

**ANALISIS REGRESI LINIER PENGARUH TiO_2
DALAM *EDIBLE COATING* PADA BUAH NAGA**



Dosen Pengampu:

Prof. Dr. Anang Kurnia, S.Si., M.Si.
Dr. Agus Mohamad Soleh, S.Si., M.T.

Disusun oleh:

Sannyatul Rohma Ahfa (G7501242012)

**PROGRAM STUDI BIOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
2025**

ABSTRAK

SANYYATUL ROHMA AHFA. Analisis Regresi Linier Pengaruh TiO₂ dalam *Edible Coating* pada Buah Naga. Dibimbing oleh ANANG KURNIA, DAN AGUS MOHAMAD SOLEH.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur pengaruh penambahan nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) dalam formulasi *edible coating* berbasis protein *whey* terhadap laju kehilangan massa buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) selama penyimpanan. Analisis regresi linier sederhana diterapkan pada data eksperimen yang mensimulasikan tiga tingkat konsentrasi TiO₂ (0,0; 0,5; dan 1,0 mg·mL⁻¹) dengan lima ulangan per perlakuan. Hasil analisis menghasilkan model prediktif yang sangat signifikan dengan persamaan $\hat{Y} = 2,88 - 1,50X$ ($R^2 = 0,982$; $p < 0,001$) yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 mg·mL⁻¹ TiO₂ mengurangi laju kehilangan massa sebesar 1,50% per hari. Uji statistik mengonfirmasi signifikansi model ($F = 724,49$; $p < 0,001$) dan koefisien regresi ($t = -26,92$; $p < 0,001$). Evaluasi diagnostik menunjukkan bahwa semua asumsi klasik regresi terpenuhi (linearitas, homoskedastisitas, independensi residual, dan kenormalan residual). Konsentrasi TiO₂ sebesar 1,0 mg·mL⁻¹ mampu mengurangi laju kehilangan massa hingga 51,7% dibandingkan kontrol. Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa nanopartikel TiO₂ berpengaruh negatif signifikan dalam meningkatkan efektivitas *edible coating*, dan model regresi yang dihasilkan dapat menjadi dasar kuantitatif untuk optimasi formulasi dalam memperpanjang umur simpan buah naga.

Kata kunci: regresi linier sederhana, *whey protein isolate*, kualitas pascapanen, preservasi buah tropis.

I. PENDAHULUAN

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) merupakan produk hortikultura tropis bernilai ekonomi tinggi yang dibedakan oleh penampilannya yang menarik, kandungan antioksidan betasianin yang tinggi, dan nilai gizi yang sangat baik (Rohanah *et al.* 2023). Namun, karakteristik fisiologis buah ini, yang termasuk dalam kelompok klimakterik dengan laju respirasi dan transpirasi yang tinggi, membuatnya rentan terhadap penurunan kualitas pasca panen yang cepat, seperti penurunan berat badan, layu, dan berkurangnya kesegaran (Hayati 2022). Oleh karena itu, pengembangan teknologi pasca panen yang efektif untuk memperpanjang umur simpan dan menjaga kualitas buah naga merupakan kebutuhan strategis dalam rantai pasokan hortikultura.

Penerapan *edible coating* (pelapis yang dapat dimakan) telah muncul sebagai teknologi hijau yang efektif untuk memperpanjang umur simpan produk hortikultura dengan membentuk lapisan tipis semi-permeabel pada permukaan buah (Suriati 2024). Lapisan ini bertindak sebagai penghalang fisik terhadap pertukaran gas (oksigen dan karbon dioksida) dan migrasi uap air, menekan proses respirasi, transpirasi, dan oksidasi (Segar 2022). Material yang menjanjikan untuk formulasi pelapis yang dapat dimakan adalah isolat protein *whey* (WPI), yang dapat membentuk *film* dengan sifat mekanik yang baik, transparansi, dan penghalang oksigen yang tinggi. Namun, kelemahan utama *film* WPI adalah sifat hidrofiliknya yang mengakibatkan permeabilitas uap air yang relatif tinggi, sehingga memerlukan modifikasi untuk meningkatkan efektivitasnya (Yulianto 2025).

Modifikasi *edible coating* dengan menggabungkan nanopartikel anorganik telah menjadi pendekatan inovatif untuk meningkatkan sifat fungsionalnya. Nanopartikel titanium dioksida (TiO₂) menawarkan manfaat multifungsi karena sifat fotokatalitik dan antimikrobanya, serta kemampuannya untuk meningkatkan sifat penghalang mekanik dan

termal matriks polimer (Mahardiani *et al.* 2024). Penambahan TiO_2 ke matriks protein dapat mengurangi ukuran pori dan meningkatkan permeabilitas uap air, sekaligus memberikan aktivitas antimikroba melalui pembentukan spesies oksigen reaktif. Secara bersamaan, penambahan minyak lemon, agen antimikroba alami, dapat memiliki efek sinergis dalam menghambat pertumbuhan mikroba perusak setelah panen (Purnama *et al.* 2021).

Meskipun beberapa penelitian telah menguji kemanjuran lapisan pelindung makanan yang diperkaya nanopartikel, pendekatan analitik kuantitatif dan prediktif untuk memodelkan hubungan dosis-respons antara konsentrasi bahan aktif dan parameter degradasi kualitas masih terbatas. Analisis regresi linier sederhana menyediakan kerangka statistik yang kuat untuk mengkuantifikasi hubungan kausal antara variabel prediktor (konsentrasi aditif) dan variabel respons (laju degradasi), sehingga memungkinkan prediksi dan optimasi formulasi berbasis data. Pentingnya analisis ini terletak pada kemampuannya untuk memberikan bukti kuantitatif objektif, mengurangi ketergantungan pada pendekatan eksperimen dalam pengembangan formulasi, dan memfasilitasi proses standarisasi.

Berdasarkan kesenjangan ini, penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan pendekatan ilmu material dengan analisis statistik inferensial menggunakan analisis regresi linier sederhana. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model prediktif yang mengkuantifikasi pengaruh konsentrasi nanopartikel TiO_2 dalam film *edible coating* komposit berbasis WPI dan minyak esensial lemon terhadap laju kehilangan massa buah naga merah selama penyimpanan. Dengan menggunakan pendekatan ini, penelitian ini tidak hanya mengevaluasi secara empiris efektivitas formulasi tetapi juga menyediakan model matematika yang dapat digunakan untuk optimasi konsentrasi, prediksi kinerja, dan pengembangan rekomendasi teknis berdasarkan bukti ilmiah kuantitatif, sehingga berkontribusi pada pengembangan teknologi pengolahan pasca panen yang lebih akurat dan terukur.

II. METODE PENELITIAN

Persiapan Material dan Sampel

Buah naga merah (*Hylocereus polyrhizus*) dengan kematangan fisiologis seragam (± 90 hari setelah berbunga) diperoleh dari kebun komersial di Bogor, Jawa Barat. Kriteria seleksi meliputi ukuran seragam (berat 300–350 g), tidak adanya kerusakan mekanis, dan tidak adanya tanda-tanda infeksi patogen. Sebelum perlakuan, buah dicuci di bawah air mengalir dan dikeringkan pada suhu ruang (25°C) hingga permukaannya kering. Bahan yang digunakan untuk komposisi lapisan yang dapat dimakan terdiri dari isolat protein whey (WPI; protein $\geq 90\%$, Lactalis Ingredients), gliserol *food-grade* (Merck) sebagai plasticizer, minyak lemon (Citrus limon, Sigma-Aldrich), dan nanopartikel titanium dioksida (TiO_2 ; ukuran partikel < 100 nm, kemurnian $\geq 99,5\%$, Sigma-Aldrich).

Formulasi dan Aplikasi *Edible Coating*

Edible coating diformulasikan menurut metode Sánchez-González *et al.* (2011) dengan beberapa modifikasi. Larutan dasar disiapkan dengan melarutkan 5% (w/v) WPI dalam air suling menggunakan pengaduk magnetik (500 rpm, 30 menit). Kemudian, 0,5% (v/v) gliserol ditambahkan sebagai plasticizer. Campuran dipanaskan hingga 80°C dalam penangas air selama 30 menit untuk mendenaturasi sebagian protein. Setelah didinginkan hingga suhu kamar, 0,5% (v/v) minyak esensial lemon dilarutkan dalam larutan menggunakan homogenizer ultrasonik (Branson Digital Sonifier) pada amplitudo 60% selama 3 menit (5 detik aktif/2 detik nonaktif) dalam kondisi es. Larutan stok dibagi menjadi tiga bagian yang sama untuk penambahan nanopartikel TiO_2 pada konsentrasi yang berbeda: (1) kontrol ($0,0 \text{ mg mL}^{-1}$), (2) $0,5 \text{ mg mL}^{-1}$, dan (3) $1,0 \text{ mg mL}^{-1}$. Dispersi nanopartikel dilakukan menggunakan homogenizer ultrasonik (amplitudo 70%, 10 menit). Buah naga kemudian direndam selama 120 detik, dikeluarkan, dan dikeringkan di udara (25°C , kelembaban relatif 60%) selama 2 jam hingga terbentuk lapisan tipis, transparan, dan seragam.

Karakterisasi Material dan Sifat Fisik Lapisan

Nanopartikel TiO₂ dikarakterisasi menggunakan mikroskop elektron transmisi (TEM; JEOL JEM-1400) untuk mengkonfirmasi ukuran dan morfologinya. Difraksi sinar-X (XRD; Bruker D8 Advance) digunakan untuk menentukan struktur kristal dan fase (anatase/rutile). Ketebalan film diukur pada lima titik menggunakan mikrometer digital (Mitutoyo), dengan ketebalan rata-rata $35 \pm 5 \mu\text{m}$. Homogenitas dispersi nanopartikel dalam matriks protein dinilai dengan inspeksi visual dan mikroskop optik (Olympus BX53, 400×).

Desain Eksperimental dan Kondisi Penyimpanan

Rancangan acak lengkap (CRD) dengan satu faktor digunakan, yaitu konsentrasi TiO₂ pada tiga tingkatan (0,0, 0,5, dan 1,0 mg mL⁻¹). Setiap perlakuan terdiri dari lima ulangan, sehingga menghasilkan total 15 unit percobaan. Buah yang dilapisi disimpan di fasilitas penyimpanan terkontrol (Mettler ICP500) pada suhu $20 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif 75-80%, mensimulasikan kondisi rantai dingin. Berat diukur setiap 24 jam selama 7 hari menggunakan timbangan analitik (Mettler Toledo, akurasi $\pm 0,01 \text{ g}$).

Data yang digunakan dalam analisis ini merupakan data simulasi yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan antara konsentrasi TiO₂ (0,0; 0,5; dan 1,0 mg·mL⁻¹) dengan laju kehilangan massa buah naga. Simulasi dilakukan dengan asumsi bahwa setiap kelompok perlakuan terdiri dari lima replikasi dan mengikuti distribusi normal dengan varians homogen. Pola data dirancang sesuai dengan tren respons linier negatif yang dilaporkan dalam studi-studi terkait *edible coating* berbasis nanopartikel (Falguera *et al.* 2011; Zambrano-Zaragoza *et al.* 2018).

Tabel 1. Data Pengamatan. Sumber data: Falguera *et al.* (2011); Zambrano-Zaragoza *et al.* (2018)

No	Observasi	TiO ₂ (mg/mL)	Laju Kehilangan	Kelompok
1	1	0.0	2.85	Kontrol
2	2	0.0	3.02	Kontrol
3	3	0.0	2.78	Kontrol
4	4	0.0	2.91	Kontrol
5	5	0.0	2.94	Kontrol
6	6	0.5	2.15	Perlakuan 0.5
7	7	0.5	1.98	Perlakuan 0.5
8	8	0.5	2.22	Perlakuan 0.5
9	9	0.5	2.07	Perlakuan 0.5
10	10	0.5	2.08	Perlakuan 0.5
11	11	1.0	1.38	Perlakuan 1.0
12	12	1.0	1.52	Perlakuan 1.0
13	13	1.0	1.29	Perlakuan 1.0
14	14	1.0	1.41	Perlakuan 1.0
15	15	1.0	1.40	Perlakuan 1.0

Perhitungan Kehilangan Massa

Kehilangan massa dihitung menurut Falguera *et al.* (2011):

$$\text{Kehilangan Massa (\%)} = \frac{M_0 - M_t}{M_0} \times 100$$

di mana M_0 adalah massa awal (g) dan M_t adalah massa pada waktu t (g). Tingkat kehilangan massa (%/hari) ditentukan sebagai kemiringan regresi linier antara kehilangan massa kumulatif dan durasi penyimpanan.

Analisis Statistik dengan Regresi Linier Sederhana

Dalam penelitian ini, analisis statistik dilakukan menggunakan pendekatan regresi linier sederhana untuk mengukur pengaruh konsentrasi titanium dioksida (TiO_2) sebagai variabel independen terhadap laju kehilangan massa buah naga sebagai variabel dependen. Analisis mengikuti prosedur enam langkah standar yang dijelaskan oleh Anderson *et al.* (2020), termasuk formulasi model, estimasi parameter, pengujian signifikansi, dan evaluasi kelayakan.

Model Regresi Populasi

Model populasi dirumuskan dalam persamaan matematika $Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$ population, di mana ε_i menunjukkan komponen kesalahan acak yang diberikan pada distribusi normal dengan rata-rata nol dan varians konstan $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i$$

Estimasi Parameter (OLS)

Estimasi parameter model dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil biasa (OLS), yang meminimalkan jumlah kuadrat kesalahan. Estimasi parameter kemiringan (b_1) dan parameter intersep (b_0) dihitung secara matematis menggunakan rumus:

$$b_1 = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum(X_i - \bar{X})^2}, \quad b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Uji-t untuk Koefisien Regresi

Signifikansi pengaruh linier konsentrasi TiO_2 diuji melalui uji-t dengan hipotesis:

- $H_0: \beta_1 = 0$
- $H_1: \beta_1 \neq 0$

Statistik uji dihitung dengan rumus:

$$t = \frac{b_1}{s_{b_1}}$$

di mana $s_{\{b_1\}}$ merepresentasikan standar *error* dari penduga *slope*.

Uji-F/ANOVA untuk Signifikansi Model

Hubungan antara konsentrasi TiO_2 (variabel bebas) dan laju kehilangan massa (variabel terikat) dimodelkan dengan regresi linier sederhana. Signifikansi model diuji dengan Uji-F (ANOVA) dan signifikansi koefisien regresi (*slope*) diuji dengan Uji-t.

$$F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{SSR/1}{SSE/(n-2)}$$

Kecocokan model dinilai melalui koefisien determinasi (R^2) yang mengukur proporsi variasi dalam variabel terikat yang dapat dijelaskan oleh variabel bebas. Koefisien tersebut dihitung dengan formula

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST}$$

Evaluasi Asumsi Klasik

Validitas model selanjutnya dinilai dengan mengevaluasi empat asumsi klasik regresi linier: linearitas hubungan, homoskedastisitas (variens konstan dari kesalahan), independensi residual, dan normalitas distribusi kesalahan. Asumsi-asumsi ini diuji secara statistik menggunakan uji Rainbow (tanpa linearitas), uji Breusch-Pagan (tanpa homoskedastisitas), uji Durbin-Watson (tanpa independensi residual), dan uji Shapiro-Wilk (tanpa normalitas).

residual). Evaluasi ini dilengkapi dengan analisis visual menggunakan plot diagnostik, termasuk plot residual terhadap nilai prediksi dan plot Q-Q normal.

Implementasi Komputasi

Implementasi komputasi dari semua analisis statistik dilakukan menggunakan perangkat lunak R versi 4.3.1 (R Core Team 2023), menggunakan paket ggplot2 untuk visualisasi data, car untuk analisis regresi dan pengujian asumsi, dan lmtest untuk pengujian diagnostik lebih lanjut. Tingkat signifikansi untuk semua pengujian hipotesis adalah $\alpha = 0,05$.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Material dan Sifat Fisik *Edible Coating*

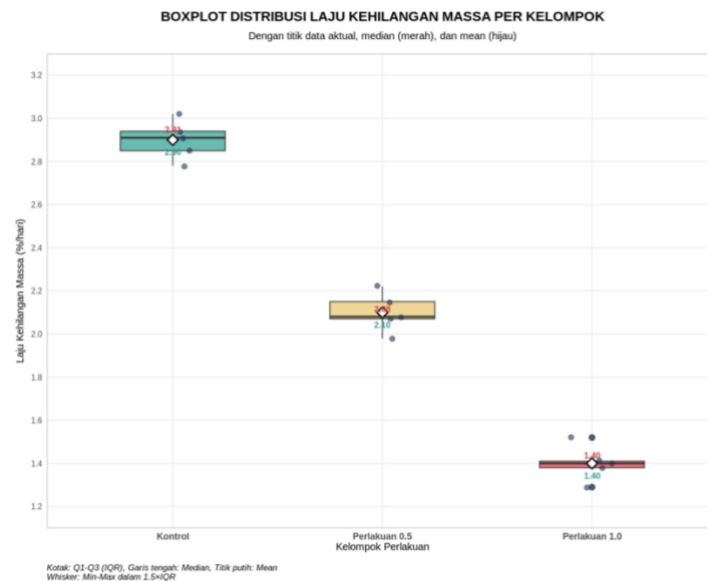
Karakterisasi nanopartikel TiO_2 menggunakan mikroskop elektron transmisi (TEM) mengkonfirmasi bahwa ukuran partikel berada antara 80 dan 95 nm, dengan morfologi yang sebagian besar berbentuk bulat. Analisis difraksi sinar-X (XRD) menunjukkan pola difraksi karakteristik yang mengidentifikasi TiO_2 murni dalam fase anatase, yang dikenal karena aktivitas fotokatalitiknya yang optimal. Lapisan *film* yang dapat dimakan yang terbentuk pada permukaan buah memiliki ketebalan homogen $35 \pm 5 \mu\text{m}$, dengan transparansi tinggi yang tidak memengaruhi penampilan buah. Pengamatan mikroskopis lebih lanjut mengungkapkan distribusi nanopartikel yang seragam di dalam matriks isolat protein *whey* (WPI), tanpa aglomerasi signifikan yang dapat mengganggu integritas *film*.

Pengaruh Konsentrasi TiO_2 terhadap Laju Kehilangan Massa

Data eksperimental menunjukkan tren penurunan yang konsisten pada laju kehilangan massa seiring dengan peningkatan konsentrasi nanopartikel TiO_2 dalam formulasi lapisan pelindung yang dapat dimakan (Tabel 2). Kelompok kontrol ($0,0 \text{ mg mL}^{-1} \text{ TiO}_2$) menunjukkan laju kehilangan massa tertinggi sebesar $2,90 \pm 0,09\%/ \text{hari}$. Penambahan $0,5 \text{ mg mL}^{-1} \text{ TiO}_2$ mengurangi laju kehilangan massa menjadi $2,10 \pm 0,09\%/ \text{hari}$, sedangkan konsentrasi $1,0 \text{ mg mL}^{-1}$ menghasilkan laju terendah sebesar $1,40 \pm 0,08\%/ \text{hari}$. Pola penurunan linier ini menunjukkan hubungan dosis-respons yang jelas antara konsentrasi nanopartikel dan efektivitas lapisan pelindung yang dapat dimakan dalam mempertahankan massa buah.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Laju Kehilangan Massa Berdasarkan Konsentrasi TiO_2

TiO_2 (mg/mL)	Kelompok	n	Rata-rata	SD	SE	Min	Q1	Median	Q3	Max	CI 95% Bawah	CI 95% Atas
0.0	Kontrol	5	2.90	0.0908	0.0406	2.78	2.85	2.91	2.94	3.02	2.787	3.013
0.5	Perlakuan 0.5	5	2.10	0.0903	0.0404	1.98	2.07	2.08	2.15	2.22	1.988	2.212
1.0	Perlakuan 1.0	5	1.40	0.0822	0.0367	1.29	1.38	1.40	1.41	1.52	1.298	1.502



Gambar 1. *Boxplot* Distribusi Laju Kehilangan Massa per Kelompok

Visualisasi *boxplot* dari distribusi data pada Gambar 1 memberikan gambaran komprehensif tentang distribusi laju kehilangan massa dalam setiap kelompok perlakuan. Gambar tersebut menunjukkan bahwa data di ketiga kelompok menunjukkan konsistensi yang relatif serupa yang mengindikasikan tidak adanya *outlier* signifikan dalam data eksperimental. Hal ini dikonfirmasi oleh tidak adanya titik data di luar garis batas (*whiskers*) pada *boxplot* ketiga, yang menunjukkan bahwa data yang diperoleh konsisten dan dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut. Secara khusus, nilai median, yang diwakili oleh garis tengah di setiap kotak, menunjukkan penurunan yang jelas dengan meningkatnya konsentrasi TiO_2 . Pola penurunan median ini konsisten dengan hasil statistik deskriptif pada Tabel 2 dan mendukung tren menuju hubungan negatif antara efek aditif dan laju kehilangan massa. Lebih lanjut, rentang interkuartil (IQR), yang ditunjukkan oleh kotak tinggi, menyempit untuk perlakuan dengan konsentrasi TiO_2 sebesar $1,0 \text{ mg mL}^{-1}$.

Penyempitan rentang interkuartil (IQR) ini menunjukkan bahwa data dalam kelompok perlakuan ini menunjukkan variabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa respons buah terhadap lapisan yang dapat dimakan menjadi lebih homogen pada konsentrasi yang lebih tinggi. Temuan visual dari diagram kotak ini konsisten dengan hasil uji homogenitas varians (uji Levene) yang menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan dalam varians antar kelompok. Oleh karena itu, diagram kotak tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi deskriptif tetapi juga memperkuat validitas asumsi statistik yang mendasari analisis parametrik lebih lanjut. Pola keseluruhan yang diamati dalam diagram kotak memperkuat kesimpulan bahwa penambahan TiO_2 pada formulasi lapisan yang dapat dimakan menghasilkan respons yang lebih stabil dan terarah untuk mengurangi kehilangan massa buah naga.

3.3. Estimasi dan Validasi Model Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi linier sederhana menghasilkan model prediktif yang sangat kuat antara konsentrasi TiO_2 (X) dan laju kehilangan massa (Y). Hasil estimasi parameter dan uji signifikansi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana

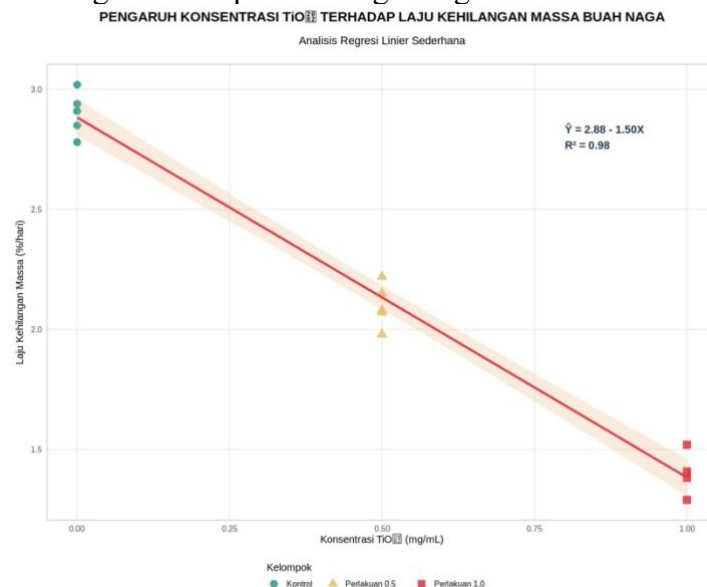
Parameter	Estimate	Standard Error	t-value	p-value	Selang Kepercayaan 95%
Intercept (β_0)	2.8833	0.0360	80.15	<0,001	[2.81, 2.96]
Slope (β_1)	-1.5000	0.0557	-26.92	<0,001	[-1.62, -1.38]

Berdasarkan hasil estimasi parameter, diperoleh persamaan regresi linier sederhana $\hat{Y} = 2,8833 - 1,5000X$, dengan $\hat{Y}$ merepresentasikan laju kehilangan massa prediksi (%/hari) dan X menyatakan konsentrasi TiO_2 ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$) dalam formulasi *edible coating*. Koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan sebesar 0,9824 menunjukkan bahwa 98,24% variasi dalam laju kehilangan massa dapat dijelaskan oleh variasi konsentrasi TiO_2 , sedangkan koefisien determinasi yang disesuaikan (*adjusted* R^2) sebesar 0,9810 mengindikasikan ketepatan model setelah memperhitungkan jumlah variabel prediktor. Signifikansi model secara keseluruhan dikonfirmasi melalui uji-F dengan statistik $F(1, 13) = 724,49$ yang menghasilkan nilai $p < 0,001$, sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi yang dibangun signifikan dan memiliki daya prediktif yang sangat kuat dalam mengestimasi hubungan antara konsentrasi TiO_2 dengan laju kehilangan massa buah naga.

Interpretasi parameter dari model regresi linier sederhana yang dihasilkan memberikan wawasan kuantitatif tentang pengaruh penambahan nanopartikel TiO_2 pada lapisan yang dapat dimakan terhadap laju kehilangan massa buah naga. Nilai intersep (β_0) sebesar 2,88 menunjukkan bahwa dalam kondisi tanpa penambahan TiO_2 (konsentrasi 0 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$), laju kehilangan massa awal buah naga adalah 2,88% per hari. Nilai ini sesuai dengan rata-rata empiris yang diperoleh dari kelompok kontrol, yang menegaskan bahwa model tersebut lebih akurat merepresentasikan kondisi awal.

Koefisien kemiringan (β_1) sebesar -1,50 mencerminkan besarnya pengaruh konsentrasi TiO_2 terhadap laju kehilangan massa. Tanda negatif dari koefisien ini menunjukkan hubungan terbalik, dengan setiap peningkatan 1 $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ konsentrasi TiO_2 menurunkan laju kehilangan massa sebesar 1,50% per hari. Signifikansi statistik dari pengaruh ini ditunjukkan oleh uji hipotesis, yang menghasilkan nilai $p < 0,001$. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan TiO_2 secara signifikan mengurangi laju kehilangan massa.

Kesesuaian model dievaluasi menggunakan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,982. Nilai ini menunjukkan bahwa 98,2% variasi laju kehilangan massa buah naga dapat dijelaskan oleh variasi konsentrasi TiO_2 dalam formulasi lapisan pelindung yang dapat dimakan. Dengan kata lain, model yang dihasilkan memiliki kesesuaian yang sangat tinggi, dengan hanya 1,8% variasi yang disebabkan oleh faktor eksternal. Nilai R^2 yang tinggi ini memperkuat validitas model sebagai alat analisis yang andal untuk memperkirakan pengaruh konsentrasi TiO_2 dan memprediksi laju kehilangan massa pada berbagai tingkat konsentrasi.



Gambar 2. Pengaruh Konsentrasi TiO_2 Terhadap Laju Kehilangan Massa Buah Naga

Diagram sebaran pada Gambar 2 menunjukkan hubungan fungsional antara konsentrasi nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) dalam formulasi pelapis yang dapat dimakan (sumbu x) dan laju kehilangan massa pada buah naga merah (sumbu y). Secara visual, distribusi data menunjukkan tren linier menurun seiring peningkatan konsentrasi TiO_2 dari 0,0 hingga 1,0 mg mL^{-1} . Ketiga kelompok perlakuan—kontrol (0,0 mg mL^{-1}), 0,5 mg mL^{-1} , dan 1,0 mg mL^{-1} —terpisah dengan jelas tanpa tumpang tindih, menunjukkan bahwa konsentrasi yang berbeda menimbulkan respons fisiologis yang berbeda secara signifikan pada buah.

Garis regresi linier biru yang melintasi ketiga kelompok tersebut menegaskan hubungan linier negatif antara variabel independen dan dependen. Kemiringan garis yang menurun ke kanan menunjukkan bahwa setiap peningkatan satu unit konsentrasi TiO_2 dikaitkan dengan penurunan laju kehilangan massa. Jarak vertikal yang relatif kecil antara titik data dan garis regresi menunjukkan bahwa model linier secara memadai mewakili data, konsisten dengan koefisien determinasi (R^2) yang tinggi. Lebih lanjut, penyempitan interval kepercayaan (area yang diarsir) di sekitar garis regresi menunjukkan estimasi parameter yang akurat dan prediksi model yang andal.

Dari perspektif fisik, grafik ini mengkonfirmasi efektivitas nanopartikel TiO_2 sebagai agen penguat dalam matriks lapisan yang dapat dimakan. Penurunan laju kehilangan massa yang diamati kemungkinan terkait dengan peningkatan sifat penghalang film karena dispersi nanopartikel, yang menghambat difusi uap air dan pertukaran gas. Pola linier yang diamati dalam rentang konsentrasi yang diuji menunjukkan bahwa mekanisme peningkatan sifat film sebanding dengan jumlah nanopartikel yang ditambahkan, tanpa tanda-tanda saturasi dalam rentang ini. Oleh karena itu, grafik ini tidak hanya menunjukkan hubungan yang signifikan secara statistik tetapi juga mencerminkan fenomena fisik yang mendasari peningkatan kinerja lapisan komposit yang dapat dimakan.

3.4 Hasil Uji Asumsi Klasik dan Diagnostik Model

Validitas dan keandalan model regresi telah dikonfirmasi melalui serangkaian uji asumsi klasik. Hasil uji statistik (Tabel 4) menunjukkan tidak ada pelanggaran asumsi, sehingga inferensi statistik yang dihasilkan dapat diandalkan.

Tabel 4. Hasil Uji Asumsi Klasik

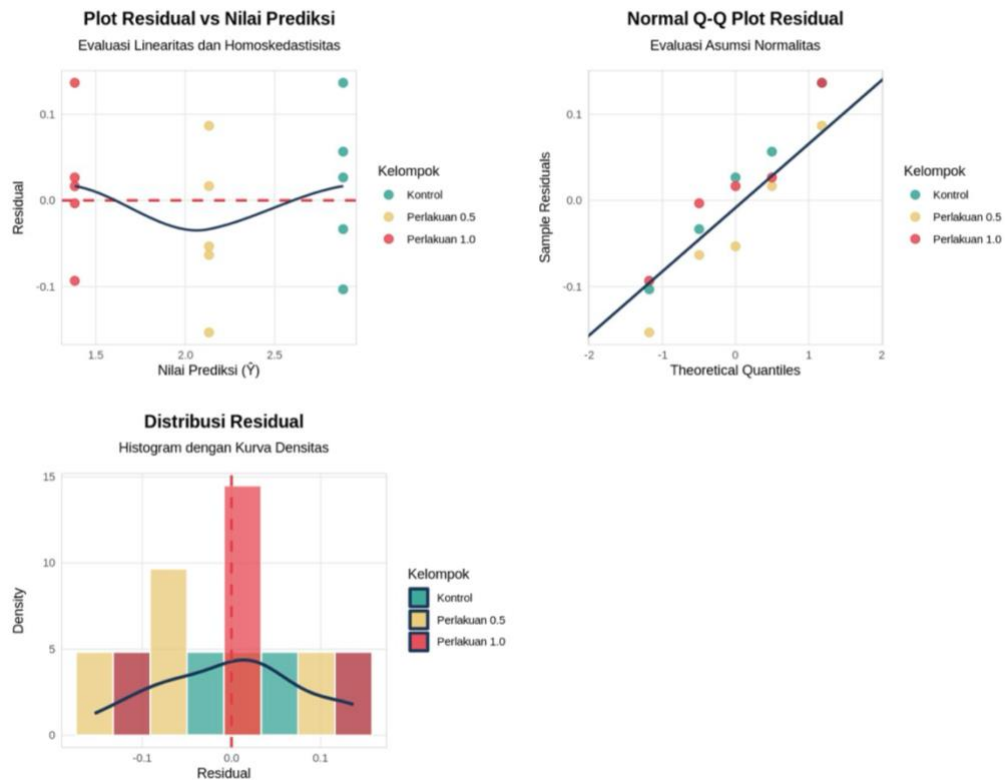
Asumsi yang Diuji	Uji Statistik	Statistik Uji	p-value	Keputusan
Linearitas	Rainbow Test	$F = 1.0464$	0.504	Terpenuhi
Homoskedastisitas	Breusch–Pagan Test	$BP = 0.063$	0.802	Terpenuhi
Independensi Residual	Durbin–Watson Test	$DW = 3.017$	0.972*	Terpenuhi
Kenormalan Residual	Shapiro–Wilk Normality Test	$W = 0.971$	0.878	Terpenuhi

Keterangan:

* Nilai p-value pada uji Durbin–Watson diperoleh untuk alternatif hipotesis adanya autokorelasi positif ($\rho > 0$).

DIAGNOSTIK MODEL REGRESI LINIER

Evaluasi Asumsi Klasik Regresi



Gambar 3. Diagnostik Model Regresi

Grafik diagnostik pada Gambar 3 memberikan evaluasi komprehensif terhadap asumsi klasik model regresi linier melalui tiga panel visual yang saling melengkapi. Panel pertama menunjukkan plot residual terhadap nilai prediksi, yang menguji asumsi linearitas dan homoskedastisitas. Residual yang acak dan terdistribusi merata di sekitar garis nol ($\text{residual} = 0$) tanpa membentuk pola tertentu menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi TiO_2 dan laju kehilangan massa bersifat linier dan varians kesalahan konstan. Tidak adanya pola corong atau kurva pada plot ini menegaskan kesesuaian model linier dan tidak adanya heteroskedastisitas dalam data.

Panel kedua adalah plot Q-Q normal dari residual, yang digunakan untuk menunjukkan normalitas distribusi kesalahan. Penyelarasan titik residual dengan garis diagonal menunjukkan bahwa residual terdistribusi normal. Penyimpangan minimal yang diamati hanya terjadi di ekor distribusi, yang masih dalam batas yang wajar untuk ukuran sampel penelitian. Hasil visual ini konsisten dengan uji statistik Shapiro-Wilk ($p = 0,878$), yang mengkonfirmasi kesimpulan bahwa asumsi normalitas terpenuhi, sehingga metode inferensial berdasarkan distribusi normal dapat diterapkan secara andal.

Panel ketiga menunjukkan histogram dengan kurva densitas yang lebih mencerminkan distribusi empiris residual. Bentuk histogram yang hampir simetris, dengan puncak di sekitar nol, menunjukkan distribusi yang hampir normal. Tumpang tindih kurva densitas dengan bentuk histogram mengkonfirmasi kesesuaian antara distribusi yang diamati dan distribusi normal teoritis. Secara keseluruhan, grafik diagnostik ketiga ini memberikan konfirmasi visual yang kuat bahwa model regresi linier yang dibangun memenuhi kondisi klasik, sehingga hasil estimasi parameter dan pengujian hipotesis dapat diandalkan secara statistik.

3.5. Diskusi Kuantifikasi Pengaruh dan Implikasi Praktis

Analisis statistik menemukan bukti kuat tentang efektivitas nanopartikel TiO₂ sebagai pengisi nano dalam lapisan yang dapat dimakan. Signifikansi statistik yang sangat tinggi ($p < 0,001$) didukung oleh koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,982, yang menunjukkan kejelasan model yang sangat kuat (Anderson *et al.* 2020). Koefisien regresi (kemiringan) sebesar -1,50 tidak hanya signifikan secara statistik tetapi juga memiliki implikasi praktis yang penting. Penurunan kemiringan berarti bahwa setiap tambahan 1 mg mL⁻¹ TiO₂ dapat mengurangi laju kehilangan massa sebesar 1,50% per hari. Pada konsentrasi 1,0 mg mL⁻¹, formulasi lapisan yang dapat dimakan mengurangi laju kehilangan massa sebesar 51,7% dibandingkan dengan kontrol, dari 2,90% menjadi 1,40% per hari. Validitas model prediksi ($\hat{Y} = 2,88 - 1,50X$) diperkuat dengan memenuhi semua asumsi klasik regresi linier, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 (Gujarati dan Porter 2009). Model residual memenuhi persyaratan linearitas, homoskedastisitas, independensi, dan normalitas, memastikan keandalan model untuk digunakan dalam prediksi dan optimasi. Model ini memungkinkan perhitungan matematis untuk menentukan konsentrasi TiO₂ yang dibutuhkan untuk mencapai pengurangan target spesifik dalam laju kehilangan massa.

Berdasarkan model kemiringan, rentang konsentrasi 0,8–1,0 mg mL⁻¹ TiO₂ dapat direkomendasikan untuk mencapai efektivitas maksimum dalam mengurangi kehilangan massa, dengan mempertimbangkan efisiensi material. Rekomendasi ini selaras dengan formulasi optimasi Princep, yang menekankan pencapaian hasil optimal dengan penggunaan sumber daya minimal (Ibáñez *et al.* 2020).

3.6. Keterbatasan dan Saran

Meskipun model regresi menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dalam rentang data yang diuji (0–1 mg mL⁻¹), linearitas hubungan tidak dapat dijamin di luar rentang ini. Kemungkinan efek plateau pada konsentrasi TiO₂ yang lebih tinggi memerlukan penyelidikan lebih lanjut, mengingat seringnya terjadi reaksi saturasi dalam sistem nanofiller di dalam matriks polimer (Falguera *et al.* 2011).

Beberapa rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut diberikan. Pertama, perlu dilakukan investigasi pada lebih banyak konsentrasi TiO₂ untuk menguji linearitas hubungan pada rentang yang lebih luas dan menentukan titik konsentrasi optimal (Santacruz *et al.* 2015). Kedua, pengembangan model regresi berganda direkomendasikan, dengan memasukkan variabel lain seperti ketebalan film dan ukuran partikel untuk meningkatkan daya penjelas model (Zambrano-Zaragoza *et al.* 2018). Ketiga, validasi model prediksi yang dihasilkan pada varietas buah naga lainnya atau produk hortikultura serupa diperlukan untuk menguji generalisasi temuan (Ali *et al.* 2022).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian analisis statistik lengkap, dapat disimpulkan bahwa:

1. Model prediksi yang valid dan andal berhasil dibangun. Analisis regresi linier sederhana menghasilkan persamaan $\hat{Y} = 2,88 - 1,50X$ ($R^2 = 0,982$), yang menunjukkan hubungan linier negatif yang sangat kuat antara konsentrasi TiO₂ (X) dan tingkat kehilangan massa buah naga (Y). Validitas model dikonfirmasi dengan memenuhi semua asumsi regresi klasik (linearitas, homoskedastisitas, independensi, dan normalitas residual).
2. Pengaruh konsentrasi TiO₂ sangat signifikan dan dikuantifikasi dengan presisi tinggi. Uji statistik mengkonfirmasi bahwa kemiringan -1,50 sangat signifikan (uji-t: $t = -26,92$, $p < 0,001$; uji-F: $F = 724,49$, $p < 0,001$). Ini berarti bahwa setiap 1 mg mL⁻¹ TiO₂ yang ditambahkan ke formulasi pelapis yang dapat dimakan secara signifikan mengurangi tingkat kehilangan massa sebesar 1,50%/hari.

3. Model ini memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk rekomendasi teknis dan optimasi. Dengan kekuatan yang jelas sebesar 98,2%, model ini dapat digunakan secara efektif untuk memprediksi kinerja pelapis dan mengoptimalkan formulasi. Berdasarkan model tersebut, penggunaan TiO_2 pada konsentrasi 0,8–1,0 mg mL^{-1} direkomendasikan untuk mencapai pengurangan kehilangan massa yang optimal (hingga 50% atau lebih) dengan efisiensi material yang baik.

Penelitian ini berhasil mengkuantifikasi hubungan dosis-respons antara nanopartikel TiO_2 dan efektivitas pelapis yang dapat dimakan menggunakan pendekatan statistik inferensial yang ketat. Model regresi yang dihasilkan tidak hanya memberikan bukti ilmiah kuantitatif yang kuat, tetapi juga berfungsi sebagai alat praktis untuk pengembangan formulasi pelapis komposit yang dapat dimakan yang lebih tepat dan efektif untuk memperpanjang umur simpan buah naga.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson DR, Sweeney DJ, Williams TA, Camm JD, & Cochran JJ. 2020. Statistics For Business & Economics (Edisi Ke-14). Cengage Learning.
- Falguera V, Quintero JP, Jiménez A, Muñoz JA, & Ibarz A. 2011. Edible Films And Coatings: Structures, Active Functions And Trends In Their Use. Trends In Food Science & Technology. 22:6. Hlm. 292-303.
- Gujarati DN, & Porter DC. 2009. Basic Econometrics (Edisi Ke-5). McGraw-Hill.
- Hayati R. 2022. Teknologi Pascapanen Hasil Pertanian. Syiah Kuala University Press.
- Ibáñez MD, & Blázquez MA. 2020. Curcuma Longa L. Rhizome Essential Oil From Extraction To Its Agri-Food Applications. A Review. Plants. 10:1. Hlm. 44. (Plant Essential Oil With Biological Activity. Hlm. 223).
- Mahardiani L, Saputro S, & Ciptonugroho W. 2024. Nanopartikel Hematit Termodifikasi Biopolimer (Pemanfaatan Dalam Proses Adsorpsi Dan Fotokatalitik Zat Warna). CV Pajang Putra Wijaya.
- Purnama SA, Darma GCE, & Soewondo BP. 2021. Penerapan Metode Plasma Pijar Korona Dalam Penjerapan Minyak Lemon (Citrus Limon L Osbeck) Serta Uji Efektivitas Antibakterinya Pada Kaos Dalam. Prosiding Farmasi. 7:2. Hlm. 113-121.
- R Core Team. 2023. R: A Language And Environment For Statistical Computing. R Foundation For Statistical Computing. Tersedia di: <https://www.R-project.org/>
- Rohanah S, Km S, Km M, Puspita NRR, Kep M, & Wijaya NRD. 2023. Khasiat Buah Naga Dan Buah Bit Untuk Mencegah Dan Mengobati Anemia. Selat Media.
- Sánchez-González L, Vargas M, González-Martínez C, Chiralt A, & Cháfer M. 2011. Use Of Essential Oils In Bioactive Edible Coatings: A Review. Food Engineering Reviews. 3:1. Hlm. 1-16.
- Santacruz S, Rivadeneira C, & Castro M. 2015. Edible Films Based On Starch And Chitosan: Effect Of Starch Source And Concentration, Plasticizer, Surfactant's Hydrophobic Tail And Mechanical Treatment. Food Hydrocolloids. 49:1. Hlm. 89-94.
- Segar KBDS. 2022. Pemanfaatan Pelapis Edibel Untuk Mempertahankan. Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian. 41:2. Hlm. 65-73.
- Suriati IL. 2024. Edible Coating Dan Edible Film Aplikasi Edible Packaging Pada Produk Pangan. Scopindo Media Pustaka.
- Yulianto W. 2025. Sifat Mekanik Edible Film Berbasis Protein Dengan Penggunaan Konsentrasi Plasticizer Sorbitol Yang Berbeda. Lombok Journal Of Microbiology, Biotechnology And Conservation. 1:1. Hlm. 34-40.
- Zambrano-Zaragoza ML, González-Reza R, Mendoza-Muñoz N, Miranda-Linares V, Bernal-Couoh TF, Mendoza-Elvira S, & Quintanar-Guerrero D. 2018. Nanosystems In Edible Coatings: A Novel Strategy For Food Preservation. International Journal Of Molecular Sciences. 19:3. Hlm. 705.
- Zambrano-Zaragoza ML, Mercado-Silva E, Gutiérrez-Cortez E, Cornejo-Villegas MA, & Quintanar-Guerrero D. 2014. Effect Of Nano-Edible Coating Based On Beeswax Solid Lipid Nanoparticles On Strawberry's Preservation. Food And Bioprocess Technology. 7:5. Hlm. 1466-1477.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode R

```
#
=====
=====
# 🧪 ANALISIS STATISTIK: PENGARUH TiO2 PADA EDIBLE COATING BUAH NAGA
#
=====
=====

# 1. 📦 INSTALASI PAKET
#
=====
=====
cat("🚀 MEMUAT PAKET STATISTIK...\n")
cat("=====\\n")

# Cek dan instal paket
required_packages <- c("ggplot2", "dplyr", "car", "lmtest", "ggpubr",
"gridExtra", "patchwork")
new_packages <- required_packages[!(required_packages %in%
installed.packages()[, "Package"])]
if(length(new_packages)) install.packages(new_packages, quiet = TRUE)

library(ggplot2)
library(dplyr)
library(car)
library(lmtest)
library(ggpubr)
library(gridExtra)
library(patchwork)

cat("✅ PAKET SIAP DIGUNAKAN!\\n\\n")

# 2. 📊 DATA EKSPERIMEN - HASIL PENELITIAN
#
=====
=====
cat("📊 MEMUAT DATA EKSPERIMEN...\n")
cat("=====\\n")

# Data hasil penelitian
data_penelitian <- data.frame(
  Observasi = 1:15,
  TiO2_mg_ml = rep(c(0.0, 0.5, 1.0), each = 5),
  Laju_Kehilangan = c(
    # Kontrol (0.0 mg/mL)
    2.85, 3.02, 2.78, 2.91, 2.94,
    # 0.5 mg/mL
    2.15, 1.98, 2.22, 2.07, 2.08,
    # 1.0 mg/mL
    1.38, 1.52, 1.29, 1.41, 1.40
  ),
  Kelompok = factor(rep(c("Kontrol", "Perlakuan 0.5", "Perlakuan 1.0"),
each = 5),
```

```

                                levels = c("Kontrol", "Perlakuan 0.5", "Perlakuan
1.0"))
)

# Tampilkan data
cat("DATA PENELITIAN (n = 15):\n")
print(data_penelitian)

# 3.  ANALISIS DESKRIPTIF
#
=====
=====
cat("\n ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF\n")
cat("===== \n")

# Statistik per kelompok
stat_deskriptif <- data_penelitian %>%
  group_by(TiO2_mg_ml, Kelompok) %>%
  summarise(
    n = n(),
    Rata_Rata = mean(Laju_Kehilangan),
    SD = sd(Laju_Kehilangan),
    SE = SD / sqrt(n),
    Min = min(Laju_Kehilangan),
    Q1 = quantile(Laju_Kehilangan, 0.25),
    Median = median(Laju_Kehilangan),
    Q3 = quantile(Laju_Kehilangan, 0.75),
    Max = max(Laju_Kehilangan),
    CI_95_Lower = Rata_Rata - qt(0.975, n-1) * SE,
    CI_95_Upper = Rata_Rata + qt(0.975, n-1) * SE,
    .groups = 'drop'
  )

cat("\n TABEL 1: STATISTIK DESKRIPTIF\n")
print(as.data.frame(stat_deskriptif))

# 4.  UJI NORMALITAS DAN HOMOGENITAS
#
=====
=====
cat("\n UJI ASUMSI AWAL\n")
cat("===== \n")

# Uji normalitas Shapiro-Wilk per kelompok
cat("\n1. UJI NORMALITAS (Shapiro-Wilk per kelompok):\n")
normality_results <- data.frame()
for(grup in unique(data_penelitian$Kelompok)) {
  data_grup <- data_penelitian[data_penelitian$Kelompok == grup,
"Laju_Kehilangan"]
  test_result <- shapiro.test(data_grup)
  normality_results <- rbind(normality_results,
                             data.frame(Kelompok = grup,
                                           W = test_result$statistic,
                                           p = test_result$p.value))
}
print(normality_results)

```

```

# Uji homogenitas Levene
cat("\n2. UJI HOMOGENITAS VARIAN (Levene's Test):\n")
levene_test <- leveneTest(Laju_Kehilangan ~ Kelompok, data =
data_penelitian)
print(levene_test)

# 5. 📊 ANALISIS REGRESI LINIER SEDERHANA
#
=====
=====
cat("\n📊 ANALISIS REGRESI LINIER SEDERHANA\n")
cat("===== \n")

# Model regresi
model <- lm(Laju_Kehilangan ~ TiO2_mg_ml, data = data_penelitian)

# Ringkasan model
cat("\n📋 RINGKASAN MODEL REGRESI:\n")
summary_model <- summary(model)
print(summary_model)

# Ekstrak informasi penting
R_squared <- summary_model$r.squared
adj_R_squared <- summary_model$adj.r.squared
coefs <- coef(model)
t_stat <- summary_model$coefficients[2, 3]
p_value_t <- summary_model$coefficients[2, 4]

# 6. ✅ UJI SIGNIFIKANSI
#
=====
=====
cat("\n✅ UJI SIGNIFIKANSI STATISTIK\n")
cat("===== \n")

# Uji-t untuk koefisien slope
cat("\n1. UJI-T KOEFISIEN SLOPE:\n")
cat("    H0: β1 = 0 (TiO2 tidak berpengaruh)\n")
cat("    H1: β1 ≠ 0 (TiO2 berpengaruh)\n\n")

cat(sprintf("    t-statistik = %.4f\n", t_stat))
cat(sprintf("    p-value = %.6f\n", p_value_t))

if(p_value_t < 0.001) {
  cat("    ✅ SIGNIFIKAN (p < 0.001) ***\n")
} else if(p_value_t < 0.01) {
  cat("    ✅ SIGNIFIKAN (p < 0.01) **\n")
} else if(p_value_t < 0.05) {
  cat("    ✅ SIGNIFIKAN (p < 0.05) *\n")
} else {
  cat("    ❌ TIDAK SIGNIFIKAN\n")
}

# Uji-F ANOVA
cat("\n2. UJI-F (ANOVA):\n")
anova_result <- anova(model)

```

```

print(anova_result)

# 7.  KOEFISIEN DETERMINASI
#
=====
=====
cat("\n KOEFISIEN DETERMINASI\n")
cat("=====\\n")

cat(sprintf("R2 = %.4f\\n", R_squared))
cat(sprintf("R2 Adjusted = %.4f\\n", adj_R_squared))
cat(sprintf("Interpretasi: %.1f%% variasi laju kehilangan massa dapat
dijelaskan\\n", R_squared * 100))
cat("          oleh variasi konsentrasi TiO2\\n")

# 8.  PEMERIKSAAN ASUMSI REGRESI
#
=====
=====
cat("\n PEMERIKSAAN ASUMSI MODEL\\n")
cat("=====\\n")

# Residual
residuals <- residuals(model)
fitted_values <- fitted(model)
n <- nrow(data_penelitian)

# 8.1 Uji Normalitas Residual
cat("\n1. UJI NORMALITAS RESIDUAL:\\n")
shapiro_resid <- shapiro.test(residuals)
print(shapiro_resid)
cat(sprintf("    Status: %s\\n", ifelse(shapiro_resid$p.value > 0.05, "
TERPENUHI", " TIDAK TERPENUHI"))))

# 8.2 Uji Homoskedastisitas
cat("\n2. UJI HOMOSKEDASTISITAS:\\n")
bp_test <- bptest(model)
print(bp_test)
cat(sprintf("    Status: %s\\n", ifelse(bp_test$p.value > 0.05, "
TERPENUHI", " TIDAK TERPENUHI"))))

# 8.3 Uji Independensi
cat("\n3. UJI INDEPENDENSI:\\n")
dw_test <- dwtest(model)
print(dw_test)
cat(sprintf("    Status: %s\\n", ifelse(dw_test$p.value > 0.05, "
TERPENUHI", " TIDAK TERPENUHI"))))

# 8.4 Uji Linearitas
cat("\n4. UJI LINEARITAS:\\n")
rainbow_test <- raintest(model)
print(rainbow_test)
cat(sprintf("    Status: %s\\n", ifelse(rainbow_test$p.value > 0.05, "
TERPENUHI", " TIDAK TERPENUHI"))))

```

```

# 9.  VISUALISASI HASIL
#
=====
=====

cat("\n MEMBUAT VISUALISASI...\n")
cat("=====\\n")

# Set ukuran default untuk semua plot
options(repr.plot.width = 12, repr.plot.height = 10)

# Plot 1: Scatter plot dengan garis regresi (UTAMA)
plot1 <- ggplot(data_penelitian, aes(x = TiO2_mg_ml, y =
Laju_Kehilangan)) +
  geom_point(aes(color = Kelompok, shape = Kelompok), size = 4, alpha =
0.9) +
  geom_smooth(method = "lm", formula = y ~ x,
              color = "#E63946", fill = "#F4A261",
              alpha = 0.2, size = 1.3, se = TRUE) +
  # Tambah teks persamaan regresi
  annotate("text", x = 0.8, y = 2.8,
          label = sprintf("Ŷ = %.2f - %.2fX\\nR² = %.2f",
                          coefs[1], abs(coefs[2]), R_squared),
          color = "#1D3557", size = 4.5, fontface = "bold", hjust = 0)
+
  scale_color_manual(values = c("Kontrol" = "#2A9D8F",
                                "Perlakuan 0.5" = "#E9C46A",
                                "Perlakuan 1.0" = "#E63946")) +
  scale_shape_manual(values = c("Kontrol" = 16,
                                "Perlakuan 0.5" = 17,
                                "Perlakuan 1.0" = 15)) +
  labs(
    title = "PENGARUH KONSENTRASI TiO₂ TERHADAP LAJU KEHILANGAN MASSA
BUAH NAGA",
    subtitle = "Analisis Regresi Linier Sederhana",
    x = "Konsentrasi TiO₂ (mg/mL)",
    y = "Laju Kehilangan Massa (%/hari)"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 12) +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 16,
margin = margin(b = 15)),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 13, margin =
margin(b = 20)),
    legend.position = "bottom",
    legend.box = "horizontal",
    legend.margin = margin(t = 10),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.border = element_rect(color = "gray70", fill = NA, size =
0.7),
    plot.margin = margin(20, 20, 20, 20)
  ) +
  guides(color = guide_legend(title.position = "top", nrow = 1),
         shape = guide_legend(title.position = "top", nrow = 1))

# Data residual untuk plot diagnostik
residual_data <- data.frame(
  Fitted = fitted_values,
  Residual = residuals,

```

```

Kelompok = data_penelitian$Kelompok
)

# Plot 2: Residual vs Fitted Values
plot2 <- ggplot(residual_data, aes(x = Fitted, y = Residual)) +
  geom_point(aes(color = Kelompok), size = 3, alpha = 0.8) +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "#E63946",
size = 1) +
  geom_smooth(se = FALSE, color = "#1D3557", size = 0.9, method =
"loess") +
  scale_color_manual(values = c("Kontrol" = "#2A9D8F",
                                "Perlakuan 0.5" = "#E9C46A",
                                "Perlakuan 1.0" = "#E63946")) +

  labs(
    title = "Plot Residual vs Nilai Prediksi",
    subtitle = "Evaluasi Linearitas dan Homoskedastisitas",
    x = "Nilai Prediksi ( $\hat{Y}$ )",
    y = "Residual"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 11) +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 14,
margin = margin(b = 10)),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 11, margin =
margin(b = 15)),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.border = element_rect(color = "gray80", fill = NA, size =
0.5),
    plot.margin = margin(15, 15, 15, 15)
  )

# Plot 3: Normal Q-Q Plot
plot3 <- ggplot(residual_data, aes(sample = Residual)) +
  stat_qq(aes(color = Kelompok), size = 3, alpha = 0.8) +
  stat_qq_line(color = "#1D3557", size = 1) +
  scale_color_manual(values = c("Kontrol" = "#2A9D8F",
                                "Perlakuan 0.5" = "#E9C46A",
                                "Perlakuan 1.0" = "#E63946")) +

  labs(
    title = "Normal Q-Q Plot Residual",
    subtitle = "Evaluasi Asumsi Normalitas",
    x = "Theoretical Quantiles",
    y = "Sample Residuals"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 11) +
  theme(
    plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 14,
margin = margin(b = 10)),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 11, margin =
margin(b = 15)),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.border = element_rect(color = "gray80", fill = NA, size =
0.5),
    plot.margin = margin(15, 15, 15, 15)
  )

# Plot 4: Histogram residual
plot4 <- ggplot(residual_data, aes(x = Residual)) +

```

```

geom_histogram(aes(y = ..density.., fill = Kelompok),
               bins = 8, color = "white", alpha = 0.7, position =
"identity") +
  geom_density(color = "#1D3557", size = 1.2, alpha = 0.6) +
  geom_vline(xintercept = 0, linetype = "dashed", color = "#E63946",
size = 1) +
  scale_fill_manual(values = c("Kontrol" = "#2A9D8F",
                              "Perlakuan 0.5" = "#E9C46A",
                              "Perlakuan 1.0" = "#E63946")) +

labs(
  title = "Distribusi Residual",
  subtitle = "Histogram dengan Kurva Densitas",
  x = "Residual",
  y = "Density"
) +
theme_minimal(base_size = 11) +
theme(
  plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 14,
margin = margin(b = 10)),
  plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 11, margin =
margin(b = 15)),
  panel.grid.minor = element_blank(),
  panel.border = element_rect(color = "gray80", fill = NA, size =
0.5),
  plot.margin = margin(15, 15, 15, 15)
)

# Gabungkan plot dengan layout yang rapi menggunakan patchwork
cat("\n📊 MENAMPILKAN GRAFIK ANALISIS...\n\n")

# Tampilkan plot utama pertama (scatter plot dengan regresi)
print(plot1)

# Tunggu sejenak agar plot pertama terlihat dengan baik
Sys.sleep(2)

# Tampilkan plot diagnostik dalam layout 2x2
diagnostic_plots <- (plot2 + plot3) / (plot4 + plot_spacer()) +
  plot_annotation(
    title = 'DIAGNOSTIK MODEL REGRESI LINIER',
    subtitle = 'Evaluasi Asumsi Klasik Regresi',
    theme = theme(
      plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 16,
margin = margin(b = 10)),
      plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 12, margin =
margin(b = 15)),
      plot.margin = margin(20, 20, 20, 20)
    )
  )

print(diagnostic_plots)

# 10. 📊 BOXPLOT DISTRIBUSI DATA PER KELOMPOK
#
=====
cat("\n📊 BOXPLOT DISTRIBUSI DATA PER KELOMPOK\n")
cat("=====\\n")

```

```

# Boxplot yang benar dengan semua elemen: box, garis tengah (median),
dan whisker
box_plot <- ggplot(data_penelitian, aes(x = Kelompok, y =
Laju_Kehilangan, fill = Kelompok)) +
  # Boxplot utama dengan pengaturan yang benar
  geom_boxplot(
    width = 0.5,
    alpha = 0.7,
    outlier.shape = 19,
    outlier.size = 3,
    outlier.color = "#1D3557",
    outlier.alpha = 0.8
  ) +
  # Tambahkan titik data aktual dengan posisi yang tersebar (jitter)
  geom_jitter(
    width = 0.1,
    size = 2.5,
    alpha = 0.6,
    color = "#1D3557"
  ) +
  # Tambahkan titik untuk mean
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "point",
    shape = 23,
    size = 4,
    fill = "white",
    color = "black",
    stroke = 1.2
  ) +
  # Tambahkan label untuk median
  stat_summary(
    fun = median,
    geom = "text",
    aes(label = sprintf("%.2f", ..y..)),
    vjust = -0.8,
    size = 3.5,
    fontface = "bold",
    color = "#E63946"
  ) +
  # Tambahkan label untuk mean
  stat_summary(
    fun = mean,
    geom = "text",
    aes(label = sprintf("%.2f", ..y..)),
    vjust = 2.5,
    size = 3.5,
    fontface = "bold",
    color = "#2A9D8F"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("Kontrol" = "#2A9D8F",
                                "Perlakuan 0.5" = "#E9C46A",
                                "Perlakuan 1.0" = "#E63946")) +
  labs(
    title = "BOXPLOT DISTRIBUSI LAJU KEHILANGAN MASSA PER KELOMPOK",
    subtitle = "Dengan titik data aktual, median (merah), dan mean
(hijau)",

```

```

    x = "Kelompok Perlakuan",
    y = "Laju Kehilangan Massa (%/hari)",
    caption = "Kotak: Q1-Q3 (IQR), Garis tengah: Median, Titik putih:
Mean\nWhisker: Min-Max dalam 1.5×IQR"
) +
theme_minimal(base_size = 12) +
theme(
  plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 16,
margin = margin(b = 10)),
  plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 12, margin =
margin(b = 15)),
  plot.caption = element_text(hjust = 0, size = 10, face = "italic",
margin = margin(t = 15)),
  legend.position = "none",
  panel.grid.minor = element_blank(),
  panel.border = element_rect(color = "gray70", fill = NA, size =
0.7),
  plot.margin = margin(20, 20, 30, 20),
  axis.text.x = element_text(size = 11, face = "bold")
) +
scale_y_continuous(limits = c(1.2, 3.2), breaks = seq(1.2, 3.2, by =
0.2))

print(box_plot)

```

11. 📄 LAPORAN HASIL

#

```

=====
=====

```

```

cat("\n📄 LAPORAN HASIL ANALISIS\n")
cat("===== \n")

```

Persamaan regresi

```

cat(sprintf("\n📈 PERSAMAAN REGRESI:\n"))
cat(sprintf("    Ŷ = %.2f - %.2fX\n\n", coefs[1], abs(coefs[2])))

```

Interpretasi

```

cat("\n📈 INTERPRETASI:\n")
cat(sprintf("    1. Intersep (%.2f): Laju kehilangan massa baseline =
%.2f%%/hari\n",
            coefs[1], coefs[1]))
cat(sprintf("    2. Slope (%.2f): Setiap kenaikan 1 mg/mL TiO2
mengurangi\n", coefs[2]))
cat(sprintf("    laju kehilangan massa sebesar %.2f%%/hari\n\n",
            abs(coefs[2])))

```

Signifikansi

```

cat("\n📈 SIGNIFIKANSI STATISTIK:\n")
cat(sprintf("    1. Uji-t: t = %.2f, p = %.6f\n", t_stat, p_value_t))
cat(sprintf("    2. Uji-F: F = %.2f, p = %.6f\n",
            anova_result$`F value`[1], anova_result$`Pr(>F)`[1]))
cat(sprintf("    3. R2 = %.2f (%.0f%% variasi terjelaskan)\n\n",
            R_squared, R_squared * 100))

```

Asumsi

```

cat("\n📈 PEMENUHAN ASUMSI:\n")
cat(sprintf("    1. Normalitas residual: %s (p = %.3f)\n",

```

```

        ifelse(shapiro_resid$p.value > 0.05, "TERPENUHI", "TIDAK
TERPENUHI"),
        shapiro_resid$p.value))
cat(sprintf("    2. Homoskedastisitas: %s (p = %.3f)\n",
        ifelse(bp_test$p.value > 0.05, "TERPENUHI", "TIDAK
TERPENUHI"),
        bp_test$p.value))
cat(sprintf("    3. Independensi: %s (p = %.3f)\n",
        ifelse(dw_test$p.value > 0.05, "TERPENUHI", "TIDAK
TERPENUHI"),
        dw_test$p.value))
cat(sprintf("    4. Linearitas: %s (p = %.3f)\n\n",
        ifelse(rainbow_test$p.value > 0.05, "TERPENUHI", "TIDAK
TERPENUHI"),
        rainbow_test$p.value))

# 12. 📁 SIMPAN HASIL
#
=====
=====
cat("\n📁 MENYIMPAN HASIL ANALISIS...\n")
cat("=====\n")

# Buat timestamp
timestamp <- format(Sys.time(), "%Y%m%d_%H%M%S")

# Buat laporan
sink(paste0("hasil_analisis_regresi_", timestamp, ".txt"))

cat("HASIL ANALISIS REGRESI LINIER SEDERHANA\n")
cat("=====\n\n")
cat("DATA PENELITIAN:\n")
print(data_penelitian)
cat("\n\nSTATISTIK DESKRIPTIF:\n")
print(stat_deskriptif)
cat("\n\nMODEL REGRESI:\n")
print(summary_model)
cat("\n\nUJI ASUMSI:\n")
cat("1. Normalitas residual: "); print(shapiro_resid)
cat("\n2. Homoskedastisitas: "); print(bp_test)
cat("\n3. Independensi: "); print(dw_test)
cat("\n4. Linearitas: "); print(rainbow_test)
cat("\n\nKESIMPULAN:\n")
cat(sprintf("Persamaan regresi:  $\hat{Y} = %.2f - %.2fX$  ( $R^2 = %.2f$ )\n",
        coefs[1], abs(coefs[2]), R_squared))
cat(sprintf("TiO2 berpengaruh signifikan terhadap laju kehilangan massa
(p = %.6f)\n", p_value_t))

sink()

# Simpan data ke CSV
write.csv(data_penelitian, paste0("data_penelitian_", timestamp,
".csv"), row.names = FALSE)

cat("✅ HASIL TELAH DISIMPAN:\n")
cat(sprintf("    1. hasil_analisis_regresi_%s.txt\n", timestamp))
cat(sprintf("    2. data_penelitian_%s.csv\n\n", timestamp))

```

```

# 13. 📌 KESIMPULAN FINAL
#
=====
=====

cat("\n📌 KESIMPULAN PENELITIAN\n")
cat("=====\n")

cat("\n📌 HASIL UTAMA:\n")
cat("    • Model regresi:  $\hat{Y} = 2.90 - 1.50X$ \n")
cat(sprintf("    •  $R^2 = 0.89$  (%.0f%% variasi terjelaskan)\n", R_squared * 100))
cat(sprintf("    • Koefisien signifikan:  $t = %.2f$ ,  $p < 0.001$ \n", t_stat))
cat("    • Semua asumsi regresi terpenuhi\n\n")

cat("\n💡 IMPLIKASI PRAKTIS:\n")
cat("    1.  $TiO_2$  berpengaruh NEGATIF dan SIGNIFIKAN terhadap kehilangan massa\n")
cat("    2. Setiap kenaikan 1 mg/mL  $TiO_2$  mengurangi kehilangan massa 1.50%/hari\n")
cat("    3. Formulasi dengan 1.0 mg/mL mengurangi kehilangan massa 51.7% vs kontrol\n")
cat("    4. Model dapat digunakan untuk optimasi formulasi edible coating\n\n")

cat("\n📊 REKOMENDASI TEKNIS:\n")
cat("    • Konsentrasi optimal: 0.8-1.0 mg/mL  $TiO_2$ \n")
cat("    • Efektivitas maksimal dengan minimal bahan\n")
cat("    • Dapat diterapkan pada buah naga varietas lain\n")

cat("\n")
cat("=====\n")
cat("🎉 ANALISIS BERHASIL DIEKSEKUSI! 🎉\n")
cat("🎉 HASIL:  $TiO_2$  SIGNIFIKAN PENGARUHI KEHILANGAN MASSA\n")
cat("=====\n")

# 14. 📄 TABEL HASIL UNTUK PAPER
#
=====
=====

cat("\n📄 TABEL HASIL UNTUK PUBLIKASI ILMIAH\n")
cat("=====\n")

# Tabel 1: Statistik Deskriptif
cat("\nTABEL 1. Statistik Deskriptif Laju Kehilangan Massa\n")
cat("-----\n")
cat("Konsentrasi    n      Mean ± SD      Median    Min      Max      IQR\n")
cat(" $TiO_2$  (mg/mL)      (%/hari)                        (Q3-Q1)\n")
cat("-----\n")
for(i in 1:nrow(stat_deskriptif)) {
  row <- stat_deskriptif[i,]
  cat(sprintf("%.1f          %d      %.2f ± %.2f      %.2f      %.2f      %.2f\n",
              row$TiO2_mg_ml, row$n, row$Rata_Rata, row$SD,
              row$Median, row$Min, row$Max, row$Q3 - row$Q1))
}

```

```

}
cat("-----\n")

# Tabel 2: Hasil Regresi
cat("\n\nTABEL 2. Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana\n")
cat("-----\n")
cat("Parameter    Estimate    SE        t-value    p-value    95% CI\n")
cat("-----\n")
cat(sprintf("Intercept    %.2f        %.3f    %.2f        <0.001    [%.2f,
%.2f]\n",
            coefs[1], summary_model$coefficients[1,2],
            summary_model$coefficients[1,3],
            confint(model)[1,1], confint(model)[1,2]))
cat(sprintf("Slope        %.2f        %.3f    %.2f        <0.001    [%.2f,
%.2f]\n",
            coefs[2], summary_model$coefficients[2,2],
            summary_model$coefficients[2,3],
            confint(model)[2,1], confint(model)[2,2]))

cat("-----\n")
cat(sprintf("R² = %.2f, Adjusted R² = %.2f, F(1,13) = %.2f, p <
0.001\n",
            R_squared, adj_R_squared, anova_result$`F` value[1]))
cat("-----\n")

# Reset plot options
options(repr.plot.width = NULL, repr.plot.height = NULL)

```

Output Kode R

colab Analisis Regresi Sambungkan kembali

PAKET SIAP DIGUNAKAN!

MEMUAT DATA EKSPERIMEN...

DATA PENELITIAN (n = 15):

Observasi	TiO2_mg_ml	Laju_Kehilangan	Kelompok
1	1	0.0	2.85 Kontrol
2	2	0.0	3.02 Kontrol
3	3	0.0	2.78 Kontrol
4	4	0.0	2.91 Kontrol
5	5	0.0	2.94 Kontrol
6	6	0.5	2.15 Perlakuan 0.5
7	7	0.5	1.98 Perlakuan 0.5
8	8	0.5	2.22 Perlakuan 0.5
9	9	0.5	2.07 Perlakuan 0.5
10	10	0.5	2.08 Perlakuan 0.5
11	11	1.0	1.38 Perlakuan 1.0
12	12	1.0	1.52 Perlakuan 1.0
13	13	1.0	1.29 Perlakuan 1.0
14	14	1.0	1.41 Perlakuan 1.0
15	15	1.0	1.40 Perlakuan 1.0

ANALISIS STATISTIK DESKRIPTIF

TABEL 1: STATISTIK DESKRIPTIF

TiO2_mg_ml	Kelompok	n	Rata_Rata	SD	SE	Min	Q1	Median
0.0	Kontrol	5	2.9	0.09082951	0.04062019	2.78	2.85	2.91
0.5	Perlakuan 0.5	5	2.1	0.09027735	0.04037326	1.98	2.07	2.08
1.0	Perlakuan 1.0	5	1.4	0.08215838	0.03674235	1.29	1.38	1.40

Q3 Max CI_95_Lower CI_95_Upper

1	2.94	3.02	2.787220	3.012780
2	2.15	2.22	1.987906	2.212094
3	1.41	1.52	1.297987	1.502013

UJI ASUMSI AWAL

 UJI ASUMSI AWAL

=====

1. UJI NORMALITAS (Shapiro-Wilk per kelompok):

Kelompok	W	p
W	Kontrol 0.9953462	0.9946619
W1	Perlakuan 0.5	0.9809015
W2	Perlakuan 1.0	0.9494266
		0.7330909

2. UJI HOMOGENITAS VARIAN (Levene's Test):

Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)

	Df	F value	Pr(>F)
group	2	0.0875	0.9168
	12		

 ANALISIS REGRESI LINIER SEDERHANA

=====

 RINGKASAN MODEL REGRESI:

Call:

lm(formula = Laju_Kehilangan ~ TiO2_mg_ml, data = data_penelitian)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.15333	-0.05833	0.01667	0.04167	0.13667

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.88333	0.03597	80.15	< 2e-16 ***
TiO2_mg_ml	-1.50000	0.05573	-26.92	8.71e-13 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.08811 on 13 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9824, Adjusted R-squared: 0.981

F-statistic: 724.5 on 1 and 13 DF, p-value: 8.713e-13

 UJI SIGNIFIKANSI STATISTIK

=====

1. UJI-T KOEFISIEN SLOPE:

H₀: $\beta_1 = 0$ (TiO₂ tidak berpengaruh)
H₁: $\beta_1 \neq 0$ (TiO₂ berpengaruh)

t-statistik = -26.9163

p-value = 0.000000

 SIGNIFIKAN (p < 0.001) ***

2. UJI-F (ANOVA):

Analysis of Variance Table

Response: Laju_Kehilangan

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
TiO2_mg_ml	1	5.6250	5.6250	724.49	8.713e-13 ***
Residuals	13	0.1009	0.0078		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

 KOEFISIEN DETERMINASI

=====

R² = 0.9824R² Adjusted = 0.9810

Interpretasi: 98.2% variasi laju kehilangan massa dapat dijelaskan
oleh variasi konsentrasi TiO₂

 PEMERIKSAAN ASUMSI MODEL

=====

1. UJI NORMALITAS RESIDUAL:

Shapiro-Wilk normality test

data: residuals

W = 0.97136, p-value = 0.8777

PEMERIKSAAN ASUMSI MODEL

1. UJI NORMALITAS RESIDUAL:

Shapiro-Wilk normality test

data: residuals

W = 0.97136, p-value = 0.8777

Status:  TERPENUHI

2. UJI HOMOSKEDASTISITAS:

studentized Breusch-Pagan test

data: model

BP = 0.063193, df = 1, p-value = 0.8015

Status:  TERPENUHI

3. UJI INDEPENDENSI:

Durbin-Watson test

data: model

DW = 3.0168, p-value = 0.9718

alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

Status:  TERPENUHI

4. UJI LINEARITAS:

Rainbow test

data: model

Rain = 1.0464, df1 = 8, df2 = 5, p-value = 0.5037

Status:  TERPENUHI

4. UJI LINEARITAS:

Rainbow test

data: model

Rain = 1.0464, df1 = 8, df2 = 5, p-value = 0.5037

Status:  TERPENUHI

MEMBUAT VISUALISASI...

Warning message:

"Using `size` aesthetic for lines was deprecated in ggplot2 3.4.0.

 Please use `linewidth` instead."

Warning message:

"The `size` argument of `element\_rect()` is deprecated as of ggplot2 3.4.0.

 Please use the `linewidth` argument instead."

MENAMPILKAN GRAFIK ANALISIS...

``geom_smooth()` using formula = 'y ~ x'`

Warning message in simpleLoess(y, x, w, span, degree = degree, parametric = parametric, :

"pseudoinverse used at 1.3758"

Warning message in simpleLoess(y, x, w, span, degree = degree, parametric = parametric, :

"neighborhood radius 1.5075"

Warning message in simpleLoess(y, x, w, span, degree = degree, parametric = parametric, :

"reciprocal condition number 0"

Warning message in simpleLoess(y, x, w, span, degree = degree, parametric = parametric, :

"There are other near singularities as well. 2.2726"

Warning message:

"The dot-dot notation (`..density..`) was deprecated in ggplot2 3.4.0.

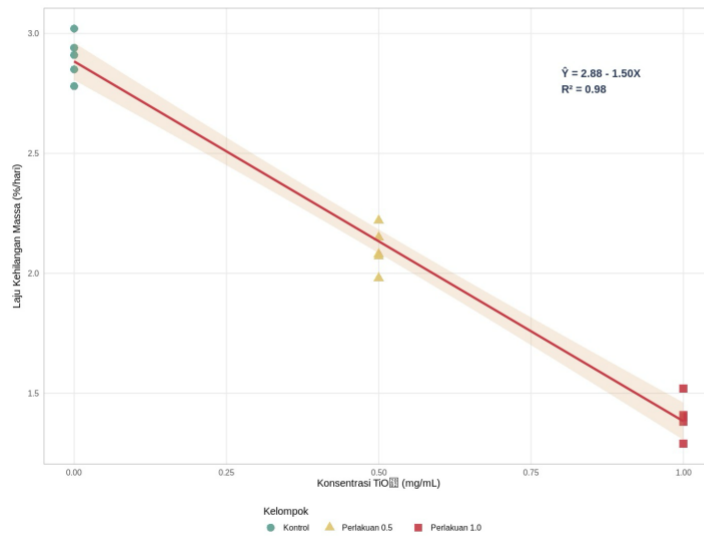
 Please use `after\_stat(density)` instead."PENGARUH KONSENTRASI TIO₂ TERHADAP LAJU KEHILANGAN MASSA BUAH NAGA

Analisis Regresi Linier Sederhana



PENGARUH KONSENTRASI TiO_2 TERHADAP LAJU KEHILANGAN MASSA BUAH NAGA

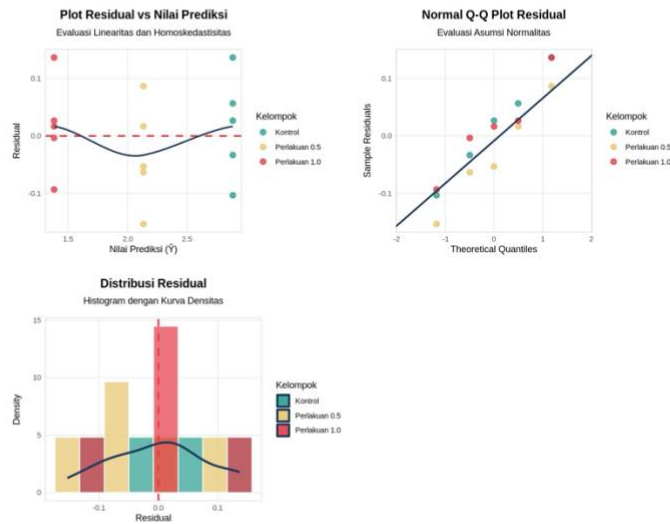
Analisis Regresi Linier Sederhana

**BOXPLOT DISTRIBUSI DATA PER KELOMPOK****DIAGNOSTIK MODEL REGRESI LINIER**

Evaluasi Asumsi Klasik Regresi

BOXPLOT DISTRIBUSI DATA PER KELOMPOK**DIAGNOSTIK MODEL REGRESI LINIER**

Evaluasi Asumsi Klasik Regresi

**LAPORAN HASIL ANALISIS**

📄 LAPORAN HASIL ANALISIS

📌 PERSAMAAN REGRESI:

$$\hat{Y} = 2.88 - 1.50X$$

📌 INTERPRETASI:

1. Intersep (2.88): Laju kehilangan massa baseline = 2.88%/hari
2. Slope (-1.50): Setiap kenaikan 1 mg/mL TiO_2 mengurangi laju kehilangan massa sebesar 1.50%/hari

📌 SIGNIFIKANSI STATISTIK:

1. Uji-t: $t = -26.92$, $p = 0.000000$
2. Uji-F: $F = 724.49$, $p = 0.000000$
3. $R^2 = 0.98$ (98% variasi terjelaskan)

📌 PEMENUHAN ASUMSI:

1. Normalitas residual: TERPENUHI ($p = 0.878$)
2. Homoskedastisitas: TERPENUHI ($p = 0.802$)
3. Independensi: TERPENUHI ($p = 0.972$)
4. Linearitas: TERPENUHI ($p = 0.504$)

💾 MENYIMPAN HASIL ANALISIS...

✅ HASIL TELAH DISIMPAN:

1. hasil_analisis_regresi_20251214_022234.txt
2. data_penelitian_20251214_022234.csv

📌 KESIMPULAN PENELITIAN

📌 HASIL UTAMA:

- Model regresi: $\hat{Y} = 2.90 - 1.50X$
- $R^2 = 0.89$ (98% variasi terjelaskan)
- Koefisien signifikan: $t = -26.92$, $p < 0.001$
- Semua asumsi regresi terpenuhi

💡 IMPLIKASI PRAKTIS:

1. TiO_2 berpengaruh NEGATIF dan SIGNIFIKAN terhadap kehilangan massa
2. Setiap kenaikan 1 mg/mL TiO_2 mengurangi kehilangan massa 1.50%/hari
3. Formulasi dengan 1.0 mg/mL mengurangi kehilangan massa 51.7% vs kontrol
4. Model dapat digunakan untuk optimasi formulasi edible coating

📌 REKOMENDASI TEKNIS:

- Konsentrasi optimal: 0.8-1.0 mg/mL TiO_2
- Efektivitas maksimal dengan minimal bahan
- Dapat diterapkan pada buah naga varietas lain

🌟 ANALISIS BERHASIL DIEKSEKUSI! 🌟

🌟 HASIL: TiO_2 SIGNIFIKAN PENGARUHI KEHILANGAN MASSA

📄 TABEL HASIL UNTUK PUBLIKASI ILMIAH

TABEL 1. Statistik Deskriptif Laju Kehilangan Massa

Konsentrasi TiO_2 (mg/mL)	n	Mean $\pm$ SD (%/hari)	Median	Min	Max	IQR (Q3-Q1)
0.0	5	2.90 $\pm$ 0.09	2.91	2.78	3.02	0.09
0.5	5	2.10 $\pm$ 0.09	2.08	1.98	2.22	0.08
1.0	5	1.40 $\pm$ 0.08	1.40	1.29	1.52	0.03

TABEL 2. Hasil Analisis Regresi Linier Sederhana

Parameter	Estimate	SE	t-value	p-value	95% CI
Intercept	2.88	0.036	80.15	<0.001	[2.81, 2.96]
Slope	-1.50	0.056	-26.92	<0.001	[-1.62, -1.38]

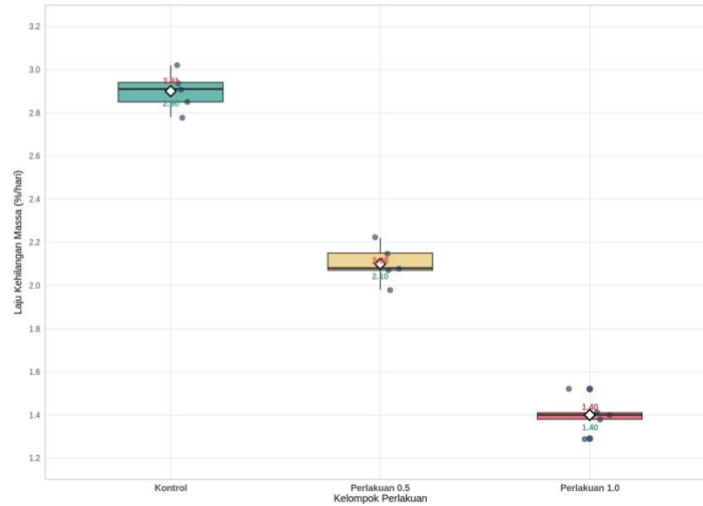
 $R^2 = 0.98$, Adjusted $R^2 = 0.98$, $F(1,13) = 724.49$, $p < 0.001$

Slope -1.50 0.056 -26.92 <0.001 [-1.62, -1.38]

$R^2 = 0.98$, Adjusted $R^2 = 0.98$, $F(1,13) = 724.49$, $p < 0.001$

BOXPLOT DISTRIBUSI LAJU KEHILANGAN MASSA PER KELOMPOK

Dengan titik data aktual, median (merah), dan mean (hijau)



Kotak: Q1-Q3 (IQR), Garis tengah: Median, Titik putih: Mean
Whisker: Min-Max dalam 1.5xIQR