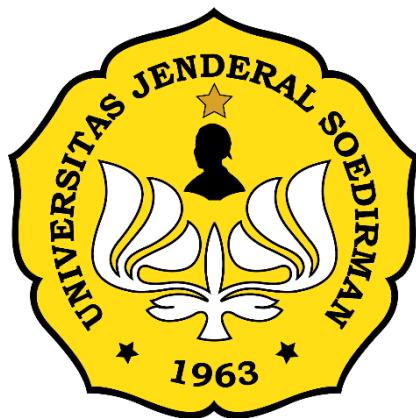


**LAPORAN PROJECT
MATA KULIAH PEMODELAN MATEMATIKA**

**PEMODELAN LOGISTIK UNTUK ANALISIS HUBUNGAN LUAS
PANEN DAN PRODUKSI KELAPA DERES SEBAGAI DASAR
PERENCANAAN PENGEMBANGAN LAHAN DI
KABUPATEN BANYUMAS**

Dosen Pengampu: Lilik Muzdalifah, S.Pd., M.Si.



Disusun Oleh:

- | | |
|------------------------------|-----------|
| 1. Maya Ariyanti | K1B023085 |
| 2. Dian Prasetyo Rahman | K1B023103 |
| 3. Nis Riina Azzahra Shiyami | K1B023104 |
| 4. Abdur Rochman Azis | K1B023108 |

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JENDERAL SOEDIRMAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI MATEMATIKA
PURWOKERTO
2025**

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Khusus Riset	2
1.4 Manfaat Riset	2
1.5 Keutamaan Riset	2
1.6 Temuan yang Ditargetkan	3
1.7 Kontribusi Penelitian.....	3
1.8 Luaran Riset	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kelapa Deres	4
2.2 Pemodelan Matematika.....	4
2.3 Model Logistik	5
2.4 Metode <i>Nonlinear Least Square Fitting</i>	5
BAB 3. METODE RISET	7
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Riset.....	7
3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan.....	7
3.3 Variabel Riset	7
3.4 Tahapan Riset yang akan Dilaksanakan	7
3.5 Prosedur Riset dan Indikator Capaian.....	7
3.6 Metode Analisis dan Penafsiran Data	8
3.7 Penyimpulan Hasil Riset	9
BAB 4. HASIL YANG DICAPAI DAN POTENSI KHUSUS	10
4.1 Asumsi yang Digunakan	11
4.2 Model	11
4.3 Data	13
4.4 Analisis Data	14
4.4.1 Interpretasi Parameter Model	14
4.4.2 Validasi Model	15
4.5 Simulasi Model	16
4.6 Potensi Khusus	16
BAB 5. PENUTUP	18
5.1 Kesimpulan	18
5.2 Saran.....	18
DAFTAR PUSTAKA	20

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1 Perbandingan Data Aktual dengan Hasil Simulasi 16

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Capaian Hasil yang Sudah Didapatkan.....	10
Tabel 4.2 Definisi variabel.....	13
Tabel 4.3 Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Kelapa Deras Menurut Kecamatan di Kabupaten Banyumas Tahun 2024	13
Tabel 4.4 Nilai parameter	14
Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Data Aktual dan Prediksi	15

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Source Code Python dalam menentukan parameter 21*

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa adalah salah satu komoditas perkebunan penting yang berperan besar dalam perekonomian masyarakat Banyumas. Hasil olahan dari kelapa, seperti nira, digunakan untuk membuat gula kelapa yang menjadi ciri khas Kabupaten Banyumas. Sektor perkebunan kelapa tidak hanya memberi pendapatan bagi daerah, tetapi juga menjadi penghasilan utama bagi masyarakat desa.

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Banyumas pada tahun 2024 menunjukkan bahwa hasil produksi kelapa deres mengalami perubahan yang tidak pasti dan cenderung tidak konsisten. Hal utama yang memengaruhi hal ini meliputi perubahan luas lahan. Hal tersebut menyebabkan penurunan efisiensi dalam produksi dan ketidakpastian dalam hasil panen kelapa deres.

Penelitian sebelumnya mengenai produksi kelapa sebagian besar fokus pada faktor-faktor agronomis dan lingkungan yang memengaruhi hasil (Vaulina, 2019). Masalahnya adalah penelitian sebelumnya belum menggunakan pendekatan matematis yang bisa menggambarkan pertumbuhan produksi secara dinamis dari waktu ke waktu. Padahal, model pertumbuhan seperti model logistik bisa memberikan gambaran yang lebih realistik mengenai kecepatan pertumbuhan dan batas maksimum produksi (Tsoularis & Wallace, 2002).

Penggunaan model pertumbuhan logistik untuk memprediksi pertumbuhan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas dilakukan karena diperlukan estimasi jumlah panen kelapa deres sebagai salah satu komoditas unggulan daerah. Hasil estimasi ini dapat digunakan untuk memperkirakan produktivitas di masa depan serta menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan dan pengembangan komoditas kelapa deres secara berkelanjutan. Model ini juga memungkinkan identifikasi titik maksimal produksi (*capacity carrying*) dan tingkat pertumbuhan yang optimal, yang sangat penting dalam merencanakan peningkatan produksi dan kebijakan pengelolaan sumber daya pertanian.

Terdapat perbedaan antara penelitian sebelumnya yang bersifat deskriptif dengan kebutuhan pendekatan kuantitatif berbasis model pertumbuhan logistik. Dalam Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Banyumas Tahun 2024, yang mencakup luas panen, produksi, dan produktivitas kelapa deres di setiap kecamatan. Melalui analisis menggunakan perangkat lunak Python dan Microsoft Excel, penelitian ini diharapkan dapat diperoleh model pertumbuhan logistik yang dapat menggambarkan pola produksi kelapa deres berdasarkan data empiris. Hasil pengembangan model ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan terkait perencanaan dan pengembangan sektor pertanian di wilayah tersebut. Lebih lanjut, penelitian ini juga relevan dalam mendukung upaya pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-8 tentang "pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi" dan tujuan ke-12, yang

berfokus pada "konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab". Hal ini tercermin dalam optimalisasi potensi kelapa deres sebagai salah satu komoditas unggulan yang berperan vital dalam pembangunan ekonomi daerah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah yang akan diselesaikan pada riset ini yaitu bagaimana hubungan matematis antara luas panen dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas tahun 2024?

1.3 Tujuan Khusus Riset

Tujuan khusus dari riset ini adalah mengetahui hubungan antara luas panen dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas menggunakan pendekatan model logistik.

1.4 Manfaat Riset

Manfaat dari riset ini adalah:

1. Menambah referensi empiris dalam penerapan model logistik untuk analisis hubungan produksi pertanian, khususnya pada komoditas kelapa deres.
2. Memberikan gambaran bagi pemerintah daerah dan dinas terkait mengenai potensi maksimum produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas, sehingga dapat menjadi dasar dalam perencanaan dan pengembangan luas panen.

1.5 Keutamaan Riset

Keunggulan utama penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan model pertumbuhan logistik untuk menganalisis pola produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas. Pendekatan ini memberikan perspektif baru dibandingkan penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya bersifat deskriptif dan hanya berfokus pada aspek agronomi. Melalui pemodelan matematika, penelitian ini berupaya menggambarkan perubahan dan laju pertumbuhan produksi secara lebih dinamis dan lebih realistik. Penggunaan data resmi dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Banyumas menjadikan hasil penelitian ini relevan sebagai pertimbangan dalam merumuskan kebijakan pengelolaan sumber daya perkebunan di tingkat daerah. Lebih lanjut, pendekatan yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat dijadikan rujukan oleh daerah lain dengan karakteristik komoditas sejenis, khususnya dalam mengukur efisiensi produksi dan memproyeksikan potensi hasil pertanian jangka menengah hingga panjang.

1.6 Temuan yang Ditargetkan

Temuan yang ditargetkan dari riset ini di antaranya yaitu:

1. Memperoleh model logistik empiris yang menggambarkan secara jelas hubungan antara luas panen dan tingkat produksi kelapa di Kabupaten Banyumas, dengan estimasi parameter yang akurat.
2. Hasil riset dapat digunakan untuk menentukan parameter utama model logistik, yaitu kapasitas maksimum (K), laju pertumbuhan (r), dan titik tengah pertumbuhan (X_0), yang masing-masing menggambarkan batas optimal produksi kelapa. Berdasarkan hasil tersebut, analisis prediktif akan dilakukan untuk memperkirakan kapasitas produksi maksimum dan menilai potensi peningkatan hasil panen jika terjadi perubahan luas panen.
3. Riset ini dapat menghasilkan rekomendasi kebijakan berbasis data yang dapat digunakan sebagai acuan bagi pembangunan berkelanjutan sektor kelapa, termasuk peningkatan produktivitas, perluasan lahan, dan pengelolaan panen.

Secara keseluruhan, temuan ini tidak hanya diharapkan memberikan nilai tambah bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang pemodelan matematika pertanian, tetapi juga dapat menjadi dasar perumusan strategi pembangunan ekonomi lokal yang memanfaatkan potensi perkebunan rakyat secara optimal.

1.7 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa pemodelan kuantitatif tentang pertumbuhan produksi kelapa deres yang bisa menjadi pedoman bagi penelitian dan kebijakan pengembangan sektor perkebunan maupun pertanian masyarakat di Banyumas. Hasil dari model ini diharapkan dapat digunakan sebagai alat prediksi dalam menyusun strategi dan pengelolaan produksi secara berkelanjutan, sehingga dapat meningkatkan kesejahteraan para petani dan masyarakat Banyumas serta menjaga stabilitas produksi gula kelapa nasional.

1.8 Luaran Riset

Luaran yang diharapkan dari riset ini adalah sebagai berikut:

1. Laporan kemajuan;
2. Laporan akhir;
3. Artikel ilmiah;
4. Akun media sosial.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelapa Deres

Kabupaten Banyumas memiliki luas lahan pohon kelapa 17.814 ha dengan luas lahan kelapa deres mencapai 4.798,41 ha. Sedangkan dari sisi jumlah pohon kelapa yang dideres mencapai 460.980 pohon dengan produktivitas sampai 60.459 ton per tahunnya (Hestina et al., 2023). Angka tersebut menunjukkan bahwa kelapa deres menjadi komoditas utama di Kabupaten Banyumas yang berperan pada aspek ekonomi serta budaya. Kelapa deres memiliki nilai ekonomi yang tinggi, dikarenakan kelapa deres adalah tanaman multiguna yang biasa digunakan sebagai bahan baku makanan sampai material. Selain itu, pada aspek budaya, penderesan kelapa menjadi tradisi masyarakat setempat yang diwariskan secara turun-temurun.

Nilai ekonomi pada pemasaran kelapa deres dapat dipengaruhi oleh luas lahan, produktivitas lahan, dan luas panen. Pada tahun 2025 produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas meningkat sebesar 0,56% menjadi 57.674,93 ton menurut (Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Banyumas, 2025). Peningkatan ini menunjukkan adanya potensi pengembangan yang signifikan terhadap pengelolaan komoditas kelapa deres secara berkelanjutan. Namun, penurunan lahan dan produksi dapat berdampak pada jumlah pohon yang dapat dideres. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan ilmiah yang dapat membantu memahami dan memprediksi pola pertumbuhan produksi kelapa deres di masa mendatang. Salah satu pendekatan yang relevan adalah pemodelan matematika, khususnya menggunakan model pertumbuhan logistik, yang menggambarkan pertumbuhan cepat di awal kemudian melambat hingga stabil. Model ini dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan, perencanaan kebijakan pertanian, serta strategi pengembangan komoditas kelapa deres secara berkelanjutan di Kabupaten Banyumas.

2.2 Pemodelan Matematika

Matematika dan aktivitas manusia seperti himpunan tak saling lepas, keduanya saling mempengaruhi hingga terjadinya perkembangan di segala aspek. Ilmuwan matematika yang berfikir kritis memberikan sumbangsih yang begitu besar terhadap kemajuan pesat ilmu matematika (Maisaroh et al., 2022). Matematika penting dipahami oleh masyarakat karena matematika terbentuk dari hasil pemikiran manusia yg berhubungan dengan ide, proses, dan penalaran (Tampubolon et al., 2019). Peran matematika pada berbagai aspek dapat memudahkan manusia untuk memprediksi dan menganalisis data yang nantinya akan sangat berguna di masa depan.

Salah satu penerapan matematika dalam kehidupan sehari-hari adalah pemodelan matematika, di mana sebuah permasalahan dapat dimodelkan dengan rumus matematika yang kemudian dapat diketahui penyelesaian dari permasalahan tersebut. Dalam penelitian ini, model matematika dapat membantu mengidentifikasi

parameter-parameter yang mempengaruhi luas lahan, produktivitas, dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas.

2.3 Model Logistik

Model logistik diperkenalkan oleh Verhulst pada tahun 1838 untuk menggambarkan dinamika pertumbuhan suatu populasi yang memiliki batas maksimum (*carrying capacity*). Model logistik didasarkan pada prinsip bahwa laju pertumbuhan awal suatu sistem sangat cepat, namun akan menurun seiring dengan berkurangnya sumber daya atau meningkatnya tekanan lingkungan hingga akhirnya mencapai titik kestabilan. Dalam penelitian ini, model logistik digunakan untuk memodelkan pertumbuhan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas yang secara alami memiliki batas maksimum berdasarkan ketersediaan lahan, jumlah pohon kelapa yang dapat dideres, dan kondisi lingkungan.

Menurut (Zhang et al., 2025), keunggulan utama dari model logistik adalah kemampuannya untuk mempertimbangkan efek *resource constraints* (kendala sumber daya) dan *stability saturation* (kejemuhan sistem). Oleh karena itu, model logistik cocok digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas. Dalam kasus tersebut, peningkatan hasil produksi di awal tahun pengamatan akan melambat ketika sumber daya seperti lahan produktif dan pohon kelapa mencapai kapasitas optimalnya.

Model logistik menggambarkan pertumbuhan suatu populasi $X(t)$ terhadap waktu t dengan mempertimbangkan kapasitas maksimum lingkungan K dan laju pertumbuhan intrinsik r . Bentuk umum model logistik yaitu :

$$Y(X) = \frac{K}{1 + e^{-r(X-X_0)}} \quad (2.1)$$

Dalam konteks produksi kelapa deres, parameter-parameternya dapat ditentukan menggunakan metode *nonlinear least square fitting*. Dengan mengestimasi ketiga parameter tersebut, model logistik dapat digunakan untuk memproyeksikan pola pertumbuhan produksi di masa mendatang secara lebih akurat.

2.4 Metode *Nonlinear Least Square Fitting*

Dalam proses pemodelan logistik, penentuan parameter terbaik dilakukan dengan menggunakan metode *Nonlinear Least Squares Fitting* (NLSF) karena mampu meminimalkan selisih antara nilai hasil model dan data pengamatan (Gavin HP, 2019). Metode ini secara matematis bertujuan untuk mencari parameter $\alpha = [a_1, a_2, \dots, a_i]$ yang meminimalkan fungsi kesalahan berbobot (*weighted error function*):

$$\chi^2(\alpha) = \sum_{i=1}^N \left[\frac{y_i - \hat{y}(t_i; \alpha)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (2.2)$$

di mana y_i adalah data pengamatan, $\hat{y}(t_i; \alpha)$ adalah nilai hasil model, dan σ_i merupakan kesalahan pengukuran (*measurement error*) dari data y_i . Dalam bentuk matriks, fungsi tersebut dapat dituliskan:

$$X^2(\alpha) = (y - \hat{y})^T W (y - \hat{y}) \quad (2.3)$$

dengan W adalah matriks pembobot yang biasanya diagonal, $W_i = 1/\sigma_i^2$. Matriks pembobot ini memberikan bobot lebih besar pada data dengan tingkat ketidakpastian yang rendah, sehingga *fitting* lebih representatif terhadap data yang berkualitas tinggi.

Apabila fungsi $\hat{y}(t; \alpha)$ bersifat nonlinier terhadap parameter α , maka minimisasi fungsi $\chi^2(\alpha)$ dilakukan secara iteratif dengan menggunakan algoritma Levenberg–Marquardt (LMA). Algoritma ini menggabungkan dua pendekatan: metode Gauss–Newton, yang cepat konvergen di sekitar solusi optimal, dan metode *gradient descent*, yang lebih stabil ketika jauh dari solusi (Gavin, 2024). Tujuan setiap iterasi adalah menemukan perubahan kecil $\Delta\alpha$ yang menurunkan nilai χ^2 secara signifikan, sehingga model semakin sesuai dengan data observasi.

Metode kuadrat terkecil untuk penyesuaian kurva juga berguna untuk menghitung nilai dan kesalahan standar dari estimasi koefisien. Masalah kuadrat terkecil nonlinier diselesaikan secara berulang (iteratif) dengan memulai dari nilai awal koefisien yang diberikan oleh pengguna. Nilai awal ini dapat diperoleh berdasarkan pengalaman empiris atau dihitung menggunakan algoritma minimisasi non-statistik seperti pencarian acak (*random search*), metode simpleks Nelder–Mead, atau pembagian kasar ruang koefisien dan pencarian kombinasi terbaik (Gavin, 2024). Pendekatan iteratif ini memastikan proses konvergensi menuju parameter optimal berlangsung lebih cepat dan stabil, terutama ketika fungsi logistik memiliki tingkat nonlinieritas yang tinggi.

Dalam konteks prediksi produksi kelapa deres, metode NLSF dengan algoritma Levenberg–Marquardt memungkinkan estimasi parameter logistik (kapasitas maksimum, laju pertumbuhan, dan konstanta awal) yang akurat berdasarkan data produksi aktual. Hal ini menjadikan NLSF salah satu metode yang paling efektif dalam menyesuaikan model pertumbuhan dengan fenomena biologis dan produktivitas hasil pertanian. Pada penelitian ini untuk memudahkan penyelesaian persamaan NLSF dalam menentukan parameter metode logistik, Python dapat digunakan sebagai alat yang membantu pemecahan permasalahan tersebut.

BAB 3. METODE RISET

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Riset

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2025 di Kabupaten Banyumas, Provinsi Jawa Tengah. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak Python, Microsoft Word dan Microsoft Excel. Data yang digunakan bersumber dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Kabupaten Banyumas, berupa data sekunder luas panen, produksi, dan produktivitas kelapa deres menurut kecamatan tahun 2024.

3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam riset ini adalah data sekunder "Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Kelapa Deres Menurut Kecamatan di Kabupaten Banyumas Tahun 2024" dan alat yang digunakan meliputi laptop/komputer, serta perangkat lunak pendukung yang terdiri dari Microsoft Word (penyusunan laporan), Microsoft Excel (pengolahan data awal), serta Python (analisis model logistik).

3.3 Variabel Riset

Untuk variabel riset yang akan diteliti dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Variabel Bebas (X): Luas panen (satuan: Ha).
2. Variabel Terikat (Y_1): Produksi (satuan: Ton).
3. Variabel Turunan (Y_2): Produktivitas (satuan: Ton/Ha), dihitung dari rasio produksi terhadap luas panen.

Dengan parameter Model Logistik: K (kapasitas maksimum), r (laju pertumbuhan), dan X_0 (titik tengah model) (Gregorczyk, 2014).

3.4 Tahapan Riset yang akan Dilaksanakan

Penelitian ini dirancang untuk dilaksanakan melalui pendekatan kuantitatif, dengan fokus pada pemodelan matematis. Seluruh alur penelitian dibagi ke dalam lima tahapan utama yang berurutan sebagai berikut.

1. Persiapan Data.
2. Analisis Deskriptif Awal.
3. Pemodelan Logistik.
4. Interpretasi Hasil dan Validasi.
5. Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi.

3.5 Prosedur Riset dan Indikator Capaian

Prosedur riset dan indikator capaian untuk setiap tahapan dijabarkan sebagai berikut.

1. Persiapan Data

Prosedur diawali dengan menyusun tabel data dari sumber resmi ke dalam format digital (Excel), memeriksa kelengkapan data, dan menstandarkan

satuan. Variabel yang akan dimodelkan ditentukan, yaitu X (luas panen) dan Y_1 (produksi). Kemudian, untuk **Indikator capaiannya adalah tersedianya dataset yang siap dianalisis.**

2. Analisis Deskriptif Awal

Prosedur dilanjutkan dengan menghitung statistik dasar dan membuat grafik sebar (*scatter plot*) antara luas panen dan produksi. **Capaian tahap ini adalah tersedianya visualisasi data untuk menilai secara kualitatif apakah pola hubungan empiris menunjukkan kecenderungan kurva-S (*sigmoid*), yang merupakan asumsi dasar penggunaan model logistik.**

3. Pemodelan Logistik:

Prosedur inti adalah estimasi parameter model logistik menggunakan persamaan $Y_1 = \frac{K}{1+e^{-r(X-X_0)}}$. Estimasi parameter K, r, X_0 dilakukan menggunakan metode *nonlinear least squares fitting* pada *software Python* (Deng et al., 2012). Kinerja model dievaluasi secara kuantitatif menggunakan Koefisien Determinasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE). **Capaianya adalah diperolehnya nilai estimasi untuk ketiga parameter dan model yang telah dievaluasi sebelumnya.**

4. Interpretasi Hasil dan Validasi

Setelah parameter diperoleh dan model dievaluasi, prosedur dilanjutkan dengan interpretasi. Parameter K ditafsirkan sebagai batas maksimum produksi, r menggambarkan laju peningkatan produksi, dan X_0 menunjukkan titik tengah (luas panen yang diperlukan untuk mencapai 50% dari kapasitas maksimum). **Indikator capaiannya adalah pemahaman terkait arti arameter pada model logistik yang telah dievaluasi dan validasi model terhadap data aktual.**

5. Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi

Prosedur terakhir adalah menarik kesimpulan apakah model logistik dapat menggambarkan pola produksi kelapa deres, serta memberikan saran kebijakan praktis terkait strategi pengembangan luas panen dan peningkatan produktivitas di masa depan. **Indikator capaian tahap ini adalah tersusunnya laporan kesimpulan dan rekomendasi yang dapat diimplementasikan untuk pengembangan produksi kelapa deres di wilayah Kabupaten Banyumas.**

3.6 Metode Analisis dan Penafsiran Data

Metode analisis data yang diterapkan dalam penelitian ini menggabungkan dua pendekatan utama, yaitu analisis kuantitatif deskriptif dan pemodelan non-linear logistik. Penafsiran data dilakukan melalui langkah-langkah metode berikut.

1. Analisis Deskriptif Statistik

Metode ini digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai kondisi produksi dan produktivitas kelapa deres di berbagai kecamatan di Kabupaten Banyumas tahun 2024.

2. Evaluasi Model

Dilakukan evaluasi model secara kuantitatif. Kesesuaian model (*goodness-of-fit*) diperiksa menggunakan Koefisien Determinasi dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Analisis residual juga akan dilakukan untuk memeriksa kesesuaian model dengan asumsi-umsinya.

3. Interpretasi Hasil

Langkah ini berfokus pada pemahaman dinamika produksi berdasarkan parameter yang diperoleh, serta mengidentifikasi batas kapasitas maksimum produksi di wilayah studi.

3.7 Penyimpulan Hasil Riset

Proses penyimpulan hasil riset didasarkan sepenuhnya pada interpretasi parameter model yang telah dievaluasi dan divalidasi. Kesimpulan utama akan difokuskan untuk menjawab pertanyaan penelitian, yaitu sejauh mana model fungsi logistik dapat secara valid menggambarkan pola hubungan antara luas panen dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas.

Penting untuk dicatat bahwa penelitian ini memiliki keterbatasan. Karena data yang digunakan adalah data sekunder satu tahun (2024), penelitian ini tidak dapat menilai perubahan antar waktu (dinamika temporal). Fokusnya murni pada hubungan matematis antara luas panen dan produksi pada satu titik waktu. Selain itu, data tidak mencakup faktor-faktor non-lahan (seperti teknologi, tenaga kerja, atau iklim) dan tidak dilakukan verifikasi lapangan.

Oleh karena itu, kesimpulan yang ditarik akan mempertimbangkan keterbatasan ini. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan awal untuk pengembangan permodelan kuantitatif produksi kelapa deres di Banyumas menggunakan pendekatan logistik. Berdasarkan kesimpulan tersebut, akan dirumuskan rekomendasi atau saran kebijakan.

BAB 4. HASIL YANG DICAPAI DAN POTENSI KHUSUS

Program Kreativitas Mahasiswa – Riset Eksakta (PKM-RE) yang kami laksanakan sudah menghasilkan progres yang baik dimana beberapa tahapan penelitian dan hasil sudah didapatkan oleh pelaksana sebagai pencapaian, yang dapat dijabarkan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Capaian Hasil yang Sudah Didapatkan

No.	Jenis Kegiatan	Hasil/Produk
1.	Bimbingan dengan dosen pembimbing terkait usulan, rencana riset, metode, dan kelengkapan administrasi.	Rencana awal riset meliputi tujuan, ruang lingkup, data yang digunakan, metode analisis, dan <i>timeline</i> penelitian.
2.	Pengumpulan data sekunder “Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Kelapa Deras Menurut Kecamatan Tahun 2024” dari Dinas Pertanian dan Ketahanan Pangan Banyumas.	Dataset mentah produksi dan luas panen kelapa deras tahun 2024.
3.	Persiapan data: penginputan data ke Excel, pengecekan kelengkapan, konsistensi satuan, dan standarisasi format.	Dataset bersih siap olah dalam format Excel.
4.	Analisis deskriptif awal menggunakan Excel dan Python: statistik dasar, scatter plot, grafik sebar luas panen vs produksi.	Visualisasi data dan gambaran awal pola hubungan produksi–luas panen (indikasi pola logistik).
5.	Penerapan pemodelan logistik menggunakan Python dengan metode <i>Nonlinear Least Squares Fitting</i> (NLSF) untuk mengestimasi parameter model.	Estimasi parameter model logistik: kapasitas maksimum (K), laju pertumbuhan (r), dan titik tengah (X_0).
6.	Evaluasi performa model menggunakan Koefisien Determinasi (R^2) dan RMSE	Nilai R^2 , RMSE, dan grafik kecocokan model terhadap data aktual (<i>goodness-of-fit</i>).
7.	Validasi dan interpretasi parameter logistik: analisis makna kapasitas maksimum, laju pertumbuhan, serta titik tengah produksi terhadap kondisi lapangan Banyumas.	Interpretasi kuantitatif dan naratif parameter logistik terhadap produktivitas kelapa deras.
8.	Penyusunan prediksi kapasitas produksi maksimum dan estimasi potensi peningkatan produksi jika luas panen diperluas.	<i>Output</i> prediktif: proyeksi kapasitas produksi dan skenario peningkatan lahan.

4.1 Asumsi yang Digunakan

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam pengonstruksian model matematika hubungan luas panen dan produksi Kelapa Deres di Kabupaten Banyumas pada penelitian ini antara lain:

1. Variabel utama dalam model terbagi menjadi dua, yaitu Luas Panen X sebagai variabel independen dan Produksi Y sebagai variabel dependen;
2. Kondisi lingkungan dianggap homogen, artinya faktor eksternal seperti iklim, jenis tanah, dan teknologi pengolahan diasumsikan sama untuk seluruh kecamatan;
3. Hubungan antara Luas Panen X dan Produksi Y mengikuti fungsi pertumbuhan Logistik (kurva-S) dengan persamaan $Y(X) = \frac{K}{1+e^{-r(x-x_0)}}$;
4. Terdapat batas kapasitas maksimum K , yaitu jumlah produksi tertinggi yang dapat dicapai oleh sistem pertanian di Banyumas yang tidak akan terlampaui meskipun luas panen terus ditambah;
5. Laju pertumbuhan intrinsik r , bernilai positif dan konstan, yang menggambarkan kecepatan produksi mencapai kapasitas maksimumnya; dan
6. Titik belok X_0 adalah kondisi luas panen di mana pada titik ini nilai Y mencapai tepat setengah dari kapasitas maksimumnya K dan laju pertambahan produksi mulai mengalami perlambatan menuju titik jenuh.

4.2 Model

Berdasarkan asumsi yang digunakan, diperoleh model pertumbuhan logistik yang merepresentasikan pola produktivitas kelapa deres di Kabupaten Banyumas. Model tersebut diformulasikan dalam persamaan berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dY}{dX} &= rY\left(1 - \frac{Y}{K}\right) \\ \frac{dY}{Y\left(1 - \frac{Y}{K}\right)} &= r dX \\ \frac{K}{Y(K - Y)} dY &= r dX\end{aligned}$$

gunakan teknik pecahan parsial untuk memecah $\frac{K}{Y(K - Y)}$:

$$\frac{K}{Y(K - Y)} = \frac{1}{Y} + \frac{1}{K - Y}$$

integralkan kedua sisi:

$$\begin{aligned}\int \left(\frac{1}{Y} + \frac{1}{K-Y} \right) dY &= \int r \, dX \\ \ln|Y| - \ln|K-Y| &= rX + C \\ \ln \left| \frac{Y}{K-Y} \right| &= rX + C \\ \frac{Y}{K-Y} &= e^{rX+C} \\ \frac{Y}{K-Y} &= e^C \cdot e^{rX}\end{aligned}$$

Misalkan $A = e^C$

$$\begin{aligned}\frac{Y}{K-Y} &= Ae^{rX} \\ \frac{K-Y}{Y} &= \frac{1}{Ae^{rX}} \\ \frac{K}{Y} - 1 &= \frac{1}{A} e^{-rX} \\ \frac{K}{Y} &= 1 + ce^{-rX}\end{aligned}$$

Maka:

$$Y(X) = \frac{K}{1 + ce^{-rX}} \quad (1)$$

Untuk menginterpretasikan konstanta c , diasumsikan bahwa terdapat suatu titik koordinat X_0 yang merupakan titik belok (*inflection point*) kurva, di mana pada titik ini nilai Y mencapai tepat setengah dari kapasitas maksimumnya K .

Jadi, Saat $X = X_0$, maka $Y(X_0) = \frac{K}{2}$. Masukkan kondisi tersebut ke persamaan (1) untuk mencari nilai c :

$$\begin{aligned}\frac{K}{2} &= \frac{K}{1 + c \cdot e^{-rX_0}} \\ \frac{1}{2} &= \frac{1}{1 + c \cdot e^{-rX_0}} \\ 1 + c \cdot e^{-rX_0} &= 2 \\ c \cdot e^{-rX_0} &= 1 \\ c &= \frac{1}{e^{-rX_0}} \\ c &= e^{rX_0}\end{aligned}$$

substitusi konstanta $c = e^{rX_0}$, maka:

$$ce^{-rX} = e^{rX_0} \cdot e^{-rX} = e^{-(rX-rX_0)} = e^{-r(X-X_0)}$$

Substitusikan ke persamaan (1):

$$Y(X) = \frac{K}{1 + e^{-r(X-X_0)}}$$

Penjelasan dari masing-masing variabel dirinci dalam Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Definisi variabel

Variabel	Keterangan
$Y(X)$	Jumlah produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas yang diprediksi berdasarkan luas panen X .
X	Luas panen kelapa deres di setiap kecamatan di Kabupaten Banyumas.
K	Kapasitas maksimum produksi kelapa deres yang dapat dicapai.
r	Laju pertumbuhan intrinsik produksi kelapa deres terhadap perubahan luas lahan.
X_0	Titik belok, yaitu luas panen saat laju pertambahan produksi mulai melambat.
e	Konstanta bilangan Euler.

4.3 Data

Data yang digunakan bersumber dari Badan Pusat Statistik, yaitu Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Kelapa Deres Menurut Kecamatan di Kabupaten Banyumas pada tahun 2024. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Luas Panen, Produksi, dan Produktivitas Kelapa Deres Menurut Kecamatan di Kabupaten Banyumas Tahun 2024

No.	Kecamatan	Luas Panen (ha)	Produksi (ton)	Produktivitas (ton/ha)
1	Lumbir	41	400.08	9.76
2	Wangon	267	3,967.80	14.86
3	Jatilawang	76	758.94	9.99
4	Rawalo	153.5	964.34	6.28
5	Kebasen	310.52	3,190.68	10.28
6	Kemranjen	235	1,552.02	6.6
7	Sumpiuh	359.87	4,120.04	11.45
8	Tambak	321.7	4,734.38	14.72
9	Somagede	435	5,920.98	13.61
10	Kalibagor	9	200.96	22.33
11	Banyumas	217	3,253.30	14.99
12	Patikraja	271	2,337.28	8.62
13	Purwojati	378	4,688.38	12.4
14	Ajibarang	239	2,379.06	9.95
15	Gumelar	454.7	5,291.74	11.64
16	Pekuncen	374.65	4,403.20	11.75
17	Cilongok	838	7,525.95	8.98
18	Karanglewas	92.46	666.66	7.21
19	Kedungbanteng	32	290.36	9.07

20	Baturraden	13	214.38	16.49
21	Sumbang	54.59	532.26	9.75
22	Kembaran	2	140.22	70.11
23	Sokaraja	4	141.92	35.48
	Purwokerto			
24	Selatan	-	-	-
25	Purwokerto Barat	-	-	-
26	Purwokerto Timur	-	-	-
27	Purwokerto Utara	-	-	-

Sumber: Badan Pusat Statistik

4.4 Analisis Data

4.4.1 Interpretasi Parameter Model

Berdasarkan hasil estimasi parameter menggunakan metode *Nonlinear Least Square Fitting* terhadap data luas panen dan produksi tahun 2024, diperoleh model pertumbuhan logistik yang merepresentasikan pola produktivitas kelapa deres di Kabupaten Banyumas. Model tersebut diformulasikan dalam persamaan berikut:

$$Y(X) = \frac{7,360.80}{1 + e^{-0.0096(X-313.80)}}$$

dengan penjelasan masing-masing parameter dirinci dalam Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.4 Nilai parameter

Variabel	Keterangan
$K = 7,360.80$	Angka ini mengindikasikan bahwa meskipun luas lahan panen di suatu kecamatan terus diperluas secara masif, rata-rata produksi gula kelapa diperkirakan tidak akan jauh melampaui angka 7.360 ton. Hal ini terjadi karena adanya faktor pembatas alami, seperti penurunan efisiensi pengelolaan pada lahan yang terlalu luas, keterbatasan tenaga kerja penderes, atau penurunan kualitas nira pada kepadatan pohon yang berlebihan.
$r = 0.0096$	Menunjukkan korelasi positif antara luas panen dan produksi. Nilai yang relatif kecil $< 0,01$ menunjukkan bahwa kurva pertumbuhan tidak naik secara curam drastis
$X_0 = 313.80$	Untuk kecamatan dengan luas lahan di bawah 313,80 ha (seperti Wangon, Lumbir, Kebasen), penambahan luas lahan akan memberikan dampak kenaikan produksi yang semakin besar (pertumbuhan eksponensial). Namun, untuk kecamatan dengan luas lahan di atas 313,80 ha (seperti Sumpiuh, Pekuncen, Gumelar), laju pertambahan produksi mulai melambat. Penambahan lahan tetap menaikkan produksi total, namun kenaikannya tidak se-signifikan saat lahan masih sempit.

4.4.2 Validasi Model

Berdasarkan persamaan model logistik yang telah terbentuk, dilakukan perhitungan nilai prediksi produksi untuk setiap kecamatan berdasarkan luas panen yang ada. Tabel di bawah ini menyajikan perbandingan antara data aktual dan data prediksi, serta selisih (residual) di antara keduanya yang dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

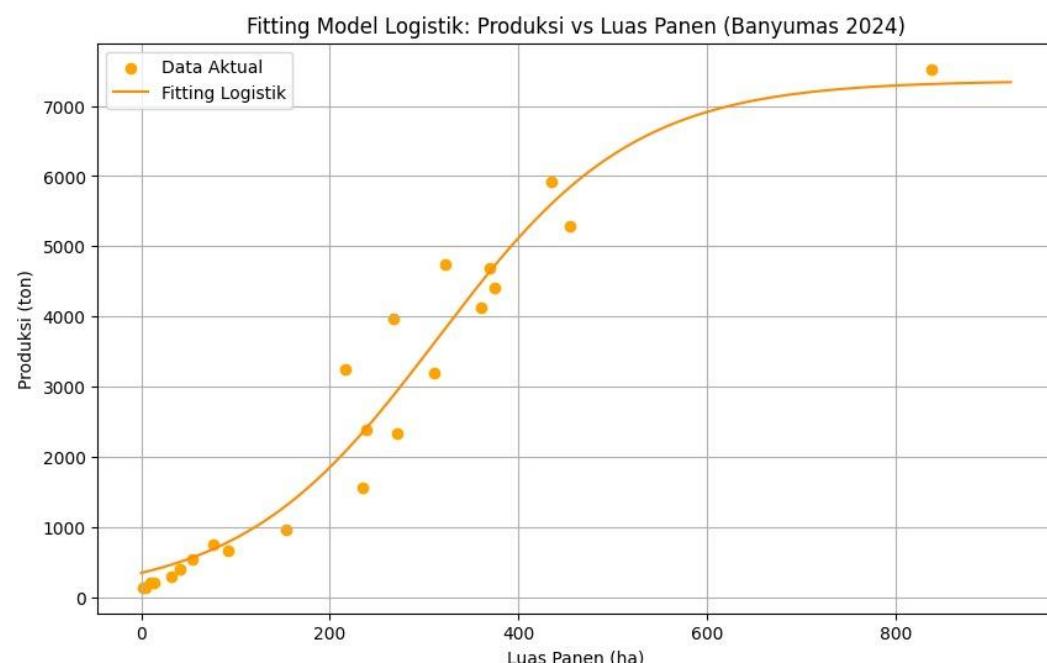
Tabel 4.5 Tabel Perbandingan Data Aktual dan Prediksi

Kecamatan	Luas Panen (X)	Produksi Aktual (Y)	Produksi Prediksi (\hat{Y})	Selisih (Residual)
Lumbir	41.00	400.08	500.04	-99.96
Wangon	267.00	3967.80	2867.27	1100.53
Jatilawang	76.00	758.94	681.25	77.69
Rawalo	153.50	964.34	1300.64	-336.30
Kebasen	310.52	3190.68	3622.46	-431.78
Kemranjen	235.00	1552.02	2351.12	-799.10
Sumpiuh	359.87	4120.04	4481.26	-361.22
Tambak	321.70	4734.38	3819.89	914.49
Somagede	435.00	5920.98	5608.72	312.26
Kalibagor	9.00	200.96	374.51	-173.55
Banyumas	217.00	3253.30	2083.63	1169.67
Patikraja	271.00	2337.28	2934.76	-597.48
Purwojati	378.00	4688.38	4779.96	-91.58
Ajibarang	239.00	2379.06	2412.99	-33.93
Gumelar	454.70	5291.74	5848.60	-556.86
Pekuncen	374.65	4403.20	4725.81	-322.61
Cilongok	838.00	7525.95	7313.09	212.86
Karanglewas	92.46	666.66	785.42	-118.76
Kedungbanteng	32.00	290.36	461.25	-170.89
Baturraden	13.00	214.38	388.40	-174.02
Sumbang	54.59	532.26	564.38	-32.12
Kembaran	2.00	140.22	351.33	-211.11
Sokaraja	4.00	141.92	357.81	-215.89

Catatan: Data Kecamatan Purwokerto Selatan, Barat, Timur, dan Utara tidak diikutsertakan karena tidak memiliki data luas panen dan produksi.

Kemudian, kualitas model diukur menggunakan *Coefficient of Determination R²* dan *Root Mean Square Error* (RMSE). Berdasarkan hasil perhitungan dengan bantuan *software Python*, diperoleh nilai R^2 sebesar 0.9483. Hal ini menunjukkan bahwa 94,83% variabilitas atau keragaman data produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas mampu dijelaskan dengan sangat baik oleh variabel luas panen melalui model logistik yang didapat. Kemudian, nilai RMSE sebesar 494.30 ton menunjukkan tingkat kesalahan prediksi yang relatif kecil dibandingkan dengan total skala produksi yang mencapai 4.000 hingga 7.500 ton. Tingginya nilai R^2 ini menandakan bahwa pendekatan model logistik sangat relevan diterapkan, sejalan dengan penelitian Tsoularis & Wallace (2002) yang menyatakan bahwa model logistik efektif menggambarkan sistem dengan pertumbuhan terbatas.

4.5 Simulasi Model



Gambar 4.1 Perbandingan Data Aktual dengan Hasil Simulasi

4.6 Potensi Khusus

Hasil riset ini memiliki Potensi Khusus yang dapat diterapkan langsung untuk mendukung kebijakan pemerintah daerah dan pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs):

1. Potensi Sebagai Instrumen Kebijakan Zonasi Pertanian

Model ini berpotensi digunakan oleh Dinas Pertanian Kabupaten Banyumas untuk menentukan prioritas pengembangan lahan. Pemerintah disarankan untuk memprioritaskan bantuan perluasan lahan pada kecamatan yang berada di "Fase Percepatan" $X < 313,80 \text{ ha}$. Sebaliknya, untuk kecamatan yang sudah jenuh $X > 313,80 \text{ ha}$, kebijakan harus dialihkan dari

ekstensifikasi (tambah lahan) menjadi intensifikasi (peremajaan pohon/teknologi pengolahan), karena lahan sudah mendekati kapasitas maksimum K .

2. Prediksi Ketahanan Ekonomi Lokal (Mendukung SDGs Poin 8)

Dengan mengetahui nilai K (7.360 ton), pemerintah dapat memproyeksikan batas atas pendapatan daerah dari sektor gula kelapa. Potensi khusus riset ini adalah memberikan estimasi kuantitatif yang akurat bagi perbankan atau investor dalam menilai kelayakan investasi di sektor industri gula Banyumas, mendukung pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berkelanjutan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pemodelan matematika dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai hubungan luas panen dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas tahun 2024, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola Pertumbuhan Logistik

Hubungan antara luas panen dan produksi kelapa deres di Kabupaten Banyumas terbukti mengikuti pola pertumbuhan logistik (kurva-S) secara valid. Hal ini dibuktikan dengan nilai Koefisien Determinasi R^2 sebesar 0,9483, yang artinya model ini mampu menjelaskan 94,83% variasi data produksi aktual. Model empiris terbaik yang diperoleh adalah:

$$Y(X) = \frac{7.360,80}{1 + e^{-0,0096(X-313,80)}}$$

2. Parameter Batas Produksi dan Efisiensi Lahan

Dari model tersebut, teridentifikasi parameter kunci yang menjadi karakteristik perkebunan kelapa deres di Banyumas:

- a. Kapasitas Maksimum K : Produksi gula kelapa di suatu kecamatan memiliki batas jenuh alami di angka 7.360,80 ton. Penambahan luas lahan yang berlebihan di luar batas optimal tidak akan meningkatkan produksi secara signifikan karena adanya faktor pembatas daya dukung lingkungan.
- b. Titik Belok X_0 : Titik efisiensi lahan berada pada luas panen 313,80 ha. Pada titik ini, laju pertumbuhan produksi mulai melambat. Kecamatan dengan luas lahan di bawah angka ini masih sangat potensial untuk perluasan lahan, sedangkan kecamatan dengan luas lahan di atas angka ini mengalami penurunan laju pertambahan hasil.
- c. Laju pertumbuhan (r): Nilai r yang relatif kecil 0,0096 menunjukkan bahwa kurva pertumbuhan tidak naik secara curam atau drastis. Artinya, penambahan luas lahan panen memang meningkatkan produksi, namun peningkatannya terjadi secara bertahap, bukan lonjakan yang tiba-tiba meledak.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas dan keterbatasan penelitian yang ada, diajukan beberapa saran sebagai berikut:

1. Bagi Pemerintah Kabupaten Banyumas (Dinas Pertanian)

Perlu diterapkan strategi pengembangan yang berbeda berdasarkan nilai titik belok $X_0 = 313,80$ ha. Prioritas ekstensifikasi (perluasan lahan) sebaiknya diarahkan pada kecamatan dengan luas panen < 313 ha karena respon kenaikan produksinya masih eksponensial. Untuk kecamatan dengan luas panen > 313 ha, kebijakan sebaiknya difokuskan pada intensifikasi, bukan lagi sekadar menambah luas lahan. Selain itu, perlu adanya pengawasan agar

eksploitasi lahan tidak dipaksakan melampaui kapasitas dukung K , guna menjaga keberlanjutan ekosistem perkebunan dan stabilitas harga kelapa deres.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

Perlu adanya penambahan variabel, karena model ini hanya menggunakan satu variabel bebas (luas panen). Penambahan variabel tersebut dapat berupa jumlah tenaga kerja penderes, curah hujan, atau usia tanaman untuk mendapatkan model yang lebih presisi. Kemudian, mengingat penelitian ini hanya menggunakan data tahun 2024, disarankan untuk melakukan pemodelan dinamis menggunakan data runtun waktu (data produksi beberapa tahun terakhir) untuk melihat laju pertumbuhan (r) secara temporal. Selanjutnya, perlu dilakukan verifikasi lapangan untuk memvalidasi apakah angka kapasitas maksimum (K) yang dihasilkan model sesuai dengan kondisi riil kemampuan produksi petani di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Char, B. W., Fee, G. J., Geddes, K. O., Gonnet, G. H., & Monagan, M. B. (1986). A tutorial introduction to Maple. *Journal of Symbolic Computation*, 2(2), 179–200. [https://doi.org/10.1016/S0747-7171\(86\)80021-9](https://doi.org/10.1016/S0747-7171(86)80021-9)
- Deng, J., Ran, J., Wang, Z., Fan, Z., Wang, G., Ji, M., Liu, J., Wang, Y., Liu, J., & Brown, J. H. (2012). Models and tests of optimal density and maximal yield for crop plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(39), 15823–15828. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210955109>
- Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten Banyumas. 2025. Data dan Informasi Kabupaten Banyumas 2025. URL: <https://banyumaskab.bps.go.id/id/publication/2025/02/28/5adf34c556062c3d064eab01/kabupaten-banyumas-dalam-angka-2025.html>. Diakses tanggal 24 Oktober 2025.
- Gao, X., Han, W., Hu, Q., Qin, Y., Wang, S., Lun, F., Sun, J., Wu, J., Xiao, X., Lan, Y., & Li, H. (2023). Planting Age Identification and Yield Prediction of Apple Orchard Using Time-Series Spectral Endmember and Logistic Growth Model. *Remote Sensing*, 15(3), 1–17. <https://doi.org/10.3390/rs15030642>
- Gavin H. P. (2019). *The Levenberg-Marquardt algorithm for nonlinear least squares curve-fitting problems*. Department of Civil and Environmental Engineering Duke University.
- Hernandis, E. (2020). *Three examples of nonlinear least-squares fitting in Python with SciPy*. URL: <https://hernandis.me/2020/04/05/three-examples-of-nonlinear-least-squares-fitting-in-python-with-scipy.html>. Diakses tanggal 29 Oktober 2025.
- Hestina, J., Purba, H. J., Yusuf, E. S., Betsi, F., Dabukke, M., Azhari, D., & Darwis, V. (2022). *Industri Kelapa Indonesia : Kinerja Dan Perspektif*. 40(1), 55–69.
- R. Maisaroh Rezyekiyah Siregar, & Izwita Dewi. (2022). Peran Matematika Dalam Kehidupan Sosial Masyarakat. *Scaffolding: Jurnal Pendidikan Islam Dan Multikulturalisme*, 4(3), 77–89.
- Tampubolon, J., Atiqah, N., & Panjaitan, U. I. (2019). Kehidupan Sehari-Hari Dalam Masyarakat. *Program Studi Matematika Universitas Negeri Medan*.
- Timeneno, H. M., Utomo, H. S., & w. widowati. (2008). Model Pertumbuhan Logistik dengan Waktu Tunda Matematika, vol. 11, no. 1, Oct. 2010. *Matematika*, 11(1), 43.
- Tsoularis, A., & Wallace, J. (2002). Analysis of logistic growth models. *Mathematical Biosciences*, 179(1), 21–55. [https://doi.org/10.1016/S0025-5540\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0025-5540(02)00096-2)
- Vaulina, S. (2019). Kajian Komparasi Produksi dan Pendapatan Usaha Tani Kelapa Dalam (Cocos nucifera Linn) Berdasarkan Tipologi Lahan di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Agribisnis*, 21(1), 84–98. <https://doi.org/10.31849/agr.v21i1.2733>
- Zhang, G., Li, F., Feng, R., Wang, J., Chu, Y., & Mo, X. (2025). System Stability based on Logistic Growth Model. *Procedia Computer Science*, 262, 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.05.112>

Lampiran 1. Source Code Python dalam menentukan parameter

```
▶ import pandas as pd
  import numpy as np
  import matplotlib.pyplot as plt
  from scipy.optimize import curve_fit
  from sklearn.metrics import r2_score, mean_squared_error, mean_absolute_error

# -----
# 1. Masukkan data manual
#
data = {
    "Kecamatan": [
        "Lumbir", "Wangon", "Jatiluwang", "Rawalo", "Kebasen", "Kemranjen",
        "Sumpiuh", "Tambak", "Somagede", "Kalibago", "Banyumas", "Patikraja",
        "Purwojati", "Ajibarang", "Gumelar", "Pekuncen", "Cilongok",
        "Karanglewas", "Kedungbanteng", "Baturraden", "Sumbang", "Kembaran", "Sokaraja"
    ],
    "Luas_ha": [
        41.00, 267.00, 76.00, 153.50, 310.52, 235.00, 359.87, 321.70, 435.00, 9.00,
        217.00, 271.00, 370.00, 239.00, 454.70, 374.65, 838.00, 92.46, 32.00, 13.00, 54.59, 2.00, 4.00
    ],
    "Produksi_ton": [
        400.88, 3967.80, 758.94, 964.34, 3190.68, 1552.02, 4120.04, 4734.38, 5920.98, 200.96,
        3253.30, 2337.28, 4688.12, 2379.06, 5291.74, 4403.20, 7525.95, 666.66, 290.36, 214.38, 532.26, 140.22, 141.92
    ]
}

df = pd.DataFrame(data)
```

```
▶ # -----
# 2. Definisikan model logistik
#
def logistic(x, K, r, x0):
    return K / (1 + np.exp(-r * (x - x0)))

# -----
# 3. Estimasi parameter
#
x_data = df["Luas_ha"].values
y_data = df["Produksi_ton"].values

# Estimasi awal
initial_guess = [max(y_data)*1.1, 0.01, np.median(x_data)]

params, _ = curve_fit(logistic, x_data, y_data, p0=initial_guess, maxfev=10000)
K, r, x0 = params

# -----
# 4. Evaluasi model
#
y_pred = logistic(x_data, K, r, x0)
R2 = r2_score(y_data, y_pred)
RMSE = np.sqrt(mean_squared_error(y_data, y_pred))
MAE = mean_absolute_error(y_data, y_pred)
```

```

# -----
# 5. Visualisasi
#
x_line = np.linspace(0, max(x_data)*1.1, 500)
y_line = logistic(x_line, K, r, x0)

plt.figure(figsize=(10,6))
plt.scatter(x_data, y_data, color='orange', label="Data Aktual")
plt.plot(x_line, y_line, color='darkorange', label="Fitting Logistik")
plt.title("Fitting Model Logistik: Produksi vs Luas Panen (Banyumas 2024)")
plt.xlabel("Luas Panen (ha)")
plt.ylabel("Produksi (ton)")
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

# -----
# 6. Tampilkan hasil
#
print("Parameter Model:")
print(f"K (kapasitas maksimum) = {K:.2f}")
print(f"r (laju pertumbuhan)   = {r:.6f}")
print(f"x0 (titik tengah)     = {x0:.2f}")
print("\nEvaluasi Model:")
print(f"R^2      = {R2:.4f}")
print(f"RMSE    = {RMSE:.2f}")
print(f"MAE     = {MAE:.2f}")

```

