Epsilon: Jurnal Matematika Murni dan Terapan
http://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/epsilon
p-ISSN: 1978-4422 | e-ISSN 2656-7660
Vol.19 No.2 (Desember 2025) Hal. 180-191

ESTIMASI PARAMETER MODEL LOGISTIK DAN RICHARDS PADA PRODUKSI PADI: STUDI KASUS KALIMANTAN SELATAN

Yuni Yulida[1], Faisal, Muhammad Ahsar Karim, Abdul Hadi, Noorul Wakhdah, Tiara Amaliya

Program Studi Matematika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia
Jl. A.Yani Km. 36, Banjarbaru 70714, Kalimantan Selatan
[1]email: *y_yulida@ulm.ac.id*

ABSTRACT

Rice (*Oryza sativa*) is a strategic food commodity in Indonesia as it serves as the main carbohydrate source for the population and plays a crucial role in ensuring national food security, particularly in South Kalimantan as one of the major rice-producing regions. This study aims to estimate the parameters and compare the performance of the Logistic and Richards models in modeling and projecting rice production based on historical data from the Central Bureau of Statistics. Parameter estimation was carried out using the nonlinear least squares method in MATLAB, and model accuracy was evaluated using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results show that both models can represent the sigmoidal growth pattern of rice production, with the Richards model providing higher accuracy (MAPE <15%) compared to the classical Logistic model. Furthermore, the analysis of harvested area indicates a significant decline since 2018, with a cumulative loss of approximately 3.54 million hectares during 2003–2024 and an average annual reduction of 161 thousand hectares, which is likely influenced by land conversion and flooding. Projections under the optimistic scenario suggest potential increases in production, while the pessimistic scenario indicates stagnation due to land limitations and external pressures. Thus, the Richards model is considered more representative in projecting rice production in South Kalimantan, and the findings of this study may serve as a basis for policies on farmland protection and rehabilitation to support sustainable food security.

Kata kunci: Rice Production, Logistic and Richards Models, South Kalimantan

ABSTRAK

Padi (*Oryza sativa*) merupakan komoditas pangan strategis di Indonesia karena beras menjadi sumber karbohidrat utama masyarakat dan berperan penting dalam menjaga ketahanan pangan nasional, termasuk di Kalimantan Selatan yang menjadi salah satu daerah produsen utama. Penelitian ini bertujuan mengestimasi parameter dan membandingkan kinerja model logistik dan Richards dalam memodelkan serta memproyeksikan produksi padi berdasarkan data historis dari Badan Pusat Statistik. Estimasi parameter dilakukan dengan metode nonlinear least squares, sedangkan akurasi model dievaluasi dengan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua model mampu merepresentasikan pola pertumbuhan sigmoidal produksi padi, dengan model Richards memberikan hasil yang lebih akurat (MAPE <15%) dibandingkan model logistik. Selain itu, analisis data luas panen mengindikasikan adanya penurunan signifikan sejak 2018, dengan kehilangan kumulatif sekitar 3,54 juta ha pada periode 2003–2024 dan rata-rata penurunan tahunan sebesar 161 ribu ha, yang diduga dipengaruhi alih fungsi lahan serta bencana banjir. Proyeksi skenario optimis menunjukkan adanya potensi peningkatan produksi, sedangkan skenario pesimis memperlihatkan kecenderungan stagnasi akibat

keterbatasan lahan dan tekanan eksternal lainnya. Dengan demikian, model Richards dinilai lebih representatif dalam memproyeksikan produksi padi di Kalimantan Selatan, dan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan perlindungan serta rehabilitasi lahan pertanian guna mendukung ketahanan pangan berkelanjutan.

Keywords: Produksi Padi, Model logistik dan Richards, Kalimantan Selatan

Received: 29 August 2025, Accepted: 30 October 2025, Published: 6 November 2025

PENDAHULUAN

Padi (*Oryza sativa*) merupakan komoditas pangan strategis di Indonesia karena beras menjadi sumber karbohidrat utama masyarakat. Beras tidak hanya berperan sebagai makanan pokok bagi sekitar 95% penduduk Indonesia, tetapi juga memiliki nilai sosial, ekonomi, dan politik yang tinggi. Produksi dan ketersediaan beras menjadi indikator utama dalam mengukur ketahanan pangan nasional, sehingga fluktuasi produksi beras berdampak langsung terhadap inflasi, stabilitas sosial, dan daya beli masyarakat (Rafidah *et al*., 2024). Secara historis, padi berasal dari kawasan Asia dan telah menjadi bagian integral dari budaya agraris di Indonesia.

Kalimantan Selatan merupakan salah satu wilayah dengan kontribusi signifikan dalam produksi padi di Indonesia. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS), realisasi luas panen padi di Kalimantan Selatan sepanjang Januari–Desember 2024 mencapai 246.112 ha, meningkat sekitar 14,85% dibandingkan tahun 2023 yang sebesar 214.284 ha (BPS Prov KalSel, 2024). Peningkatan ini menunjukkan potensi besar Kalimantan Selatan dalam menjaga ketersediaan pangan. Namun demikian, dinamika perubahan penggunaan lahan, pertumbuhan penduduk, serta ancaman perubahan iklim tetap menjadi tantangan dalam menjaga stabilitas produksi padi (Media Center Portal Berita Kalimantan Selatan, 2025).

Dalam konteks perencanaan ketahanan pangan, proyeksi produksi padi yang akurat menjadi kebutuhan mendesak untuk mendukung kebijakan dan distribusi sumber daya secara efisien. Salah satu pendekatan matematis yang relevan adalah pemodelan pertumbuhan menggunakan model logistik, yang memungkinkan estimasi kapasitas maksimum (*carrying capacity*) dan laju pertumbuhan berdasarkan data historis (Barnes & Fulford, 2009). Namun, pada kenyataannya pola pertumbuhan produksi padi seringkali tidak sepenuhnya mengikuti kurva logistik standar karena adanya pengaruh eksternal yang kompleks, seperti perubahan iklim dan variabilitas input pertanian. Untuk itu, model Richards sebagai generalisasi dari model logistik menawarkan fleksibilitas lebih melalui penambahan parameter bentuk yang mampu menangkap variasi dinamika pertumbuhan secara lebih akurat (Tofiq *et al*., 2023).

Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan model logistik dan Richards diantaranya, penerapan pada populasi kupu-kupu (Crescenzo *et al*., 2024),

penggunaaan model pertumbuhan Richards untuk berat buah (Gerhard & Moltchanova, 2023), penggunaan model logistik dengan adanya pemanen (Yulida *et al*., 2022), penerapan model Richards dalam prediksi penurunan pondasi pimbunan Loess(Foundations *et al*., 2022), proyaksi produksi beras dengan model logistik (Yulida & Karim, 2021), prediksi jumlah penduduk Kalimantan Selatan dengan model logistik (Karim & Yulida, 2019).

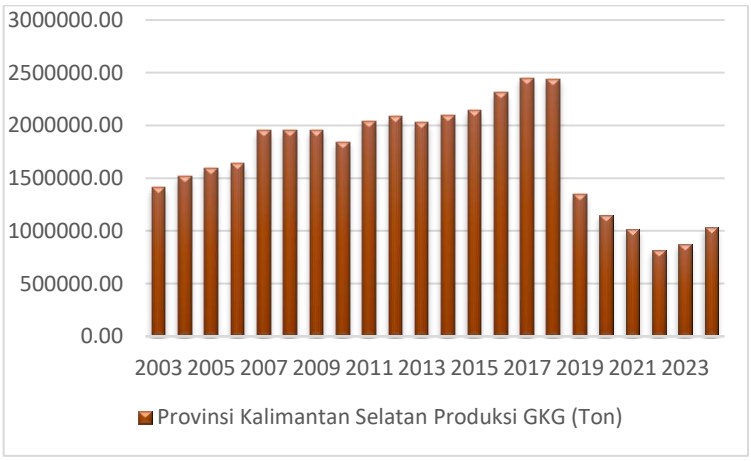
Penerapan model logistik dan Richards untuk menganalisis pertumbuhan produksi padi di Kalimantan Selatan masih minim dalam hal kajian kuantitatif yang membandingkan dua pendekatan model pertumbuhan dengan karakteristik berbeda, yakni model logistik yang menggambarkan pertumbuhan simetris dan model Richards yang bersifat lebih fleksibel terhadap variasi data empiris. Perbandingan keduanya menjadi penting untuk memperoleh proyeksi produksi yang lebih akurat terhadap kondisi lokal. Melalui perbandingan kedua model ini, diharapkan diperoleh proyeksi yang lebih representatif sehingga hasilnya dapat digunakan sebagai masukan dalam perencanaan ketahanan pangan yang berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pemodelan matematis berbasis Model Logistik dan Model Logistik Tergeneralisasi untuk memproyeksikan produksi padi di Kalimantan Selatan. Pada Model Logistik Tergeneralisasi akan digunakan Model Richards. Tahapan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengumpulan Data

Data produksi padi (dalam ton) dikumpulkan dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Kalimantan Selatan, mencakup rentang tahun 2003 hingga 2024. Data pada Gambar 1 ini dijadikan data produksi padi GKG (Gabah Kering Giling) padi di Kalimantan.



Gambar 1. Produksi padi Prov. Kalimantan Selatan

2. Model Logistik dan Richards

Jika P(t) adalah produksi padi pada waktu t, maka bentuk diferensial dari Model Logistik disajikan sebagai berikut (Barnes & Fulford, 2009), (Ross, 2004):

$$\frac{dP}{dt} = r\,P\left(1 - \frac{P}{K}\right) \tag{1}$$

Persamaan (1) merupakan persamaan diferensial dapat pisah sehingga solusi model tersebut dapat ditentukan sebagai berikut

$$P(t) = \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{P_0} - 1\right)e^{-rt}} \tag{2}$$

Selanjutnya, Model Richards (Foundations *et al*., 2022), (Tjørve & Tjørve, 2010) merupakan persamaan diferensial orde satu yang dituliskan sebagai

$$\frac{dP}{dt} = r \cdot P(t)\left[1 - \left(\frac{P(t)}{K}\right)^{\nu}\right] \tag{3}$$

Persamaan (3) merupakan persamaan diferensial nonlinier yang dapat diselesaikan dengan metode *separable variables*, sehingga diperoleh solusi umum sebagai berikut:

$$P(t) = K\left(1 + \left(\left(\frac{K}{P_0}\right)^{v} - 1\right)e^{-rvt}\right)^{-1/v} \tag{4}$$

dengan de

P : jumlah produksi padi pada saat t

$\frac{dY}{dt}$: perubahan jumlah produksi padi terhadap waktu t

r : tingkat pertumbuhan produksi padi

K : *carrying capacity* produksi padi

P_0 : jumlah awal produksi padi pada saat $t = 0$ (awal pengamatan, tahun 2003)

v : parameter bentuk (*shape parameter*), mengontrol bentuk kurva

Catatan:

Jika ν=1, maka bentuk ini menyederhana menjadi persamaan logistik klasik:

Untuk ν≠1, model ini mampu mengakomodasi kurva pertumbuhan yang tidak simetris, misalnya jika pertumbuhan awal lambat namun meningkat tajam, atau sebaliknya.

Sementara itu, bentuk alternatif lain dari solusi model Richards $\frac{dP}{dt} = \frac{r}{v}\,P\left(1 - \left(\frac{P}{K}\right)^{v}\right)$ dapat dinyatakan dengan melibatkan parameter t_θ yang menunjukkan waktu infleksi pertumbuhan, yaitu saat laju pertumbuhan mencapai nilai maksimum dan Nilai pada titik infleksi $\frac{K}{(1+v)^{1/v}}$ (untuk $v = 1$ kembali ke model logistik klasik $K/2$). Bentuk umum solusi tersebut dituliskan sebagai berikut.

$$P(t) = \frac{K}{(1 + ve^{-r(t-t_\theta)})^{1/v}} \tag{5}$$

Bentuk ini banyak digunakan dalam studi pertumbuhan empiris karena parameter t_θ memberikan interpretasi waktu pertumbuhan maksimum yang mudah dihubungkan dengan fenomena biologis atau ekologis yang diamati.

3. Estimasi Parameter Model

Estimasi parameter dilakukan dengan metode *Nonlinear Least Squares*. Parameter yang diestimasi meliputi K, r pada model logistik, sedangkan parameter $K, r,$ dan v pada model Richards. Metode *Nonlinear Least Squares* bertujuan meminimalkan jumlah kuadrat selisih antara data aktual dan solusi model yang digunakan(Karim & Gunawan, 2020). Secara umum masalah optimisasi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\min_{parameter} \sum_{i=1}^{n} \left[P_{aktual}(t_i) - P_{proyeksi}(t_i)\right]^2 \tag{6}$$

dengan $P_{aktual}\,(t_i)$ adalah data produksi padi riil dan $P_{proyeksi}(t_i)$ adalah data produksi padi berdasarkan solusi model (proyeksi). Metode ini akan mencari nilai parameter $K, r,$ dan $v,$ yang meminimalkan galat kuadrat total antara solusi model dan data riil.

4. Evaluasi Akurasi Model

Akurasi hasil estimasi model diuji menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Kriteria MAPE disajikan dalam Tabel berikut (Sari *et al*., 2024).

Tabel 1. Kriteria MAPE

Nilai MAPE	Kriteria
$< 10\%$	Peramalan Sangat Akurat
$10\% - 20\%$	Peramalan Baik
$20\% - 50\%$	Peramalan Cukup
$> 50\%$	Peramalan Tidak Akurat

5. Simulasi Skenario Proyeksi

Peneliti melakukan tiga skenario proyeksi produksi padi dengan asumsi:

a. Skenario Optimis: peningkatan produktivitas melalui teknologi pertanian modern.
b. Skenario Moderat: melanjutkan tren saat ini.
c. Skenario Pesimis: penurunan tajam akibat percepatan alih fungsi lahan dan perubahan iklim.

6. Visualisasi Hasil

Hasil proyeksi divisualisasikan dalam bentuk grafik tren produksi tahunan hingga tahun 2036.

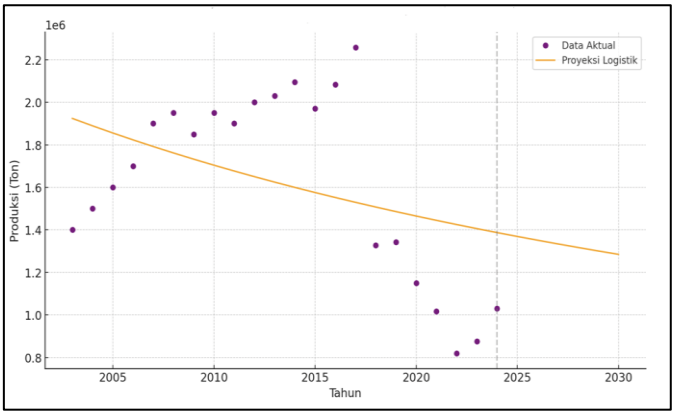
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Estimasi dan Proyeksi Produksi Padi Menggunakan Model Logistik

Parameter yang diestimasi pada model logistik meliputi K, r dilakukan dengan metode *Nonlinear Least Squares*. Masalah optimisasi ini berdasarkan Persamaan (2) dan Persamaan (5) dinyatakan dengan fungsi tujuan berikut ini

$$\min_{K,r} \sum_{i=1}^{22} \left[P_{aktual}(t_i) - \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{P_0} - 1\right) e^{-rt_i}} \right]^2 . \quad (7)$$

Masalah optimisasi pada Persamaan (7) diselesaikan dan diperoleh perbandingan data aktual dan data hasil proyeksi produksi padi dalam proses estimasi parameter r dan K, disajikan dalam Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Perbandingan data aktual dan data hasil proyeksi produksi padi

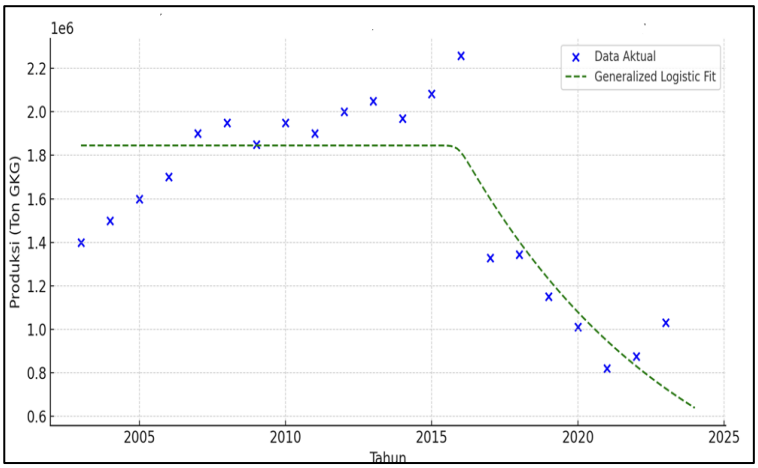
Berdasarkan hasil estimasi parameter model logistik terhadap data produksi padi di Kalimantan Selatan tahun 2003–2024, diperoleh nilai *carrying capacity* (K) yang sangat kecil (sekitar 310.089 ton) dan laju pertumbuhan (r) yang sangat rendah ($2{,}97\times10^{-6}$), disertai nilai MAPE yang cukup tinggi (24,30%). Temuan ini menunjukkan bahwa model logistik kurang mampu merepresentasikan dinamika pertumbuhan produksi padi secara akurat dalam periode tersebut. Secara teoritis, model logistik menggambarkan pertumbuhan yang bersifat sigmoidal (*S-curve*), yaitu peningkatan awal yang cepat, kemudian melandai mendekati kapasitas maksimum (K). Namun, pola data aktual menunjukkan fluktuasi signifikan dengan tren naik, turun, naik kembali. Oleh karena itu, pendekatan model logistik kurang tepat diterapkan dalam proyeksi produksi padi di wilayah ini.

2. Estimasi dan Proyeksi Produksi Padi Menggunakan Model Richards

Masalah optimisasi ini dengan menggunakan Persamaan (5) dan Persamaan (6) dinyatakan dengan fungsi tujuan berikut ini

$$\min_{K,r,v} \sum_{i=1}^{22} \left[P_{aktual}(t_i) - \frac{K}{(1 + ve^{-r(t_i - t_\theta)})^{\frac{1}{v}}} \right]^2. \quad (8)$$

Proses optimisasi parameter model Richards bertujuan untuk memperoleh nilai parameter K (*carrying capacity*), r (laju pertumbuhan intrinsik), dan v (parameter bentuk/kelengkungan kurva) yang paling sesuai dengan data produksi padi aktual. Estimasi parameter dilakukan menggunakan metode *Nonlinear Least Squares* (NLS) dengan meminimalkan fungsi tujuan pada Persamaan (8). Masalah optimisasi pada Persamaan (8) diselesaikan dan diperoleh perbandingan data aktual dan data hasil proyeksi produksi padi dalam proses estimasi parameter r, v dan K, disajikan dalam Gambar 3 berikut.

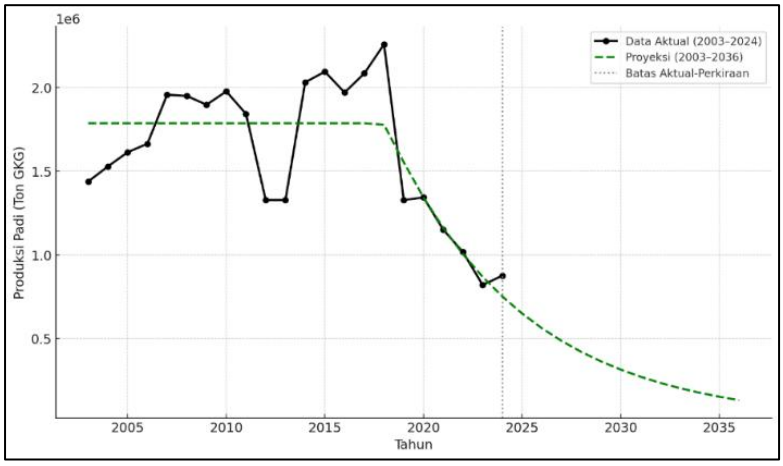


Gambar 3. Perbandingan data aktual dan data hasil proyeksi produksi padi

Berdasarkan hasil estimasi parameter model logistik tergeneralisasi (Richards), diperoleh bahwa kapasitas maksimum produksi padi GKG (*Carrying Capacity*, K) di Kalimantan Selatan berada pada kisaran 1.786.168,43 ton. Nilai ini menggambarkan batas atas sistem yang dapat dicapai dalam jangka panjang apabila tidak terdapat gangguan besar terhadap sistem produksi. Sementara itu, laju pertumbuhan (r) diperoleh bernilai negatif sebesar -14,15, yang menandakan sistem tengah mengalami fase kontraksi atau degradasi tajam, bukan pertumbuhan (tetapi penurunan). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tekanan sistemik seperti penurunan luas lahan panen, perubahan iklim, bencana alam atau gangguan input produksi. Parameter fleksibilitas (v) diperoleh sebesar 97,35, mencerminkan bentuk kurva yang sangat curam dan menyerupai fungsi tangga, menunjukkan bahwa setelah peningkatan stabil dalam beberapa tahun, terjadi penurunan produksi yang sangat tajam. Tahun 2018 mengindikasikan momen puncak produksi sebelum tren berbalik turun drastis. Hasil ini konsisten dengan data historis yang menunjukkan bahwa produksi tertinggi terjadi pada sekitar tahun 2017–2018 sebelum mengalami penurunan signifikan pada tahun-tahun berikutnya.

Nilai MAPE sebesar 12,50% yang diperoleh dari proses estimasi menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesalahan relatif yang tergolong rendah (di bawah 15%). Berdasarkan kriteria umum evaluasi akurasi model, hal ini mengindikasikan bahwa model layak digunakan untuk melakukan proyeksi dengan tingkat akurasi yang baik.

Selanjutnya berdasarkan hasil estimasi nilai r, K, v disubstitusi ke solusi model pada Persamaan (5), maka diberikan hasil prediksi produksi padi berdasarkan hasil estimasi parameter tersebut sebagai berikut.



Gambar 4. Hasil proyeksi produksi padi berdasarkan hasil estimasi parameter

Gambar 4 Merupakan grafik yang menunjukkan tren penurunan produksi padi di Kalimantan Selatan berdasarkan data aktual tahun 2003–2024 dan proyeksi hingga 2036 menggunakan model logistik tergeneralisasi. Setelah puncak produksi sekitar tahun 2018–2019, terjadi penurunan tajam, terutama pasca-2020. Proyeksi menunjukkan penurunan berkelanjutan hingga di bawah 0,5 juta ton GKG pada 2036. Dengan tingkat akurasi model yang baik (MAPE 12,50%), grafik ini menunjukkan potensi krisis produksi jika tidak dilakukan intervensi signifikan.

Luas panen merupakan indikator penting dalam statistik pertanian yang mencerminkan total luas lahan yang telah dipanen dalam satu tahun, termasuk lahan yang dipanen lebih dari satu kali. Dengan demikian, luas panen tidak hanya menggambarkan luas lahan fisik, tetapi juga intensitas penggunaan lahan untuk produksi tanaman pangan, seperti padi. Penurunan signifikan dalam luas panen, seperti yang terlihat di Provinsi Kalimantan Selatan pasca-2018, dapat mengindikasikan beberapa kemungkinan, antara lain alih fungsi lahan pertanian ke non-pertanian, penurunan produktivitas akibat degradasi lahan atau infrastruktur irigasi, serta gangguan panen yang disebabkan oleh bencana alam, serangan hama, atau perubahan iklim. Oleh karena itu, tren penurunan luas panen perlu dianalisis lebih lanjut dalam konteks dinamika lingkungan setempat untuk merumuskan kebijakan ketahanan pangan yang tepat.

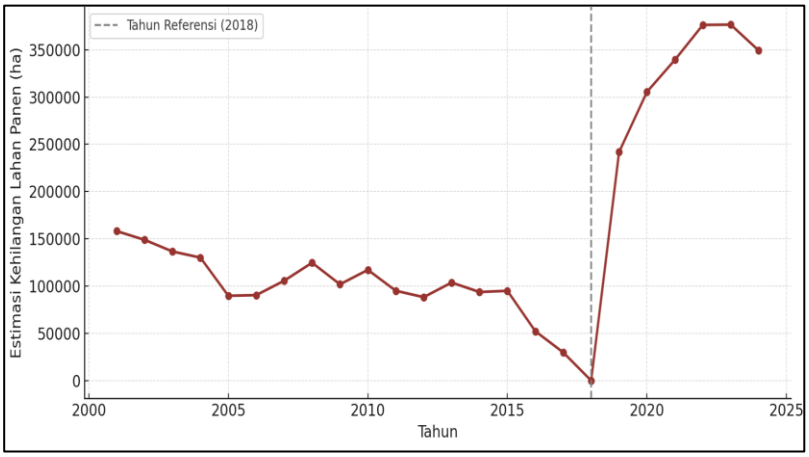
Berdasarkan perbandingan luas panen maksimum (tahun 2018 = 594.827 ha) dengan luas panen tahun-tahun berikutnya, diperoleh selisih luas panen untuk memperkirakan estimasi kehilangan lahan potensial sebagai berikut:

Tabel 2. Estimasi kehilangan lahan potensial

Tahun	Luas Panen (ha)	Selisih terhadap 2018 (ha)
2019	356.246	238.581
2020	289.836	305.000
2021	254.263	340.564
2022	214.909	379.918
2023	214.284	380.543

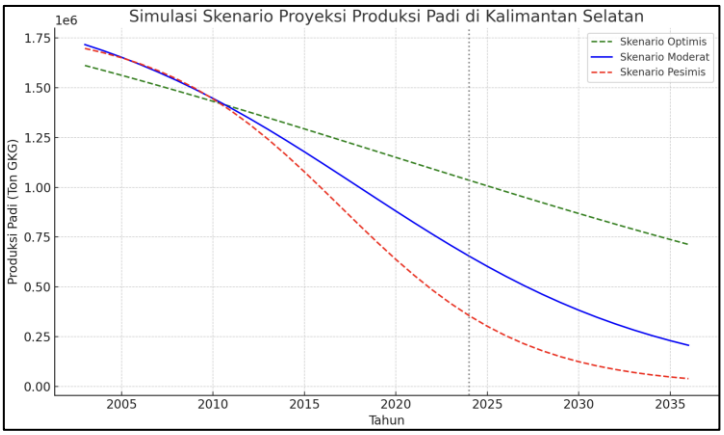
Berdasarkan Tabel 2, penurunan luas panen seluas 200.000–380.000 ha secara akumulatif sejak 2018.

Berikut adalah grafik estimasi kehilangan lahan panen di Kalimantan Selatan dari tahun 2003 hingga 2024 yang diduga karena alih fungsi lahan, akibat bencana banjir dan dampak fenomena iklim La Nina.



Gambar 5. Estimasi kehilangan lahan panen per tahun

Berdasarkan Gambar 5, hasil estimasi penurunan lahan panen di Provinsi Kalimantan Selatan selama periode 2003 hingga 2024, tercatat bahwa total kehilangan lahan panen mencapai sekitar 3.545.383 ha. Angka ini mencerminkan terjadinya penurunan luas panen secara signifikan dalam kurun waktu dua dekade terakhir. Rata-rata penurunan lahan panen per tahun sebesar 161.154 ha, yang mengindikasikan adanya tekanan terhadap keberlanjutan produksi pertanian, khususnya tanaman pangan utama seperti padi. Temuan ini dapat menjadi dasar penting dalam penyusunan kebijakan perlindungan dan rehabilitasi lahan pertanian di Kalimantan Selatan.



Gambar 6. Simulasi skenario proyeksi produksi padi (GKG) di Kalimantan Selatan

Gambar 6 menunjukkan simulasi skenario proyeksi produksi padi (GKG) di Kalimantan Selatan berdasarkan model logistik tergeneralisasi (Richards) hingga tahun 2036. Tiga skenario ini dikembangkan mencerminkan berbagai kemungkinan masa depan: (1) skenario optimis (garis hijau), penulis berasumsi bahwa terdapat peningkatan produktivitas melalui intensifikasi dan adopsi teknologi pertanian baru, menghasilkan tren yang menurun secara lambat; (2) skenario moderat (garis biru) mencerminkan kelanjutan tren penurunan seperti saat ini akibat berbagai faktor tekanan lingkungan; dan (3) skenario pesimis (garis merah), peneliti berasumsi bahwa penurunan tajam produksi akibat percepatan penurunan luas lahan panen atau dampak perubahan iklim seperti bencana banjir. Simulasi ini memberikan dasar ilmiah sebagai gambaran pengambilan kebijakan adaptif dalam menjamin ketahanan pangan daerah di tengah ketidakpastian.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa baik model logistik maupun Richards mampu merepresentasikan dinamika produksi padi di Kalimantan Selatan dengan pola pertumbuhan sigmoidal, namun model Richards terbukti lebih akurat dengan nilai MAPE di bawah 15%. Analisis data juga mengindikasikan adanya penurunan luas panen yang signifikan sejak tahun 2018 dengan kehilangan kumulatif sekitar 3,54 juta ha pada periode 2003–2024, yang dipengaruhi oleh alih fungsi lahan dan bencana banjir. Proyeksi skenario optimis memberikan potensi peningkatan produksi, sementara skenario pesimis menunjukkan kecenderungan stagnasi akibat keterbatasan lahan dan tekanan eksternal lainnya. Oleh karena itu, model Richards dapat dijadikan sebagai pendekatan yang lebih representatif dalam proyeksi produksi padi sekaligus dasar bagi kebijakan perlindungan lahan pertanian dan ketahanan pangan berkelanjutan di Kalimantan Selatan. Ke depan, penelitian ini dapat dikembangkan dengan memasukkan variabel lingkungan seperti curah hujan, banjir, dan kualitas lahan, serta diperluas pada skala kabupaten/kota untuk

memberikan hasil proyeksi yang lebih detail dan relevan bagi perumusan kebijakan regional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lambung Mangkurat atas dukungan pendanaan melalui Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA) Universitas Lambung Mangkurat Badan Layanan Umum Tahun Anggaran 2025 dengan Nomor: SP DIPA-139.03.2.693381/2025.

REFERENSI

Barnes, B., & Fulford, G. R. (2009). *Mathematical Modelling with Case Studies: A Differential Equation Approach Using Maple and Matlab*. In London (Second). CRC Press Taylor & Francis Group.

Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Selatan. (2024). *Luas Panen, Produktivitas, dan Produksi Padi Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Kalimantan Selatan, 2024*. https://kalsel.bps.go.id/en/statistics-table/3/WmpaNk1YbGFjR0pOUjBKYWFIQlBSU3MwVHpOVWR6MDkjMyM2MzAw/luas-panen-produktivitas-dan-produksi-padi-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-kalimantan-selatan.html?utm_source=chatgpt.com

Crescenzo, A. D., Paraggio, P., & Torres-Ruiz, F. (2024). A Bertalanffy–Richards growth Model Perturbed by A Time-Dependent Pattern, Statistical Analysis and Applications. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. Vol. *139* (108258). https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S100757042400443X

Foundations, L., Yang, Y., Fan, W., Long, L., Xu, Z., Zhao, Z., & Zhang, H. (2022). Application of the Richards Model in Settlement Prediction of Loess-Filled Foundations. *Applied Sciences*. Vol. *12*(22), 1–13. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app122211350

Gerhard, D., & Moltchanova, E. (2023). A Richards Growth Model to Predict Fruit Weight. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*. Vol. *64*(4), 413–421. https://doi.org/10.1111/anzs.12380

Karim, M. A., & Gunawan, A. Y. (2020). Parameter Estimations of Fuzzy Forced Duffing Equation: Numerical Performances by the Extended Runge-Kutta Method. *Abstract and Applied Analysis*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/6179591

Karim, M. A., & Yulida, Y. (2019). Prediksi Jumlah Penduduk Kalimantan Selatan Menggunakan Metode Nonlinear Least-Squares. *Media Bina Ilmiah*. Vol. *14*(5), 2605–2610.

Media Center Portal Berita Kalimantan Selatan. (2025). *Tahun 2024, Realisasi*

Luas Panen Padi Mencapai 246.112 Hektare. https://diskominfomc.kalselprov.go.id/2025/03/03/tahun-2024-realisasi-luas-panen-padi-mencapai-246-112-hektare/

Rafidah, F., Hariyati, Y., & Muhtadi, K. (2024). Determinan dan Dampak Kebijakan Peningkatan Areal Irigasi terhadap Rasio Ketergantungan Impor Beras Indonesia. *Jurnal Pangan*. Vol. *33*(2), 97–118.

Ross, S. L. (2004). *Differential Equation* (Third). John Wiley & Sons, New Delhi.

Sari, L. P., Yamin, M., & Antoni, M. (2024). Single Exponential Smoothing on Pangasius Production Forecasting in South Sumatera. *Journal of Smart Agriculture and Environmental Technology*. Vol. *2*(1), 13–17.

Tjørve, E., & Tjørve, K. M. C. (2010). A Unified Approach to The Richards-Model Family for Use in Growth Analyses : Why We Need Only Two Model Forms. *Journal of Theoretical Biology*. Vol. *267*(2010), 417–425. https://doi.org/10.1016/j. jtbi.2010.09.008

Tofiq, V. A., Gabil, M., Zahid, T., Jabbar, M., Vahid, H., & Haji, K. (2023). Modeling and Forcasting of Production An Agricultural Product. *Journal of Law and Sustainable Development*. Vol. *11*(7), 1–18.

Yulida, Y., & Karim, M. A. (2021). Prediction of Rice Consumption in South Kalimantan by Considering Population Growth Rate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. *758*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/758/1/012022

Yulida, Y., Nurrobi, F., Faisal, & Karim, M. A. (2022). Analysis of Stability and Bifurcation in Logistics Models with Harvesting in The Form of The Holling Type III Functional Respo nse. *Desimal : Jurnal Matematika*. Vol. *5*(1), 103–122. https://doi.org/10.24042/djm