi Tanaman Prediksi Gompertz (cm)	MAPE (%)	Tinggi Tanaman Prediksi Logistik (cm)	MAPE (%)
1	1,56	1,67	7,05	1,93	23,72
2	1,90	2,09	10,00	2,28	20,00
3	2,05	2,58	25,85	2,69	31,22
4	3,30	3,12	5,45	3,15	4,55
5	4,05	3,71	8,40	3,67	9,38
6	5,38	4,35	19,14	4,26	20,82
7	4,75	5,04	6,11	4,91	3,37
8	5,68	5,76	1,41	5,61	1,23
9	7,15	6,52	8,81	6,37	10,91
10	6,73	7,30	8,47	7,18	6,69
11	7,40	8,10	9,46	8,02	8,38
12	9,63	8,90	7,58	8,88	7,79
13	8,40	9,71	15,60	9,75	16,07
14	9,63	10,52	9,24	10,61	10,18
15	11,99	11,32	5,59	11,44	4,59
16	13,40	12,11	9,63	12,24	8,66
17	13,15	12,88	2,05	12,99	1,22
18	14,04	13,63	2,92	13,68	2,56
19	13,63	14,35	5,28	14,32	5,06
20	14,88	15,05	1,14	14,89	0,07
Rata-rata MAPE (%)			8,46		9,82

Berdasarkan Tabel 1, model Gompertz memiliki nilai prediksi yang cukup mendekati nilai aktual dengan persentase error yang relatif kecil, namun ada beberapa hari terdapat nilai prediksi yang berbeda cukup jauh dari data aktual dengan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) di atas 20%. Sementara pada model Logistik menunjukkan akurasi yang cukup baik juga hampir mendekati nilai aktual dengan persentase error yang lumayan kecil. Namun pada hari ke-1, 2, dan 6 nilai MAPE melebihi 20% sementara pada hari ke-3 nilai MAPE melebihi 30%. Nilai rata-rata MAPE model Gompertz sebesar 8,46% sementara rata-rata MAPE model Logistik sebesar 9,82%. Berdasarkan hasil penelitian model Gompertz lebih akurat dibandingkan model Logistik dalam memprediksi tinggi tanaman.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Aktual Dan Prediksi dengan MAPE (%) Pada Tinggi Tanaman Perlakuan Kontrol.

Hari ke-	Tinggi Aktual Tanaman (cm)	Tinggi Tanaman Prediksi Gompertz (cm)	MAPE (%)	Tinggi Tanaman Prediksi Logistik (cm)	MAPE (%)
1	5,65	5,69	0,71	5,88	4,07
2	6,07	6,26	3,13	6,39	5,27
3	6,52	6,86	9,76	6,93	6,29
4	7,77	7,48	3,73	7,51	3,35
5	8,21	8,12	1,10	8,11	1,22
6	9,03	8,78	2,77	8,74	3,21
7	9,89	9,46	4,35	9,40	4,95
8	10,48	10,15	3,15	10,09	3,72
9	11,02	10,86	1,45	10,79	2,36
10	11,59	11,58	0,09	11,52	0,60
11	12,02	12,30	2,33	12,26	2,00
12	12,32	13,04	5,84	13,01	5,60
13	13,27	13,77	3,77	13,77	3,77
14	14,65	14,51	0,96	14,53	0,82
15	15,20	15,25	0,33	15,29	0,59
16	16,24	15,99	1,54	16,04	1,23
17	16,86	16,72	0,83	16,79	0,42
18	17,68	17,45	1,30	17,52	0,90
19	18,37	18,18	1,03	18,23	0,76
20	18,80	18,89	0,48	18,92	0,64
Rata-rata MAPE (%)			2,43		2,59

Berdasarkan Tabel 2, model Gompertz menghasilkan nilai prediksi yang mendekati nilai aktual dengan MAPE yang relative kecil, sama halnya dengan model Logistik menghasilkan nilai prediksi yang mendekati nilai aktual dengan MAPE yang relative kecil juga. Pada perlakuan kontrol ini nilai MAPE ke dua model memiliki nilai yang relative kecil di mana kurang dari 10%. Rata-rata error MAPE untuk model Gompertz adalah 2,43%, sedangkan rata-rata MAPE untuk model Logistik adalah 2,59%. Untuk MAPE terdapat range nilai yang dapat dijadikan bahan pengukuran mengenai kemampuan dari suatu model peramalan, range nilai tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Range Nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Range MAPE	Keterangan
<10%	Model Sangat Baik
10-20%	Model Baik
20-50%	Model Layak
>50%	Model Buruk

Berdasarkan perbandingan nilai aktual dan hasil prediksi dari kedua model, dilakukan evaluasi menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan seberapa baik model dapat menjelaskan variasi data, untuk menilai secara keseluruhan akurasi dan kecocokan model. Nilai R^2 dari masing-masing parameter ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Koefisien Determinasi (R^2) dan Nilai rata-rata MAPE Model Gompertz dan Logistik

Parameter	Perlakuan	R^2 Gompertz	Nilai MAPE (%)	R^2 Logistik	Nilai MAPE (%)	Model Terbaik
Tinggi tanaman	Greenhouse	0,99	8,46	0,97	9,82	Gompertz
Tinggi tanaman	kontrol	0,995	2,43	0,994	2,59	Gompertz

Pada perlakuan greenhouse, model Gompertz memiliki nilai R^2 sebesar 0,99 yang lebih tinggi dibandingkan model Logistik sebesar 0,97, dan nilai MAPE greenhouse pada model Gompertz lebih kecil dari model Logistik sehingga model Gompertz dinyatakan sebagai model terbaik. Sementara itu, pada perlakuan kontrol, nilai R^2 model Gompertz mencapai 0,995 dan model Logistik 0,994, nilai MAPE model Gompertz pada perlakuan kontrol juga lebih kecil dibandingkan model Logistik. Walaupun perbedaan nilainya sangat kecil, model Gompertz tetap dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai R^2 yang sedikit lebih tinggi dan MAPE yang lebih kecil. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa model Gompertz lebih sesuai digunakan dalam menggambarkan pertumbuhan tinggi tanaman baik pada kondisi di dalam greenhouse maupun kontrol

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan, hasil analisis pertumbuhan tanaman pakcoy dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu intensitas cahaya, suhu, dan kelembapan. Intensitas cahaya yang optimal mempercepat proses fotosintesis, sementara suhu dan kelembapan yang stabil mendukung metabolisme dan penyerapan nutrisi. Keseimbangan antar faktor-faktor tersebut akan menghasilkan pertumbuhan tanaman pakcoy yang optimal baik dari segi ukuran, warna daun, maupun kualitas hasil panen. Penelitian ini menghasilkan dua model matematika, yaitu Gompertz dan Logistik untuk menggambarkan pertumbuhan tanaman pakcoy pada sistem hidroponik vertikal. Di mana didapatkan model Gompertz lebih akurat dalam memprediksi pertumbuhan tanaman dan lebih baik dalam menjelaskan variasi data. Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh, model Gompertz menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan model logistik.

Rata-rata nilai R^2 pada model Gompertz berkisar antara 0,97 hingga 0,99. Sedangkan model Logistik memiliki nilai tertinggi 0,994. Model Gompertz juga memiliki nilai kesalahan prediksi (MAPE) yang lebih rendah, yaitu 2,43%, dibandingkan model Logistik yang memiliki MAPE sebesar 2,59%. Oleh karena itu, model Gompertz dipilih sebagai model terbaik untuk memprediksi pertumbuhan tanaman pakcoy dalam sistem hidroponik vertikal.

Saran

Model matematika yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikembangkan lagi atau mencoba dengan menggunakan model matematika yang lain untuk mendapatkan nilai prediksi pertumbuhan tanaman yang lebih akurat dan untuk faktor-faktor iklim mikro sebaiknya lebih teliti lagi dalam pengambilan data yang dilakukan.

DAFTAR REFERENSI

- Albornoz, F., Heinrich Lieth, J., & González-Fuentes, J. A. (2014). Effect of different day and night nutrient solution concentrations on growth, photosynthesis, and leaf NO_3^- content of aeroponically grown lettuce. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(2), 240–245. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000200017>
- Alpandari, H., & Prakoso, T. (2022). Pengaruh Beberapa Konsentrasi Ab Mix Pada Pertumbuhan Pakcoy Dengan Sistem Hidroponik. *Muria Jurnal Agroteknologi (MJ-Agroteknologi)*, 1(2), 1–6. <https://doi.org/10.24176/mjagrotek.v1i2.9147>
- Cahyanda, R. Q., Agustin, H., & Ahmad Rifqi Fauzi2. (2022). Pengaruh Metode Penanaman Hidroponik Dan Konvensional Terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada Romaine Dan Pakcoy. *Jurnal Bioindustri*, 4(2), 109–119. <https://doi.org/10.31326/jbio.v4i2.951>
- Cao, L., Shi, P., Li, L., & Chen, G. (2019). A New Flexible Sigmoidal Growth Model Liying. 1–16. <https://doi.org/10.3390/sym11020204>
- Nurawalia, L. (2022). Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Pakcoy (*Brassica Rapa L.*) Hidroponik Dengan Berbagai Sumber Nutrisi Dan Tanaman Refugia (*Tagetes erecta L.*).
- KHOIRIYAH, N. (2017). Pengaruh konsentrasi dan frekuensi aplikasi pupuk organik cair pada tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) VARIETAS FLAMINGO.
- Putra, B. T. W., Syahputra, W. N. H., & Dewanti, P. (2024). Effect of different photoperiod regimes in combination with natural and artificial light on nutrient uptake in bok choy (*Brassica rapa L.*) using an internet of things-based hydroponics system. *Journal of Agricultural Engineering*, 55(3). <https://doi.org/10.4081/jae.2024.1579>
- Waruwu, A. L., Mendrofa, H. K., Tafonao, F., Gulo, N. O., Zai, M. L. F., Waruwu, P. Z. F., Gulo, P. C. D., & Zebua, H. P. (2024). Pengaruh Variasi Intesitas Cahaya Terhadap Efisiensi Fotosintesis Pada Pertumbuhan Tanaman. *PENARIK: Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*, Volume 01, 262–269.
- Werena, R. D., Wahyuningtyas, D., Halim, L., & Syabriana, M. (2024). Persamaan Gompertz Termodifikasi Untuk Menentukan Pertumbuhan Bakteri Metanogen Pada Produksi Biogas. *Journal Of Renewable Energy Engineering*, 2(1), 38–43. <https://doi.org/10.56190/jree.v2i1.32>