

TUGAS AKHIR - SM234801

**ESTIMASI HASIL PANEN PADI DAN LUAS PANEN
PADI DI KABUPATEN PURWOREJO
MENGUNAKAN METODE
ADAMS-BASHFORTH-MOULTON DAN METODE
HAMMING BERDASARKAN MODEL VERHULST**

SETYA RENDY KUSUMA

NRP 5002201058

Dosen Pembimbing

Drs. Lukman Hanafi, M.SC

NIP 19640624 198803 1 001

Program Studi Sarjana

Departemen Matematika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR - SM234801

**ESTIMASI HASIL PANEN PADI DAN LUAS PANEN
PADI DI KABUPATEN PURWOREJO
MENGUNAKAN METODE
ADAMS-BASHFORTH-MOULTON DAN METODE
HAMMING BERDASARKAN MODEL VERHULST**

SETYA RENDY KUSUMA

NRP 5002201058

Dosen Pembimbing

Drs. Lukman Hanafi, M.SC

NIP 19640624 198803 1 001

Program Sarjana

Departemen Matematika

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



FINAL PROJECT - SM234801

**ESTIMATION OF RICE HARVEST RESULTS AND
HARVEST AREA RICE IN PURWOREJO DISTRICT
METHOD OF USING
ADAMS-BASHFORTH-MOULTON AND METHODS
HAMMING BASED ON THE VERHULST MODEL**

SETYA RENDY KUSUMA

NRP 5002201058

Supervisors

Drs. Lukman Hanafi, M.SC

NIP 19640624 198803 1 001

Bachelor Program

Departement of Mathematics

Faculty of Science and Data Analytics Scientics

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**ESTIMASI HASIL PANEN PADI DAN LUAS PANEN PADI DI
KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE
ADAMS-BASHFORTH-MOULTON DAN METODE HAMMING
BERDASARKAN MODEL VERHULST**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Matematika pada
Program Studi S-1 Matematika
Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **SETYA RENDY KUSUMA**
NRP. 5002201058

Surabaya, Juni 2024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Pembimbing

1. Drs. Lukman Hanafi, M.SC
NIP. 19640624 198803 1 001


(.....)

Penguji

1. Prof. Dr. Chairul Imron, M.I.Komp.
NIP. 19611115 198703 1 003

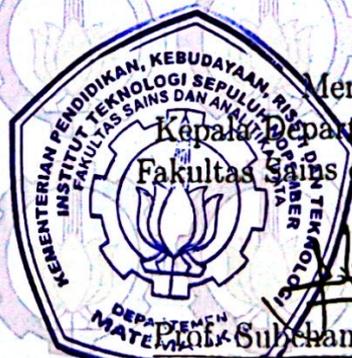

(.....)

2. Dra. Laksmi Prita Wardhani, M.Si
NIP. 19611208 198803 2 001


(.....)

3. Drs. Kamiran, M.Si
NIP. 19630623 198903 1 001


(.....)



Mengetahui

Kepala Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data


Felix Subehan, S.Si, M.Sc, Ph.D
NIP. 19710513 199702 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan disini:

Nama Mahasiswa / NRP : Setya Rendy Kusuma / 5002201058
Departemen : Matematika
Dosen Pembimbing / NIP : Drs. Lukman Hanafi, M.SC / 19640624 198803 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ESTIMASI HASIL PANEN PADI DAN LUAS PANEN PADI DI KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE *ADAMS-BASHFORTH-MOULTON* DAN METODE *HAMMING* BERDASARKAN MODEL VERHULST” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 27 Juni 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Drs. Lukman Hanafi, M.SC
NIP. 19640624 198803 1 001

Mahasiswa



Setya Rendy Kusuma
NRP. 5002201058

ABSTRAK

ESTIMASI HASIL PANEN PADI DAN LUAS PANEN PADI DI KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE *ADAMS-BASHFORTH-MOULTON* DAN METODE *HAMMING* BERDASARKAN MODEL VERHULST

Nama Mahasiswa / NRP : Setya Rendy Kusuma / 5002201058
Departemen : Matematika FSAD -ITS
Dosen Pembimbing : Drs. Lukman Hanafi, M.SC

Abstrak

Padi merupakan tanaman budidaya yang sangat penting bagi umat manusia karena lebih dari setengah penduduk dunia tergantung pada tanaman ini sebagai sumber bahan pangan. Padi juga merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat Indonesia, karena sebagai sumber energi dan karbohidrat bagi mereka, oleh sebab itu penting untuk mengetahui perkiraan ketersediaan padi supaya dapat mengantisipasi masalah kekurangan komoditas padi di tahun mendatang. Penelitian ini melakukan estimasi ketersediaan padi pada masa mendatang dengan membentuk model matematika terlebih dahulu, dimana model matematika yang digunakan yaitu model logistik Verhulst. Persamaan diferensial dalam model logistik Verhulst terlebih dahulu diselesaikan dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat yang merupakan metode numerik satu langkah untuk mendapatkan empat solusi awal untuk digunakan dalam mencari nilai hampiran dengan menggunakan metode *Adams-Bashforth-Moulton* dan metode *Hamming*. Solusi hampiran yang diperoleh dengan menggunakan dua metode tersebut maka dilakukan perbandingan tingkat akurasi dari kedua metode. Metode yang memiliki solusi hampiran dengan nilai galat terendah merupakan metode yang lebih akurat. Model Verhulst dengan ukuran langkah $h = 1$, kapasitas tampung hasil panen padi dan luas panen padi dibatasi sebesar 400,000, 450,000, dan 500,000 dengan tingkat hasil panen padi sebesar -4.31% , -3.14% , -2.58% dan tingkat luas panen padi sebesar -1.25% , -1.23% , -1.22% . Nilai galat panen padi dengan metode *Adams-Bashforth-Moulton* dan metode *Hamming* menunjukkan nilai yang sama yaitu 6.23%, 6.11%, 6.06%, dan untuk nilai galat luas panen padi dengan metode *Adams-Bashforth-Moulton* dan metode *Hamming* juga menunjukkan nilai yang sama yaitu 4.60%, 4.59%, 4.57%. Berdasarkan nilai galat tersebut menunjukkan bahwa metode *Adams-Bashforth-Moulton* dan metode *Hamming* memiliki tingkat ketelitian yang sama.

Kata kunci: *model Verhulst, metode Adams-Bashforth-Moulton, metode Hamming*

ABSTRACT

ESTIMATION OF RICE HARVEST RESULTS AND HARVEST AREA RICE IN PURWOREJO DISTRICT METHOD OF USING *ADAMS-BASHFORTH-MOULTON* AND METHODS *HAMMING* BASED ON THE VERHULST MODEL

Student Name / NRP : Setya Rendy Kusuma / 5002201058
Departement : Mathematics SCIENTICS - ITS
Advisor : Drs. Lukman Hanafi, M.SC

Abstract

Rice is a very important cultivated plant for mankind because More than half of the world's population depends on this plant as a source foodstuffs. Rice is also a primary need for Indonesian people, because it is a source of energy and carbohydrates for them, therefore it is important to find out estimates of rice availability in order to anticipate problems shortage of rice commodities in the coming year. This research carries out estimates availability of rice in the future by forming a mathematical model first Previously, the mathematical model used was the Verhulst logistic model. The differential equation in the Verhulst logistic model is first solved by using the fourth order Runge-Kutta method which is a numerical method one step to get four initial solutions to use in searching approximate value using the Adams-Bashforth-Moulton method and method Hamming. Approximate solutions obtained using these two methods then a comparison of the level of accuracy of the two methods is carried out. The method has The approximate solution with the lowest error value is a more accurate method. Model Verhulst with step size $h = 1$, capacity for carrying rice harvest and area Rice harvest is limited to 400.000, 450.000, and 500.000 with yield levels rice was -4.31% , -3.14% , -2.58% and the level of rice harvested area was -1.25% , -1.23% , -1.22% . Rice harvest error value using the Adams-Bashforth-Moulton method and the Hamming method show the same values, namely 6.23% , 6.11% , 6.06% , and for the error value of rice harvest area using the Adams Bashforth-Moulton method and method Hamming also shows the same values, namely 4.60% , 4.59% , 4.57% . Based on The error value shows that the Adams-Bashforth-Moulton method and method Hamming has the same level of precision.

Keywords: *Verhulst model, Adams-Bashforth-Moulton method, Hamming method*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas berkah, rahmat dan Ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

”ESTIMASI HASIL PERTUMBUHAN PANEN PADI DI KABUPATEN PURWOREJO MENGGUNAKAN METODE *ADAMS-BASHFORTH-MOULTON* DAN METODE *HAMMING* BERDASARKAN MODEL VERHULST”

sebagai salah satu persyaratan akademis dalam menyelesaikan Program Sarjana Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik berkat kerja sama, bantuan, dan dukungan dari banyak pihak. Sehubungan dengan hal itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada :

1. Orang tua yang telah memberikan support, nasehat dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kepala Departemen Matematika FSAD ITS dan Sekretaris Departemen Matematika FSAD ITS beserta jajarannya
3. Seluruh jajaran dosen, tenaga pendidik Departemen Matematika ITS yang telah memberikan banyak ilmu, pengalaman dan bantuan kepada penulis selama menempuh proses perkuliahan.
4. Drs. Lukman Hanafi, M.SC selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dengan penuh kesabaran kepada penulis.
5. Ibu Dian Winda Setyawati, S.Si, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dengan penuh kesabaran kepada penulis selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan, Matematika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Angkatan 2020 yang telah mengisi hari - hari penulis dengan penuh keceriaan, motivasi dan pengalaman.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Surabaya, 27 Juni 2024



Setya Rendy Kusuma

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SIMBOL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Model Verhulst	6
2.3 Metode Numerik	7
2.3.1 Metode Satu Langkah (<i>single step</i>)	8
2.3.2 Metode Banyak Langkah (<i>multi-step</i>)	8
2.4 Metode Runge-Kutta	8
2.5 Metode Adams-Bashforth-Moulton	9
2.6 Metode Hamming	10
2.7 Galat	11
BAB III METODOLOGI	13
3.1 Studi Literatur	13
3.2 Pengambilan Data	13
3.3 Solusi Awal Model Verhulst	13
3.4 Metode ABM dan Metode Hamming	13
3.5 Analisis Hasil Simulasi	13
3.6 Kesimpulan dan Saran	13
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	15
4.1 Analisa Data	15
4.2 Solusi Awal Rung-Kutta Pada Model Verhulst	19
4.2.1 Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 400000$	20
4.2.2 Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 450000$	22

4.2.3	Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 500000$	22
4.2.4	Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$	23
4.2.5	Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$	25
4.2.6	Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$	25
4.3	Solusi Numerik dengan Metode ABM Pada Model Verhulst	26
4.3.1	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 400000$	26
4.3.2	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 450000$	28
4.3.3	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 500000$	29
4.3.4	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$	30
4.3.5	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$	32
4.3.6	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$	33
4.4	Solusi Numerik dengan Metode Hamming Pada Model Verhulst	34
4.4.1	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 400000	35
4.4.2	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 450000	37
4.4.3	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 500000	38
4.4.4	Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$	39
4.4.5	Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$	41
4.4.6	Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$	42
4.5	Analisis Galat	43
4.5.1	Galat Panen Padi dengan $K = 400000$	44
4.5.2	Galat Panen Padi dengan $K = 450000$	45
4.5.3	Galat Produksi Padi dengan $K = 500000$	46
4.5.4	Perbandingan Galat Panen Padi di Kabupaten Purworejo	47
4.5.5	Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$	47
4.5.6	Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$	48
4.5.7	Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$	49
4.5.8	Perbandingan Galat Luas Panen Padi di Kabupaten Purworejo ..	50
4.6	Estimasi Hasil Panen Padi dan Luas Lahan Panen	50
4.6.1	Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 400000$	51
4.6.2	Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 450000$	52
4.6.3	Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 500000$	52
4.6.4	Hasil Estimasi Panen Padi	53
4.6.5	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$	54
4.6.6	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$	55
4.6.7	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$	56
4.6.8	Hasil Estimasi Luas Panen Padi	57

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	Kesimpulan	59
5.2	Saran	60
DAFTAR PUSTAKA		61
DAFTAR LAMPIRAN		63
Lampiran 1	Tabel Data Hasil Panen Padi dan Data Luas Panen di Kabupaten Purworejo.....	63
Lampiran 2	<i>Code</i> Matlab Metode <i>Adams-Bashforth-Moulton</i>	63
Lampiran 3	<i>Code</i> Matlab Metode <i>Hamming</i>	64
UCAPAN TERIMA KASIH		67
BIODATA PENULIS		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Diagram Penelitian	14
Gambar 4.1	Panen Padi Kabupaten Purworejo Tahun 2012-2023.....	16
Gambar 4.2	Luas Lahan Panen Padi Kabupaten Purworejo Tahun 2012-2023..	17
Gambar 4.3	Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 400000$...	28
Gambar 4.4	Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 450000$...	29
Gambar 4.5	Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 500000$...	30
Gambar 4.6	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 400000$	32
Gambar 4.7	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 450000$	33
Gambar 4.8	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 500000$	34
Gambar 4.9	Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 400000$	37
Gambar 4.10	Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 450000$	38
Gambar 4.11	Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 500000$	39
Gambar 4.12	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K =$ 400000	41
Gambar 4.13	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K =$ 450000	42
Gambar 4.14	Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K =$ 500000	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Hasil Panen Padi Sawah Kabupaten Purworejo (Ton)	15
Tabel 4.2	Data Luas Lahan Panen Padi Kabupaten Purworejo (Hektare)	16
Tabel 4.3	Tingkat Hasil Panen dan Luas Panen	18
Tabel 4.4	Solusi Awal Numerik Panen padi pada $K = 400000$	21
Tabel 4.5	Solusi Awal Numerik Estimasi Panen padi pada $K = 400000$	21
Tabel 4.6	Solusi Awal Numerik Panen Padi pada $K = 450000$	22
Tabel 4.7	Solusi Awal Numerik Estimasi Panen Padi pada $K = 450000$	22
Tabel 4.8	Solusi Awal Numerik Panen Padi pada $K = 500000$	22
Tabel 4.9	Solusi Awal Numerik Estimasi Panen Padi pada $K = 500000$	23
Tabel 4.10	Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$	24
Tabel 4.11	Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$.	25
Tabel 4.12	Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$	25
Tabel 4.13	Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$.	25
Tabel 4.14	Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$	25
Tabel 4.15	Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$.	26
Tabel 4.16	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 400000$	27
Tabel 4.17	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 450000$	28
Tabel 4.18	Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 500000$	29
Tabel 4.19	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 400000$	32
Tabel 4.20	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 450000$	33
Tabel 4.21	Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 500000$	34
Tabel 4.22	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 400000	36
Tabel 4.23	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 450000	37
Tabel 4.24	Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K =$ 500000	38
Tabel 4.25	Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 400000$	41
Tabel 4.26	Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 450000$	42
Tabel 4.27	Solusi Numerik Hamming Luas Lahan panen padi dengan $K = 500000$	43
Tabel 4.28	Galat Panen Padi $K = 400000$ pada Metode ABM	44
Tabel 4.29	Galat Panen Padi $K = 400000$ pada Metode Hamming	44
Tabel 4.30	Galat Panen Padi $K = 450000$ pada Metode ABM	45
Tabel 4.31	Galat Panen Padi $K = 450000$ pada Metode Hamming	45
Tabel 4.32	Galat Panen Padi $K = 500000$ pada Metode ABM	46
Tabel 4.33	Galat Panen Padi $K = 500000$ pada Metode Hamming	46

Tabel 4.34	Perbandingan Galat Panen Padi di Kabupaten Purworejo	47
Tabel 4.35	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$ pada Metode ABM	47
Tabel 4.36	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$ pada Metode Hamming	48
Tabel 4.37	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$ pada Metode ABM	48
Tabel 4.38	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$ pada Metode Hamming	49
Tabel 4.39	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$ pada Metode ABM	49
Tabel 4.40	Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$ pada Metode Hamming	50
Tabel 4.41	Perbandingan Galat Luas Lahan Panen di Kabupaten Purworejo	50
Tabel 4.42	Estimasi Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode ABM	51
Tabel 4.43	Estimasi Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode Hamming	51
Tabel 4.44	Estimasi Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode ABM	52
Tabel 4.45	Estimasi Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode Hamming	52
Tabel 4.46	Estimasi Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode ABM	53
Tabel 4.47	Estimasi Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode Hamming	53
Tabel 4.48	Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.23%	53
Tabel 4.49	Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.11%	54
Tabel 4.50	Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.06%	54
Tabel 4.51	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode ABM	54
Tabel 4.52	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode Hamming	55
Tabel 4.53	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode ABM	55
Tabel 4.54	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode Hamming	56
Tabel 4.55	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode ABM	56
Tabel 4.56	Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode Hamming	57
Tabel 4.57	Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.60%	57
Tabel 4.58	Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.59%	57
Tabel 4.59	Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.57%	58
1	Data Hasil Panen Padi dan Luas Panen Sawah Kabupaten Purworejo	63

DAFTAR SIMBOL

$\frac{dN}{dt}$: Laju pertumbuhan populasi terhadap waktu
N	: Jumlah populasi
N_0	: Jumlah populasi awal
N_t	: Jumlah populasi pada saat t
r	: Tingkat pertumbuhan populasi
K	: Kapasitas tampung (carrying capacity)
ε_r	: Galat relatif
ε_m	: Galat mutlak
y	: Solusi sejati
y_j	: Solusi hampiran iterasi ke-j
y_{j+1}	: Solusi hampiran iterasi ke-j+1
h	: Ukuran langkah <i>step size</i>
k_1, k_2, k_3, k_4	: Persamaan rekurensi metode Runge-Kutta orde empat
$f(x, y)$: kemiringan <i>slope</i>
$P_{k-1}(x)$: Polinomial interpolasi Newton dengan derajat $k-1$
$P_k(x)$: Polinomial interpolasi Newton dengan derajat k
∇	: Beda mundur

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Padi merupakan tanaman budidaya yang sangat penting bagi umat manusia karena sebagai sumber bahan pangan. Sebagian besar masyarakat sangat membutuhkan padi untuk sumber energi dan karbohidrat (Utama, 2015). Banyak masyarakat yang mengkonsumsi padi, oleh karena itu penting untuk mengetahui ketersediaan padi. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi jumlah ketersediaan hasil panen padi, antara lain perubahan iklim, keterbatasan modal, maupun kurangnya penguasaan teknologi budidaya padi, selain itu luas lahan pertanian padi yang berkurang juga dapat mempengaruhi ketersediaan hasil panen padi. Apabila luas lahan pertanian menyempit otomatis luas panen padi juga akan menyempit Sehingga dapat menyebabkan jumlah hasil panen padi berkurang (Aisha, 2016). Berkurangnya jumlah hasil panen padi juga terjadi di Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah, sehingga menarik untuk dilakukan penelitian.

Menurut data dari Badan Pusat statistik Kabupaten Purworejo jumlah panen padi dari tahun 2012 sampai 2023 mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak stabil, oleh sebab itu Pemerintah Kabupaten Purworejo harus mengetahui perkiraan ketersediaan hasil panen untuk mengantisipasi beberapa hal yang mungkin terjadi seperti perubahan iklim yang tidak menentu di tahun mendatang, sehingga diharapkan tidak terjadi kekurangan komoditas padi di Kabupaten Purworejo.

Salah satu cara untuk mengetahui perkiraan ketersediaan hasil panen padi pada tahun mendatang yaitu dengan melakukan pembentukan model matematika. Pemodelan matematika merupakan suatu proses merepresentasikan dan menjelaskan permasalahan pada dunia nyata ke dalam pernyataan matematis (Side, 2019). Untuk menghitung estimasi pertumbuhan populasi terdapat empat jenis model pertumbuhan populasi yaitu model diskrit, model eksponensial, model pertumbuhan populasi dengan distribusi umur, dan model logistik, dengan empat jenis model tersebut model logistik yang dikenalkan oleh Pierre Francois Verhulst (1838), merupakan model pertumbuhan populasi yang paling akurat. Model pertumbuhan populasi logistik menurut Verhulst merupakan model matematika dengan persamaan diferensial tak linier (Arjuna & Lubis, 2024).

Persamaan diferensial tak linier memiliki dua penyelesaian yaitu penyelesaian secara analitik dan secara numerik. Pada penelitian ini dilakukan penyelesaian secara numerik karena metode numerik merupakan sebuah cara yang dapat menyelesaikan suatu persamaan diferensial yang tak linier. Metode numerik pada umumnya memiliki dua jenis penyelesaian persamaan diferensial, yaitu metode satu langkah (single step) dan metode banyak langkah (multi-step). Metode satu langkah membutuhkan sebuah nilai solusi awal sedangkan metode banyak langkah membutuhkan beberapa nilai solusi awal. Metode banyak langkah dalam mendapatkan solusi harus menemukan nilai prediksi dengan menggunakan persamaan predictor dahulu dan kemudian menemukan nilai koreksi dengan menggunakan persamaan corrector (Suryani, Suprianto, Wartono, et al., 2023). Metode banyak langkah yang sering digunakan yaitu metode Adams-Bashforth-Moulton, metode Milne-Simpson dan metode Hamming.

Terdapat beberapa Penelitian yang membahas mengenai estimasi dengan metode

Adams-Bashforth-Moulton, metode Milne-Simpson dan metode Hamming, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Abdullah (2016) memprediksi pertumbuhan penduduk di Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian tersebut menggunakan model Verhulst untuk menghitung estimasi pertumbuhan penduduk dengan menggunakan metode satu langkah Runge-Kutta orde empat dan menggunakan metode banyak langkah Adams-Bashforth-Moulton sebagai solusi numerik untuk mencari nilai estimasi jumlah pertumbuhan penduduk (Abdullah, 2016). Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Syafruddin Side, dkk (2019) melakukan penelitian mengenai model Verhulst untuk estimasi pertumbuhan hasil panen padi menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton. Penelitian ini menerapkan model Verhulst untuk estimasi pertumbuhan hasil panen padi. Penelitian selanjutnya yaitu dilakukan oleh Rizki Eko Prasetyo (2022). Penelitian tersebut membandingkan antara metode Adams-Bashforth-Moulton dengan metode Milne-Simpson untuk solusi numerik estimasi hasil pertumbuhan panen padi di Kabupaten Jombang.

Berdasarkan beberapa uraian di atas, penelitian ini melakukan estimasi pertumbuhan panen padi yang dipengaruhi oleh luas panen di Kabupaten Purworejo dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming berdasarkan model Verhulst. Melalui penelitian ini diharapkan hasil estimasi pertumbuhan hasil panen padi dapat digunakan sebagai informasi acuan oleh pihak yang berkaitan untuk meningkatkan jumlah produksi panen padi pada masa mendatang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat ketelitian antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming untuk mengestimasi hasil panen padi dan luas panen padi di Kabupaten Purworejo berdasarkan model Verhulst?
2. Bagaimana cara mendapatkan hasil estimasi panen padi dan luas panen padi di Kabupaten Purworejo dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming berdasarkan model Verhulst?
3. Bagaimana pengaruh luas lahan panen padi terhadap hasil panen padi?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan penelitian ini dilakukan pembatasan terhadap ruang lingkup pembahasannya. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Data yang digunakan merupakan data sekunder yaitu data hasil panen padi sawah dan data luas panen padi di Kabupaten Purworejo pada tahun 2012 hingga 2023 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Purworejo.
2. Populasi yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil panen padi yang dipengaruhi oleh luas panen padi.
3. Perhitungan estimasi hasil panen padi dan luas panen mulai tahun 2024 hingga tahun 2026 dengan menentukan solusi awal menggunakan metode Runge-Kutta orde empat.
4. Batas nilai galat solusi hampiran estimasi hasil panen padi yaitu $\epsilon < 10^{-6}$
5. Penelitian ini menggunakan *Software* Matlab.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dibahas sebelumnya, didapat tujuan khusus yang ingin dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisa tingkat ketelitian antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming untuk hasil estimasi pertumbuhan panen padi dan luas panen di Kabupaten Purworejo berdasarkan model Verhulst.
2. Mendapatkan hasil estimasi panen padi dan luas panen padi di Kabupaten Purworejo dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming berdasarkan model Verhulst
3. Mengetahui pengaruh dari luas panen padi terhadap pertumbuhan panen padi di Kabupaten Purworejo

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan topik ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai metode terbaik untuk estimasi hasil pertumbuhan panen padi di Kabupaten Purworejo berdasarkan model Verhulst.
2. Menambah wawasan keilmuan dan pengetahuan saya sendiri mengenai metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming untuk estimasi hasil pertumbuhan panen padi di Kabupaten Purworejo berdasarkan model Verhulst
3. Memberikan informasi mengenai estimasi hasil pertumbuhan panen padi di Kabupaten Purworejo epada pihak yang membutuhkan untuk digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan dalam hal yang berkaitan dengan pertanian atau logistik
4. Dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi pihak yang ingin mempelajari tentang metode AdamsBashforth-Moulton dan metode Hamming

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa Penelitian yang membahas mengenai estimasi dengan metode Adams-Bashforth-Moulton, metode Milne-Simpson dan metode Hamming sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan Abdullah (2016), adalah memprediksi pertumbuhan penduduk di Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian tersebut menggunakan model Verhulst untuk menghitung estimasi pertumbuhan penduduk dengan menggunakan metode satu langkah Runge-Kutta orde empat untuk menentukan solusi awal dari model Verhulst kemudian menggunakan metode banyak langkah Adams-Bashforth-Moulton sebagai solusi numerik untuk mencari nilai estimasi jumlah pertumbuhan penduduk.
2. Penelitian yang dilakukan Suryani, Suprianto, Wartono, et al (2023) adalah membandingkan metode Milne-Simpson dan metode Adams-Bashforth-Moulton untuk menentukan solusi model Verhulst. Diperoleh hasil bahwa metode Milne-Simpson lebih akurat dalam menyelesaikan persamaan diferensial model Verhulst diketahui dari perbandingan jumlah error-nya, dan metode Milne-Simpson lebih efisien dalam melakukan iterasi karena lebih cepat dalam menyelesaikan persamaan diferensial model Verhulst.
3. Penelitian yang dilakukan Putri (2015) adalah membandingkan model Malthus dan model Verhulst untuk estimasi jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2000 hingga 2014. Didapatkan hasil bahwa model Verhulst memiliki nilai galat yang lebih rendah daripada model Malthus. Solusi hampiran yang dihasilkan dari model Verhulst lebih mendekati hasil sensus penduduk daripada solusi hampiran yang dihasilkan oleh model Malthus. Sehingga dapat dikatakan bahwa model Verhulst lebih akurat dengan data aktual daripada model Malthus.
4. Penelitian yang dilakukan Napitupulu et al (2018), adalah membandingkan metode Milne-Simpson dan metode Hamming dalam prediksi pertumbuhan penduduk Kota Bandar Lampung. Penelitian ini menggunakan model pertumbuhan populasi adalah model Malthus. Dari penelitian ini didapat hasil metode Milne-Simpson memiliki nilai galat yang lebih rendah daripada metode Hamming atau dapat dikatakan bahwa metode Milne-Simpson lebih akurat daripada metode Hamming.
5. Penelitian yang dilakukan Prasetyo (2022) adalah membandingkan antara metode Adams-Bashforth-Moulto dengan metode Milne-Simpson untuk solusi numerik estimasi hasil pertumbuhan panen padi di Kabupaten Jombang berdasarkan model Verhulst. Penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa nilai galat dari solusi numerik metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Milne-Simpson menunjukkan nilai yang sama. Sehingga dapat dikatakan kedua metode tersebut memiliki tingkat ketelitian yang sama.

2.2 Model Verhulst

Model logistik Verhulst merupakan sebuah model matematika mengenai pertumbuhan populasi yang dikenalkan oleh Pierre-Francois-Verhulst pada tahun 1838. Dalam model logistik Verhulst, persamaan diferensial dibuat dengan mengasumsikan bahwa laju pertumbuhan akan turun secara linier berdasarkan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi laju populasi hingga mencapai jumlah pertumbuhan populasi maksimum (Putri, 2015). Pada model logistik Verhulst terdapat variabel K yang disebut dengan *carrying capacity*, menggambarkan kapasitas lingkungan terhadap batas populasi yang sudah tidak dapat dilampaui (Ginoux, 2017). Model logistik Verhulst dapat ditulis pada Persamaan 2.1 berikut:

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (2.1)$$

dengan:

r : Tingkat pertumbuhan populasi

N : Jumlah populasi

K : Jumlah maksimum populasi

t : Waktu

Dari Persamaan 2.1 diperoleh rumus solusi analitik untuk model Verhulst sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{dN}{dt} &= rN \left(1 - \frac{N}{K}\right) \\ \int \frac{1}{N \left(1 - \frac{N}{K}\right)} dN &= \int r dt \\ \int \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{K - N}\right) dN &= \int r dt \\ \ln|N| - \ln|K - N| &= rt + c \\ \ln|K - N| - \ln|N| &= -rt - c \\ \ln \left| \frac{K - N}{N} \right| &= -rt - c \\ \left| \frac{K - N}{N} \right| &= e^{-rt - c} \\ \frac{K - N}{N} &= e^{-rt} e^{-c} \end{aligned}$$

dengan asumsi $A = e^{-c}$ dan $N = N(t)$

$$\begin{aligned} \frac{K - N(t)}{N(t)} &= Ae^{-rt} \\ K - N(t) &= N(t)Ae^{-rt} \\ K &= N(t) + N(t)Ae^{-rt} \\ K &= N(t)(1 + Ae^{-rt}) \\ \frac{K}{(1 + Ae^{-rt})} &= \frac{N(t)(1 + Ae^{-rt})}{(1 + Ae^{-rt})} \\ N(t) &= \frac{K}{(1 + Ae^{-rt})} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Untuk mendapatkan nilai A, yaitu dengan cara menentukan syarat awal di $t = 0$ sehingga $N(0) = N_0$ di Persamaan 2.2 dan didapat

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{K}{1+A} \\ N_0 + N_0 A &= K \\ N_0 A &= K - N_0 \\ A &= \frac{K - N_0}{N_0} \end{aligned} \tag{2.3}$$

Persamaan 2.3, disubstitusikan ke Persamaan 2.2 didapat solusinya sebagai berikut:

$$N(t) = \frac{KN_0}{(K - N_0)e^{-rt} + N_0} \tag{2.4}$$

Dalam penelitian ini diestimasi hasil pertumbuhan panen padi yang dipengaruhi oleh luas lahan panen padi, sehingga dilakukan estimasi luas lahan panen padi dengan model Verhulstnya diatas, selanjutnya nilai r (tingkat pertumbuhan populasi) pada model Verhulst dapat ditentukan dengan melakukan integrasi pada model Verhulst dengan interval $[0,t]$ sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \int_{N_0}^{N_t} \frac{1}{N \left(1 - \frac{N}{K}\right)} dN &= \int_0^t r dt \\ \int_{N_0}^{N_t} \left(\frac{1}{N} + \frac{1}{K - N} \right) dN &= \int_0^t r dt \\ \int_{N_0}^{N_t} \frac{1}{N} dN + \int_{N_0}^{N_t} \frac{1}{K - N} dN &= \int_0^t r dt \\ \ln |(N)| \Big|_{N_t}^{N_0} - \ln |(K - N)| \Big|_{N_t}^{N_0} &= rt \\ (\ln |N_t| - \ln |N_0|) - (\ln |K - N_t| - \ln |K - N_0|) &= rt \\ \ln \left| \frac{N_t}{N_0} \right| - \left| \frac{K - N_t}{K - N_0} \right| &= rt \\ \ln \left| \frac{N_t(K - N_0)}{N_0(K - N_t)} \right| &= rt \\ \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t}{N_0} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0}{K - N_t} \right| \right) &= r \end{aligned} \tag{2.5}$$

Model Verhulst merupakan model matematika dengan persamaan diferensial tak linier yang dapat diselesaikan dengan metode numerik.

2.3 Metode Numerik

Metode numerik adalah metode yang digunakan untuk menyelesaikan model matematika melalui operasi perhitungan sederhana. Perbedaan antara metode numerik dengan metode analitik yaitu hasil dari metode analitik menghasilkan solusi eksak atau solusi sejati sedangkan hasil dari metode numerik merupakan solusi hampiran. Metode numerik dalam penyelesaian persamaan diferensial biasa terdapat dua cara penyelesaian yaitu dengan metode satu langkah (*single step*) dan metode banyak langkah (*multi-step*).

2.3.1 Metode Satu Langkah (*single step*)

Metode satu langkah adalah metode penyelesaian secara numerik yang menggunakan satu solusi awal (y_j) untuk mendapatkan solusi hampiran (y_{j+1}) pada interval titik berikutnya (x_{j+1}). Beberapa metode yang termasuk dalam metode satu langkah antara lain seperti metode Euler, metode Heun, dan metode Runge-Kutta. Semua metode satu langkah memiliki bentuk umum yang sama yaitu (Chapra, 2010):

$$y_{j+1} = y_j + hf(x_j, y_j) \quad (2.6)$$

dengan:

y_{j+1} : solusi hampiran variabel y pada langkah ($j + 1$)

y_j : solusi hampiran variabel y pada langkah j

h : ukuran langkah (*step size*)

$f(x_j, y_j)$: kemiringan garis singgung y terhadap x

2.3.2 Metode Banyak Langkah (*multi-step*)

Metode banyak langkah merupakan salah satu metode penyelesaian secara numerik yang membutuhkan beberapa solusi awal, dengan menggunakan metode banyak langkah untuk menentukan solusi hampiran (y_{j+1}) pada interval titik berikutnya (x_{j+1}) membutuhkan solusi awal ($y_j, y_{j-1}, y_{j-2}, \dots, y_{j-n}$). Nilai K pada solusi awal didapat dari metode satu langkah seperti metode Euler, metode deret Taylor atau metode Runge-Kutta. Metode banyak langkah dapat juga disebut sebagai metode (*predictor*)-(*corrector*). Metode *predictor* digunakan untuk memprediksi solusi hampiran pada titik saat ini (x_j). Solusi hampiran yang diperoleh dari metode *predictor* dapat ditulis menjadi ($y_{j+1}^{(p)}$). Sedangkan metode *corrector* digunakan untuk mengoreksi solusi hampiran dari metode *predictor*. Solusi hampiran yang telah dikoreksi tersebut dapat ditulis menjadi ($y_{j+1}^{(c)}$) (Jain, Iyengar, & Jain, 2007).

Metode banyak langkah dapat dibentuk dengan mengintegrasikan persamaan diferensial biasa $y' = f(x, y)$ di interval $[x_j, x_{j+1}]$ yg ditulis dalam persamaan berikut

$$\begin{aligned} y' &= f(x, y) \\ \frac{dy}{dx} &= f(x, y) \\ \int_{x_j}^{x_{j+1}} dy &= \int_{x_j}^{x_{j+1}} f(x, y) dx \\ y \Big|_{x_j}^{x_{j+1}} &= \int_{x_j}^{x_{j+1}} f(x, y) dx \\ y(x_{j+1}) &= y(x_j) + \int_{x_j}^{x_{j+1}} f(x, y) dx \\ y_{j+1} &= y_j + \int_{x_j}^{x_{j+1}} f(x, y) dx \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.4 Metode Runge-Kutta

Metode Runge-Kutta adalah metode yang digunakan untuk penyelesaian persamaan diferensial biasa secara numerik dengan pendekatan akurasi dari deret Taylor tanpa memerlukan perhitungan turunan yang cukup tinggi. Metode Runge-Kutta juga dapat digunakan untuk mendapatkan nilai awal yang nantinya dibutuhkan pada perhitungan

dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming. Berikut adalah bentuk umum dari metode Runge-Kutta (Chapra, 2010):

$$y_{j+1} = y_j + a_1k_1 + a_2k_2 + \dots + a_nk_n \quad (2.8)$$

Metode Runge-Kutta orde empat merupakan metode yang populer digunakan oleh banyak orang karena memiliki tingkat akurasi yang lebih baik daripada orde sebelumnya. Banyak versi metode Runge-Kutta orde empat, namun berikut merupakan bentuk umum dari metode Runge-Kutta orde empat yang sering digunakan (Chapra, 2010).

$$y_{j+1} = y_j + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \quad (2.9)$$

dengan

$$\begin{aligned} k_1 &= f(x_j, y_j) \\ k_2 &= f\left(x_j + \frac{1}{2}h, y_j + \frac{1}{2}k_1h\right) \\ k_3 &= f\left(x_j + \frac{1}{2}h, y_j + \frac{1}{2}k_2h\right) \\ k_4 &= f(x_j + h, y_j + k_3h) \end{aligned}$$

2.5 Metode Adams-Bashforth-Moulton

Metode Adams-Bashforth-Moulton merupakan metode banyak langkah (multi-step) yang terdiri dari Adams Bashforth sebagai prediktor dan Adams Moulton sebagai korektor. Metode integrasi Adams-Bashforth (AB) termasuk dalam metode eksplisit demikian pula dengan metode integrasi Adams-Moulton (AM) yang merupakan metode banyak langkah namun termasuk dalam metode implisit. Menggabungkan kedua metode tersebut memungkinkan untuk penggunaan orde ke- j sebagai persamaan prediksi dari metode Adams-Bashforth, yang kemudian dimasukkan dalam metode Adams-Moulton orde ke- $j + 1$ sehingga mendapatkan persamaan koreksi untuk langkah integrasi orde selanjutnya (Hayes, 2011). Dalam metode Adams-Bashforth terdapat nilai data k , yaitu $(x_j, f_j), (x_{j-1}, f_{j-1}), \dots, (x_{j-k+1}, f_{j-k+1})$ Untuk data tersebut digunakan beda mundur polinomial interpolasi Newton dengan derajat $k - 1$ sebagai berikut (Jain et al., 2007):

$$\begin{aligned} p_{k-1}(x) &= f(x_j + sh) \\ p_{k-1}(x) &= f(x_j) + s\nabla f(x_j) + \frac{s(s+1)}{2!}\nabla^2 f(x_j) + \frac{s(s+1)(s+2)}{3!}\nabla^3 f(x_j) + \dots \\ &+ \frac{s(s+1)(s+2)\dots(s+k-2)}{(k-1)!}\nabla^{k-1} f(x_j) \end{aligned} \quad (2.10)$$

dengan $s = \left|\frac{x-x_j}{h}\right|$

Selanjutnya $f(x, y)$ pada Persamaan 2.7 diganti dengan Persamaan 2.10 maka batas integrasi untuk $x = x_j$ menjadi $s = 0$ dan untuk $x = x_{j+1}$ menjadi $s = 1$ dan $dx = hds$

sehingga diperoleh persamaan prediksi sebagai berikut (Jain et al., 2007) (Prasetyo, 2022):

$$\begin{aligned}
y_{j+1}^{(p)} &= y_j + h \int_0^1 [f_j + s\nabla f_j + \frac{s(s+1)}{2}\nabla^2 f_j + \frac{s(s+1)(s+2)}{6}\nabla^3 f_j + \dots] ds \\
y_{j+1}^{(p)} &= y_j + h[f_j + \frac{1}{2}\nabla f_j + \frac{5}{12}\nabla^2 f_j + \frac{3}{8}\nabla^3 f_j + \dots] \\
y_{j+1}^{(p)} &= y_j + h[f_j + \frac{1}{2}(f_j - f_{j-1}) + \frac{5}{12}(f_j - 2f_{j-1} + f_{j-2}) + \frac{3}{8}(f_j - 3f_{j-1} + 3f_{j-2} - f_{j-3}) + \dots] \\
y_{j+1}^{(p)} &= y_j + h[\frac{55}{24}f_j - \frac{59}{24}f_{j-1} + \frac{37}{24}f_{j-2} - \frac{9}{24}f_{j-3}] \\
y_{j+1}^{(p)} &= y_j + \frac{h}{24}[55f_j - 59f_{j-1} + 37f_{j-2} - 9f_{j-3}]
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Persamaan diatas merupakan metode Adams-Bashforth orde empat dan untuk menggunakan metode tersebut diperlukan nilai awal y_j, y_{j-1}, y_{j-2} , dan y_{j-3} .

Selanjutnya dalam metode Adams-Moulton terdapat nilai data $k + 1$, yaitu $(x_{j+1}, f_{j+1}), (x_j, f_j), (x_{j-1}, f_{j-1}), \dots, (x_{j-k+1}, f_{j-k+1})$ Untuk data tersebut digunakan beda mundur polinomial interpolasi Newton dengan derajat k sebagai berikut (Jain et al., 2007)

$$\begin{aligned}
p_k(x) &= f(x_j + sh) \\
p_k(x) &= f(x_{j+1}) + (s-1)\nabla f(x_{j+1}) + \frac{s(s-1)}{2!}\nabla^2 f(x_{j+1}) + \frac{s(s-1)(s+1)}{3!}\nabla^3 f(x_{j+1}) + \dots \\
&\quad + \frac{s(s+1)(s-1)(s+2)\dots(s+k-2)}{(k)!}\nabla^{k-1} f(x_{j+1})
\end{aligned} \tag{2.12}$$

dengan $s = \frac{x-x_j}{h}$

Selanjutnya $f(x, y)$ pada Persamaan 2.7 diganti dengan Persamaan 2.12 maka batas integrasi untuk $x = x_j$ menjadi $s = 0$ dan untuk $x = x_{j+1}$ menjadi $s = 1$ dan $dx = hds$ sehingga diperoleh persamaan koreksi sebagai berikut (Prasetyo, 2022):

$$\begin{aligned}
y_{j+1}^{(c)} &= y_j + h \int_0^1 [f_{j+1} + (s-1)\nabla f_{j+1} + \frac{s(s-1)}{2}\nabla^2 f_{j+1} + \frac{s(s-1)(s+1)}{6}\nabla^3 f_{j+1} + \dots] ds \\
y_{j+1}^{(c)} &= y_j + h[f_{j+1} + \frac{1}{2}\nabla f_{j+1} - \frac{1}{12}\nabla^2 f_{j+1} - \frac{1}{24}\nabla^3 f_{j+1} + \dots] \\
y_{j+1}^{(c)} &= y_j + h[f_{j+1} - \frac{1}{2}(f_{j+1} - f_j) - \frac{1}{12}(f_{j+1} - 2f_j + f_{j-1}) \\
&\quad - \frac{1}{24}(f_{j+1} - 3f_j + 3f_{j-1} - f_{j-2}) + \dots] \\
y_{j+1}^{(c)} &= y_j + h[\frac{9}{24}f_{j+1} + \frac{19}{24}f_j - \frac{5}{24}f_{j-1} + f_{j-2}] \\
y_{j+1}^{(c)} &= y_j + \frac{h}{24}[9f_{j+1} + 19f_j - 5f_{j-1} + f_{j-2}]
\end{aligned} \tag{2.13}$$

2.6 Metode Hamming

Metode Hamming merupakan salah satu metode banyak langkah (multi-step) yang termasuk dalam metode eksplisit. Persamaan prediksi dalam metode Hamming diperoleh dengan mengganti interval pada Persamaan 2.7 dari $[x_j, x_{j+1}]$ menjadi $[x_{j-3}, x_{j+1}]$

didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y_{j+1} = y_{j-3} + \int_{x_{j-3}}^{x_{j+1}} f(x, y) dx \quad (2.14)$$

Selanjutnya $f(x, y)$ pada Persamaan 2.14 diganti dengan Persamaan 2.10 maka batas integrasi untuk $x = x_{j-3}$ menjadi $s = -3$ dan untuk $x = x_{j+1}$ menjadi $s = 1$ dan $dx = hds$ sehingga diperoleh persamaan prediksi sebagai berikut (Prasetyo, 2022) (Jain et al., 2007):

$$\begin{aligned} y_{j+1}^{(p)} &= y_{j-3} + h \int_{-3}^1 [f_j + s \nabla f_j + \frac{s(s+1)}{2} \nabla^2 f_j + \frac{s(s+1)(s+2)}{6} \nabla^3 f_j + \dots] ds \\ y_{j+1}^{(p)} &= y_{j-3} + h [4f_j - 4\nabla f_j + \frac{8}{3} \nabla^2 f_j + 0 \nabla^3 f_j + \dots] \\ y_{j+1}^{(p)} &= y_{j-3} + h [4f_j - 4(f_j - f_{j-1}) + \frac{8}{3}(f_j - 2f_{j-1} + f_{j-2})] \\ y_{j+1}^{(p)} &= y_{j-3} + h [\frac{8}{3}f_j - \frac{4}{3}f_{j-1} + \frac{8}{3}f_{j-2}] \\ y_{j+1}^{(p)} &= y_{j-3} + \frac{4h}{3} [2f_j - f_{j-1} + 2f_{j-2}] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan *Predictor* dari metode Hamming. Sedangkan untuk persamaan *corector* pada metode Hamming sebagai berikut (Napitupulu et al., 2018):

$$y_{j+1}^{(c)} = \frac{9y_j}{8} - \frac{y_{j-2}}{8} + \frac{3h}{8} [2f_j - f_{j-1} + f_{j+1}] \quad (2.16)$$

2.7 Galat

Galat merupakan selisih antara solusi hampiran dan solusi sejati dari metode numerik. Ada dua jenis galat yaitu galat mutlak dan galat relatif. Galat mutlak hanya menunjukkan selisih antara solusi hampiran dan solusi sejatinya sedangkan galat relatif dapat menunjukkan tingkat ketelitian antara selisih solusi hampiran dan solusi sejatinya. Galat mutlak dapat ditulis sebagai berikut (Prasetyo, 2022) :

$$\varepsilon_m = |y - y_j| \quad (2.17)$$

Lalu untuk rumus galat relatif nya sebagai berikut

$$\varepsilon_r = \frac{|y - y_j|}{y} 100\% \quad (2.18)$$

dengan:

ε_m : galat mutlak

ε_r : galat relatif

y : solusi sejati

y_j : solusi hampiran

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini dijelaskan mengenai langkah-langkah penelitian yang dilakukan mengenai permasalahan yang dibahas sebagai berikut:

3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pencarian referensi-referensi yang berkaitan dengan permasalahan pada penelitian ini. Referensi yang berkaitan dengan penelitian ini antara lain tentang model pertumbuhan populasi Verhulst, metode numerik, metode Runge-Kutta, metode Adams-Bashforth-Moulton, dan metode Hamming. Referensi tersebut diperoleh dari sumber penelitian terdahulu, jurnal, paper, maupun artikel yang berkaitan

3.2 Pengambilan Data

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data yang dibutuhkan untuk penelitian. Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data jumlah hasil panen padi sawah dan data luas lahan panen padi di Kabupaten Purworejo pada tahun 2012 sampai 2023. Data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Purworejo.

3.3 Solusi Awal Model Verhulst

Pada tahap ini model Verhulst diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode satu langkah yaitu metode Runge-Kutta orde empat untuk menentukan solusi awal model logistik Verhulst.

3.4 Metode ABM dan Metode Hamming

Setelah didapat solusi awal model logistik Verhulst pada tahap ini dilakukan perhitungan estimasi hasil panen padi menggunakan metode numerik banyak langkah yaitu metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dengan bantuan software Matlab. Untuk mendapatkan solusi hampiran dari kedua metode tersebut, maka dilakukan perhitungan dengan metode interpolasi dan ekstrapolasi. Interpolasi digunakan untuk menghitung solusi hampiran yang berada di dalam jangkauan data sedangkan ekstrapolasi digunakan untuk menghitung solusi hampiran yang berada di luar jangkauan data.

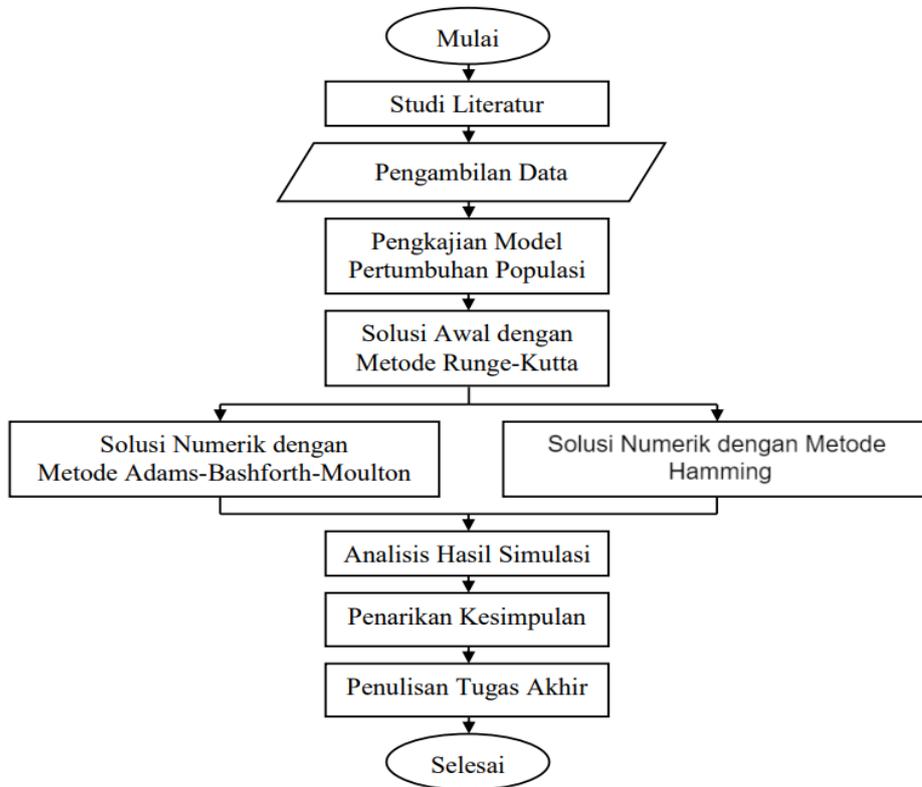
3.5 Analisis Hasil Simulasi

Pada tahap ini dilakukan analisis mengenai hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk mengetahui metode terbaik antara metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dalam mengestimasi hasil panen padi dilakukan perbandingan nilai galat antara kedua metode tersebut. Metode terbaik adalah metode yang memiliki nilai galat terendah.

3.6 Kesimpulan dan Saran

Pengambilan kesimpulan penelitian dilakukan setelah diperoleh hasil analisis dan pembahasan mengenai perbandingan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming untuk estimasi hasil panen padi berdasarkan model Verhulst di Kabupaten Purworejo. Selanjutnya dilakukan pemberian saran sebagai masukan untuk pengembangan penelitian berikutnya.

Gambar 3.1 Diagram Penelitian



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai penerapan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming untuk solusi numerik estimasi hasil pertumbuhan panen padi berdasarkan model Verhulst di Kabupaten Purworejo.

4.1 Analisa Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yaitu data hasil panen padi sawah dan data luas lahan panen padi di Kabupaten Purworejo dari tahun 2012-2023, yang didapat dari Dinas Badan Pusat Statistik(BPS) Kabupaten Purworejo dan juga dari Dinas Badan Pusat Statistik(BPS) provinsi Jawa Tengah. Data hasil panen padi dan data luas panen padi digunakan untuk menentukan solusi awal dari model Verhulst dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat dan digunakan untuk membandingkan solusi hampiran dari metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming sehingga diperoleh galat sebagai tolak ukur tingkat akurasi kedua metode. Data hasil panen padi sawah dan data luas lahan panen padi ditampilkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2:

Tabel 4.1 Data Hasil Panen Padi Sawah Kabupaten Purworejo (Ton)

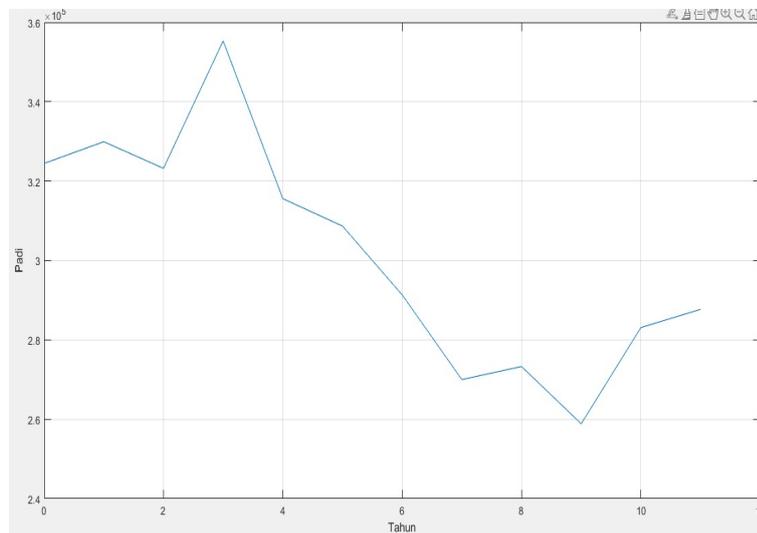
Nomor	Tahun	Hasil Panen Padi (Ton)
1	2012	324456
2	2013	329938
3	2014	323226
4	2015	355326
5	2016	315596
6	2017	308680
7	2018	291350
8	2019	270001
9	2020	273294
10	2021	258863
11	2022	283105
12	2023	287702

1 memperlihatkan bahwa hasil panen padi yang ada di Kabupaten Purworejo terjadi kenaikan dan penurunan tiap tahunnya terutama terjadi penurunan yang cukup signifikan dari 355326 ton sampai 315596 ton pada tahun 2015-2016, dan mengalami peningkatan cukup melonjak dari 323226 ton sampai 355326 ton di tahun 2014-2015. Dilihat dari kurun waktu 2012-2023, jumlah panen padi terbesar berada di tahun 2015 sebesar 355326 ton dan panen padi terkecil pada tahun 2021 sebesar 258863 ton.

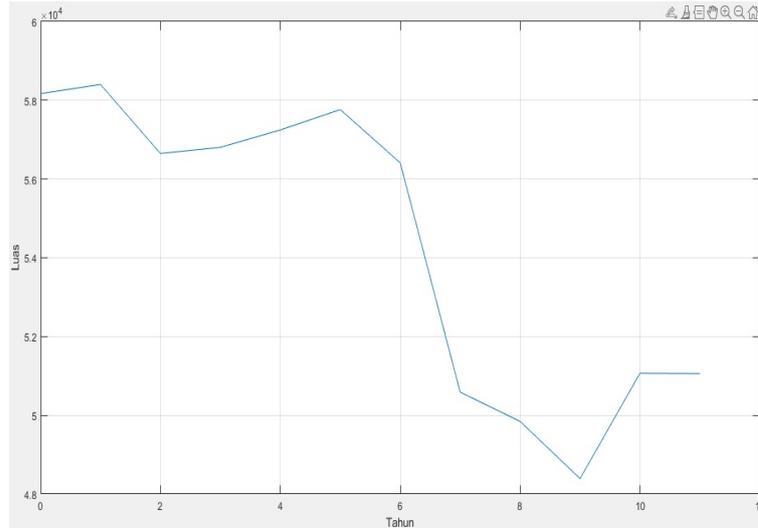
Tabel 4.2 Data Luas Lahan Panen Padi Kabupaten Purworejo (Hektare)

Nomor	Tahun	Luas Lahan Panen Padi (Ha)
1	2012	58170
2	2013	58402
3	2014	56649
4	2015	56805
5	2016	57247
6	2017	57764
7	2018	56411
8	2019	50588
9	2020	49845
10	2021	48392
11	2022	51069
12	2023	51061

Tabel 4.2 memperlihatkan adanya kenaikan dan penurunan di setiap tahunnya terutama terjadi penurunan luas lahan panen yang signifikan dari 56411 Ha sampai 50588 Ha pada tahun 2018-2019, dan mengalami peningkatan luas lahan panen dari 48392 Ha sampai 51069 Ha pada tahun 2021-2022 . Dari tahun 2012-2023 luas lahan panen padi terluas terjadi di tahun 2013 sebesar 58402 ha dan luas lahan panen padi terkecil di tahun 2021 sebesar 48392 ha. Berdasarkan tabel 4.1 dan tabel 4.2 didapat grafik hasil panen padi dan luas lahan padi pada tahun 2012 sampai tahun 2023 seperti pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



Gambar 4.1 Panen Padi Kabupaten Purworejo Tahun 2012-2023



Gambar 4.2 Luas Lahan Panen Padi Kabupaten Purworejo Tahun 2012-2023

Pada model persamaan Verhulst di Persamaan 2.1 terdapat nilai variabel K yang disebut dengan *carrying capacity*. Dalam data hasil panen padi dari tahun 2012 sampai tahun 2023 menunjukkan hasil panennya dibawah 400000 Ton, dan data luas lahan panen dibawah 400000 Hektare, sehingga pada penelitian ini ditetapkan tiga variasi untuk kapasitas tampung *carrying capacity* jumlah panen padi dan luas panen padi, yaitu sebesar $K = 400000$, $K = 450000$, dan $K = 500000$. Nilai tingkat hasil panen padi (r) diperoleh dari hasil panen padi dan luas lahan panen padi dibutuhkan Persamaan 2.5 dengan t adalah jumlah tahun dari 2012-2023, yaitu sebanyak 12 tahun, dan N_0 adalah hasil panen padi dan luas lahan panen padi pada tahun awal, yaitu 324456 dan 58170 dan pada N_t adalah hasil panen padi dan luas lahan panen padi, pada tahun terakhir, yaitu 287702 dan 51061. Didapat tingkat hasil panen padi sebagai berikut :

- a. Tingkat hasil panen padi dengan $K = 400000$

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t}{N_0} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0}{K - N_t} \right| \right) \\
 r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{400000 - 324456}{400000 - 287702} \right| \right) \\
 r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{75544}{112298} \right| \right) \\
 r &= -0.0431 \approx -4.31\%
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

- b. Tingkat hasil panen padi dengan $K = 450000$

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t}{N_0} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0}{K - N_t} \right| \right) \\
 r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{450000 - 324456}{450000 - 287702} \right| \right) \\
 r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{125544}{162298} \right| \right) \\
 r &= -0.0314 \approx -3.14\%
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

- c. Tingkat hasil panen padi dengan $K = 500000$

$$\begin{aligned}
r &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t}{N_0} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0}{K - N_t} \right| \right) \\
r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{500000 - 324456}{500000 - 287702} \right| \right) \\
r &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{287702}{324456} \right| + \ln \left| \frac{175544}{212298} \right| \right) \\
r &= -0.0258 \approx -2.58\%
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Dengan menggunakan Persamaan 2.5 didapatkan tingkat luas lahan panen padi, sebagai berikut:

a. Tingkat luas lahan panen padi dengan $K = 400000$

$$\begin{aligned}
r^* &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t^*}{N_0^*} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0^*}{K - N_t^*} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{400000 - 58170}{400000 - 51061} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{341830}{348939} \right| \right) \\
r^* &= -0.0125 \approx -1.25\%
\end{aligned} \tag{4.4}$$

b. Tingkat luas lahan panen padi dengan $K = 450000$

$$\begin{aligned}
r^* &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t^*}{N_0^*} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0^*}{K - N_t^*} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{450000 - 58170}{450000 - 51061} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{391830}{398939} \right| \right) \\
r^* &= -0.0123 \approx -1.23\%
\end{aligned} \tag{4.5}$$

c. Tingkat luas lahan panen padi dengan $K = 500000$

$$\begin{aligned}
r^* &= \frac{1}{t} \left(\ln \left| \frac{N_t^*}{N_0^*} \right| + \ln \left| \frac{K - N_0^*}{K - N_t^*} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{500000 - 58170}{500000 - 51061} \right| \right) \\
r^* &= \frac{1}{12} \left(\ln \left| \frac{51061}{58170} \right| + \ln \left| \frac{441830}{448939} \right| \right) \\
r^* &= -0.0122 \approx -1.22\%
\end{aligned} \tag{4.6}$$

Diperoleh tingkat hasil panen padi dan tingkat luas panen padi dengan kapasitas tampung 400000, 450000 dan 500000, ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Tingkat Hasil Panen dan Luas Panen

Nilai r	$K = 400000$	$K = 450000$	$K = 500000$
Tingkat Hasil Panen (r)	-0.0432	-0.0314	-0.0258
Tingkat Luas Panen (r^*)	-0.0125	-0.0123	-0.0122

Diperoleh hasil perhitungan tingkat pertumbuhan hasil panen padi (r) berturut-turut ialah -4.31% , -3.14% , dan -2.58% . Selanjutnya nilai r tersebut disubstitusikan ke Persamaan 2.1 pada model Verhulst diperoleh berturut-turut berdasarkan K ialah sebagai berikut :

- a. Model hasil panen padi $K = 400000$

$$f(t_i, N_i) = \frac{dN}{dt} = -0.0431N \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (4.7)$$

- b. Model hasil panen padi $K = 450000$

$$f(t_i, N_i) = \frac{dN}{dt} = -0.0314N \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (4.8)$$

- c. Model hasil panen padi $K = 500000$

$$f(t_i, N_i) = \frac{dN}{dt} = -0.0258N \left(1 - \frac{N}{K}\right) \quad (4.9)$$

Didapat hasil perhitungan tingkat luas lahan panen padi yaitu -1.25% , -1.23% , dan -1.22% yang mana disubstitusika ke Persamaan 2.1 diperoleh sebagai berikut :

- a. Model luas lahan panen padi di $K = 400000$

$$f(t_i, W_i) = \frac{dW}{dt} = -0.0125N^* \left(1 - \frac{N^*}{K}\right) \quad (4.10)$$

- b. Model luas lahan panen padi di $K = 450000$

$$f(t_i, W_i) = \frac{dW}{dt} = -0.0123N^* \left(1 - \frac{N^*}{K}\right) \quad (4.11)$$

- c. Model luas lahan panen padi di $K = 500000$

$$f(t_i, W_i) = \frac{dW}{dt} = -0.0122N^* \left(1 - \frac{N^*}{K}\right) \quad (4.12)$$

4.2 Solusi Awal Rung-Kutta Pada Model Verhulst

Pada bagian ini, dilakukan perhitungan nilai awal dengan menggunakan Rung-Kutta orde empat dengan beda langkah $h = 1$. Penggunaan $h = 1$ dikarenakan selisih antar tahun ialah satu tahun. Hasil panen padi, nilai $N_0 = 324456$ dan hasil panen padi diambil dari tahun 2012-2023 dengan jangka waktu empat tahun, hal tersebut dikarenakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Hamming menggunakan polinomial interpolasi beda mundur Newton dengan derajat empat, sehingga beberapa metode ini diperlukan hanya empat solusi awal. Solusi awal dari panen padi dengan menggunakan model Verhulst sebagai berikut.

4.2.1 Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini, dilakukan perhitungan dengan $i = 0$ dengan $t_0 = 0$ pada tahun 2012, lalu tahun 2013 dengan $t_1 = 1$ dan seterusnya sampai tahun 2015. Pada tingkat hasil panen padi (r) menggunakan Persamaan 4.1 dan persamaan Rung-Kutta orde empat dengan variabel model Verhulst pada Persamaan 4.7 didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned} N_{i+1} &= N_i + \frac{1}{6}(k_1i + 2k_2i + 2k_3i + k_4i)h \\ N_1 &= N_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \end{aligned} \quad (4.13)$$

Menggunakan persamaan 4.7 diperoleh k_1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_1i &= f(t_i, N_i) \\ k_1 &= f(t_0, N_0) = f(0, 324456) \\ k_1 &= -0.0431(324456) \left(1 - \frac{324456}{400000}\right) \\ k_1 &= -2641.02836 \end{aligned} \quad (4.14)$$

Didapat $k_1 = -2641.02836$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.7 didapat k_2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_2i &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, N_i + \frac{1}{2}k_1h\right) \\ k_2 &= f\left(t_0 + \frac{1}{2}h, N_0 + \frac{1}{2}k_1h\right) = f\left(0.5, 324456 + \frac{1}{2}(-2641.02836)\right) \\ k_2 &= f(0.5, 323135.486) \\ k_2 &= -0.0431(323135.486) \left(1 - \frac{323135.486}{400000}\right) \\ k_2 &= -2676.257 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Didapat $k_2 = -2676.257$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.7 didapat k_3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_3i &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, N_i + \frac{1}{2}k_2h\right) \\ k_3 &= f\left(t_0 + \frac{1}{2}h, N_0 + \frac{1}{2}k_2h\right) = f\left(0.5, 324456 + \frac{1}{2}(-2676.257)\right) \\ k_3 &= f(0.5, 322117.872) \\ k_3 &= -0.0431(322117.872) \left(1 - \frac{322117.872}{400000}\right) \\ k_3 &= -2676.72438 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Didapat $k_3 = -2676.72438$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.7 didapat k_4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_4i &= f(t_i + h, N_i + k_3h) \\ k_4 &= f(t_0 + h, N_0 + k_3h) = f(1, 324456 - 2676.72438) \\ k_4 &= f(1, 321779.276) \\ k_4 &= -0.0431(321779.276) \left(1 - \frac{321779.276}{400000}\right) \\ k_4 &= -2712.04681 \end{aligned} \quad (4.17)$$

Didapatnya semua nilai k , disubstitusikan ke Persamaan 4.13 didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= N_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \\
 N_1 &= 324456 + \frac{1}{6}(-2641.02836 + 2(-2676.257) + 2(-2676.72438) - 2712.04681) \quad (4.18) \\
 N_1 &= 321779.494
 \end{aligned}$$

Diperoleh solusi *Rung-Kutta*, selanjutnya akan dilakukan pencarian nilai f_0 untuk N_0 dari Persamaan 4.7, didapatkan:

$$\begin{aligned}
 f_i &= -0.0431N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_0 &= -0.0431N_0 \left(1 - \frac{N_0}{400000}\right) \\
 f_0 &= -0.0431(324456) \left(1 - \frac{324456}{400000}\right) \\
 f_0 &= -2641.02836
 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi awal estimasi hasil panen padi di kabupaten Purworejo dari tahun 2012 hingga tahun 2015 dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat sebagai berikut.

Tabel 4.4 Solusi Awal Numerik Panen padi pada $K = 400000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	324456	-2641.0283628
2013	1	1	321779.4936671	-2712.0410928
2014	1	2	319031.8237163	-2783.3360375
2015	1	3	316212.7677760	-2854.7923532

Pada tabel 4.4 terdapat N_{i+1} yang merupakan nilai hampiran pada *Rung-Kutta* orde empat dengan i ialah iterasinya. Nilai f_i adalah solusi hampiran yang disubstitusi ke dalam model Verhulst pada Persamaan 4.7 yang digunakan untuk melakukan perhitungan metode banyak langkah.

Menggunakan cara yang sama seperti Tabel 4.4 dengan menggunakan data hasil panen padi mulai tahun 2020 hingga 2023 diperoleh solusi awal model Verhulst yang selanjutnya dapat digunakan untuk mengestimasi pada tahun 2024-2026. Jangka waktu yang digunakan sama, yaitu empat tahun dengan beda interpolasi newton mundur, dengan nilai r (tingkat pertumbuhan hasil panen padi) sama dengan Persamaan 4.1 dan nilai K yang digunakan yaitu sebesar 400000 ton sebagai berikut.

Tabel 4.5 Solusi Awal Numerik Estimasi Panen padi pada $K = 400000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	273294	-3731.1658755
2021	1	1	269533.7196718	-3789.0354120
2022	1	2	265716.6768674	-3844.6620556
2023	1	3	261845.2002986	-3897.8746968

4.2.2 Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini, dengan cara yang sama yaitu dengan metode Rung-Kutta orde empat dan nilai r pada persamaan 4.2 didapat solusi awal panen padi dari tahun 2012 sampai 2015. Model hasil panen padi dari Persamaan 4.8 didapat sebagai berikut:

Tabel 4.6 Solusi Awal Numerik Panen Padi pada $K = 450000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	324456	-2842.2933946
2013	1	1	321594.0805487	-2881.4442780
2014	1	2	318693.3231531	-2919.9600479
2015	1	3	315754.3906842	-2957.7851421

Menggunakan cara yang sama seperti Tabel 4.3 maka diperoleh solusi awal estimasi padi dari tahun 2019 sampai 2022 yang selanjutnya digunakan untuk menghitung estimasi hasil panen padi mulai tahun 2022 hingga 2025. Nilai r sama dengan Persamaan 4.2 dan nilai K sebesar 450000 sebagai berikut:

Tabel 4.7 Solusi Awal Numerik Estimasi Panen Padi pada $K = 450000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	273294	-3369.7565606
2021	1	1	269913.1281968	-3391.7450283
2022	1	2	266511.0006386	-3412.2615029
2023	1	3	263089.1086219	-3431.2677819

4.2.3 Solusi Awal Hasil Panen Padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini, dengan cara yang sama yaitu dengan metode Rung-Kutta orde empat dan nilai r pada Persamaan 4.3 akan didapat solusi awal panen padi dari tahun 2012 sampai 2015. Model hasil panen padi dari Persamaan 4.9 didapat sebagai berikut

Tabel 4.8 Solusi Awal Numerik Panen Padi pada $K = 500000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	324456	-2938.9452897
2013	1	1	321505.8842155	-2961.1644797
2014	1	2	318533.9189189	-2982.6400610
2015	1	3	315540.8603790	-3003.3468140

Menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi awal estimasi padi dari tahun 2019 sampai 2022 yang selanjutnya digunakan untuk menghitung estimasi hasil panen padi mulai tahun 2022 hingga 2025. Nilai r sama dengan Persamaan 4.3 dan nilai K sebesar 450000 sebagai berikut:

Tabel 4.9 Solusi Awal Numerik Estimasi Panen Padi pada $K = 500000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	273294	-3197.0013015
2021	1	1	270093.3291268	-3204.1669192
2022	1	2	266886.0147220	-3210.2869053
2023	1	3	263673.1065696	-3215.3531816

4.2.4 Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini, dilakukan perhitungan dengan $i = 0$ dengan $t_0 = 0$ pada tahun 2012, lalu tahun 2013 dengan $t_1 = 1$ dan seterusnya sampai tahun 2015. Pada solusi awal luas lahan panen padi menggunakan nilai (r) pada Persamaan 4.4 dan Persamaan *Rung-Kutta* orde empat dengan variabel model *Verhulst* pada persamaan 4.7 didapat sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 N_{i+1} &= N_i + \frac{1}{6}(k_1i + 2k_2i + 2k_3i + k_4i)h \\
 N_1 &= N_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h
 \end{aligned}
 \tag{4.20}$$

Menggunakan Persamaan 4.10 diperoleh k_1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k_1i &= f(t_i, N_i) \\
 k_1 &= f(t_0, N_0) = f(0, 58170) \\
 k_1 &= -0.0125(58170) \left(1 - \frac{58170}{400000}\right) \\
 k_1 &= -621.382847
 \end{aligned}
 \tag{4.21}$$

Didapat $k_1 = -621.382847$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.10 didapat k_2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k_2i &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, N_i + \frac{1}{2}k_1h\right) \\
 k_2 &= f\left(t_0 + \frac{1}{2}h, N_0 + \frac{1}{2}k_1h\right) = f\left(0.5, 58170 - \frac{1}{2}621.382847\right) \\
 k_2 &= f(0.5, 57859.3086) \\
 k_2 &= -0.0125(57859.3086) \left(1 - \frac{57859.3086}{400000}\right) \\
 k_2 &= -618.625746
 \end{aligned}
 \tag{4.22}$$

Didapat $k_2 = -618.625746$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.10 didapat k_3 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k_3i &= f\left(t_i + \frac{1}{2}h, N_i + \frac{1}{2}k_2h\right) \\
 k_3 &= f\left(t_0 + \frac{1}{2}h, N_0 + \frac{1}{2}k_2h\right) = f\left(0.5, 58170 - \frac{1}{2}618.625746\right) \\
 k_3 &= f(0.5, 57860.6871) \\
 k_3 &= -0.0125(57860.6871) \left(1 - \frac{57860.6871}{400000}\right) \\
 k_3 &= -618.637992
 \end{aligned}
 \tag{4.23}$$

Didapat $k_3 = -618.637992$ maka dengan menggunakan Persamaan 4.10 didapat k_4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 k_4 i &= f(t_i + h, N_i + k_3 h) \\
 k_4 &= f(t_0 + h, N_0 + k_3 h) = f(1, 58170 - 618.637992) \\
 k_4 &= f(1, 57551.362) \\
 k_4 &= -0.0125(57551.362) \left(1 - \frac{57551.362}{400000}\right) \\
 k_4 &= -615.887048
 \end{aligned} \tag{4.24}$$

Diperoleh semua nilai k , selanjutnya disubstitusikan ke Persamaan 4.20 didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= N_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)h \\
 N_1 &= 58170 + \frac{1}{6}(-621.382847 + 2(-618.625746) + 2(-618.637992) - 615.887048) \\
 N_1 &= 57551.3671
 \end{aligned} \tag{4.25}$$

Diperoleh solusi Rung-Kutta, akan dilakukan pencarian nilai f_0 untuk N_0 dari Persamaan 4.10, didapatkan:

$$\begin{aligned}
 f_i &= -0.0125N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_0 &= -0.0125N_0 \left(1 - \frac{N_0}{400000}\right) \\
 f_0 &= -0.2831(58170) \left(1 - \frac{58170}{400000}\right) \\
 f_0 &= -621.382847
 \end{aligned} \tag{4.26}$$

Menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi awal estimasi luas lahan panen padi di kabupaten Purworejo dari tahun 2012 hingga tahun 2015 dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde empat sebagai berikut.

Tabel 4.10 Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	58170	-621.3828468
2013	1	1	57551.3671052	-615.8870933
2014	1	2	56938.2174435	-610.4164491
2015	1	3	56330.5257028	-604.9713173

Menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi awal estimasi luas lahan panen padi dari tahun 2020 sampai 2023, dengan nilai r sama dengan Persamaan 4.4 dan nilai K sebesar 400000 sebagai berikut:

Tabel 4.11 Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	49845	-545.4211242
2021	1	1	49302.1332617	-540.3172800
2022	1	2	48764.3555451	-535.2431202
2023	1	3	48231.6370497	-530.1988752

4.2.5 Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini, dengan cara yang sama yaitu dengan metode Rung-Kutta orde empat dan nilai r pada Persamaan 4.5 akan didapat solusi awal luas lahan panen padi dari tahun 2012 sampai 2015. Model luas lahan padi dari Persamaan 4.11 didapat sebagai berikut:

Tabel 4.12 Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	58170	-623.0018634
2013	1	1	57549.8339250	-617.3354114
2014	1	2	56935.3188788	-611.6998542
2015	1	3	56326.4238239	-606.0954751

Menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi awal estimasi padi dari tahun 2020 sampai 2023, dengan nilai r sama dengan Persamaan 4.5 dan nilai K sebesar 450000 sebagai berikut:

Tabel 4.13 Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	49845	-545.1831766
2021	1	1	49302.4212974	-539.9798629
2022	1	2	48765.0289828	-534.8104230
2023	1	3	48232.7891169	-529.6749862

4.2.6 Solusi Awal Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini, dengan cara yang sama yaitu dengan metode Rung-Kutta orde empat dan nilai r pada Persamaan 4.6 akan didapat solusi awal luas lahan panen padi dari tahun 2012 sampai 2015. Model luas lahan panen padi dari Persamaan 4.12 didapat sebagai berikut:

Tabel 4.14 Solusi Awal Numerik Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2012	1	0	58170	-627.1105268
2013	1	1	57545.8187901	-621.2578705
2014	1	2	56927.4722715	-615.4411764
2015	1	3	56314.9243872	-609.6606322

Menggunakan cara yang sama seperti maka diperoleh solusi awal estimasi luas panen padi dari tahun 2020 sampai 2023, dengan nilai r sama dengan Persamaan 4.6 dan nilai K sebesar 500000 sebagai berikut:

Tabel 4.15 Solusi Awal Numerik Estimasi Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$

Tahun	h	i	N_{i+1}	f_i
2020	1	0	49845	-547.4866138
2021	1	1	49300.1809214	-542.1578159
2022	1	2	48760.6718141	-536.8666801
2023	1	3	48226.4349911	-531.6132545

4.3 Solusi Numerik dengan Metode ABM Pada Model Verhulst

Diperoleh solusi awal dari model Verhulst maka selanjutnya pada bagian ini, akan mencari nilai lanjutan dari empat solusi awal pada metode Rung-Kutta dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton.

4.3.1 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 400000$

Menggunakan Solusi awal yang diperoleh dari metode Runge-Kutta orde empat pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan solusi numerik panen padi pada tahun 2016 dengan menggunakan Persamaan *predictor* Adams-Bashforth seperti pada Persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(p)} &= N_i + \frac{h}{24}[55f_i - 59f_{i-1} + 37f_{i-2} - 9f_{i-3}] \\
 N_4^{(p)} &= N_3 + \frac{h}{24}[55f_3 - 59f_2 + 37f_1 - 9f_0] \\
 N_4^{(p)} &= 316212.7677760 + \frac{h}{24}[55(-2854.7923532) - 59(-2783.3360375) \\
 &\quad + 37(-2712.0410928) - 9(-2641.0283628)] \\
 N_4^{(p)} &= 313322.225
 \end{aligned} \tag{4.27}$$

Nilai yang diperoleh dari persamaan *predictor* Adams-Bashforth dimasukkan ke dalam model Verhulst untuk mencari nilai f_4 yang akan digunakan saat melakukan perhitungan solusi numerik dengan menggunakan persamaan *corrector* Adams-Moulton.

$$\begin{aligned}
 f_i^{(p)} &= -0.0431N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0431N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0431(313322.225) \left(1 - \frac{313322.225}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -2926.28241
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

Diperoleh solusi numerik dengan menggunakan persamaan *predictor* Adams-Bashforth selanjutnya dilakukan perhitungan solusi numerik pada tahun 2016 dengan menggunakan

persamaan *corrector* Adams-Moulton seperti pada Persamaan 2.10 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(c)} &= N_i + \frac{h}{24}[9f_{i+1} + 19f_i - 5f_{i-1} + f_{i-2}] \\
 N_4^{(c)} &= N_3 + \frac{h}{24}[9f_4 + 19f_3 - 5f_2 + f_1] \\
 N_4^{(c)} &= 316212.7677760 + \frac{h}{24}[9(-2926.28241) + 19(-2854.7923532) \\
 &\quad - 5(-2783.3360375) - 2712.0410928] \\
 N_4^{(c)} &= 313322.228
 \end{aligned} \tag{4.29}$$

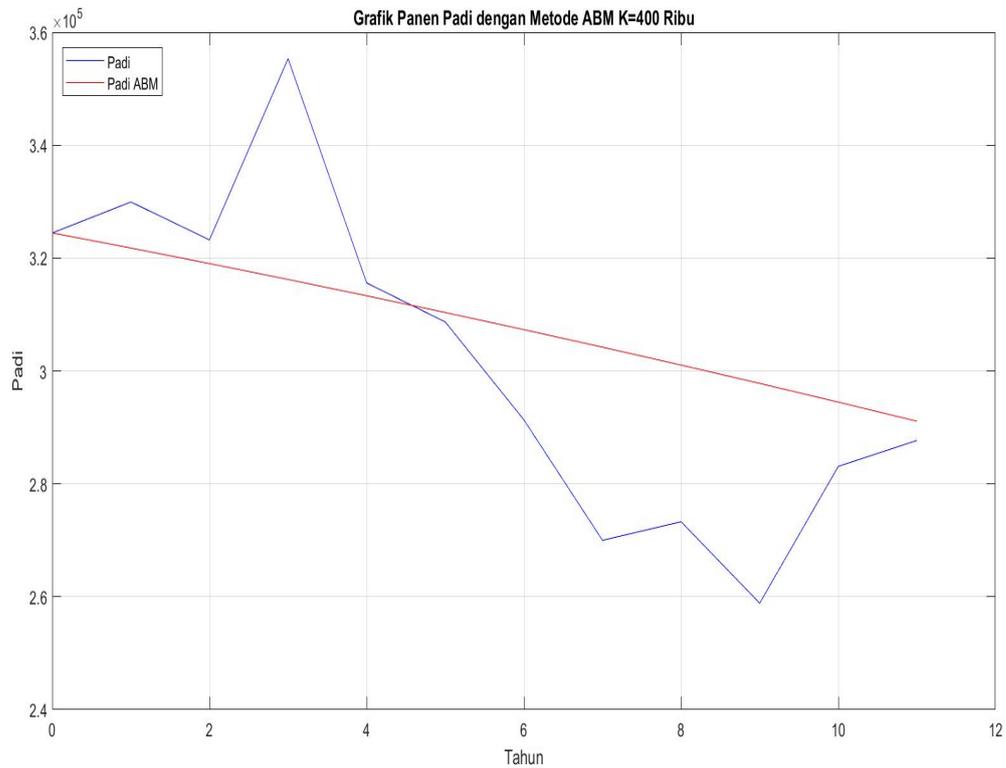
Diperoleh nilai $N_4^{(c)} = 313322.228$, selanjutnya digunakan untuk f_4 versi *corrector* didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_i^{(c)} &= -0.0431N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(c)} &= 0.0431N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= 0.0431(313322.228) \left(1 - \frac{313322.228}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -2926.28232
 \end{aligned} \tag{4.30}$$

Diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil panen padi pada tahun 2016 yaitu sebesar 313322.228 ton dan dengan menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil panen padi dari tahun 2016 hingga tahun 2023 sebagai berikut:

Tabel 4.16 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 400000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2641.0283628
2013		1		321779.4936671		-2712.0410928
2014		2		319031.8237163		-2783.3360375
2015		3		316212.7677760		-2854.7923532
2016		4	313322.2253434	313322.2278950	-2926.2823919	-2926.2823296
2017		5	310360.2317488	310360.2342919	-2997.6717240	-2997.6716635
2018		6	307326.9577310	307326.9601097	-3068.8195765	-3068.8195215
2019		7	304222.7176345	304222.7199104	-3139.5791076	-3139.5790565
2020		8	301047.9756276	301047.9777602	-3209.7977884	-3209.7977420
2021		9	297803.3510513	297803.3530118	-3279.3178623	-3279.3178210
2022		10	294489.6233970	294489.6251613	-3347.9768678	-3347.9768319
2023	11	291107.7367280	291107.7382712	-3415.6082282	-3415.6081979	



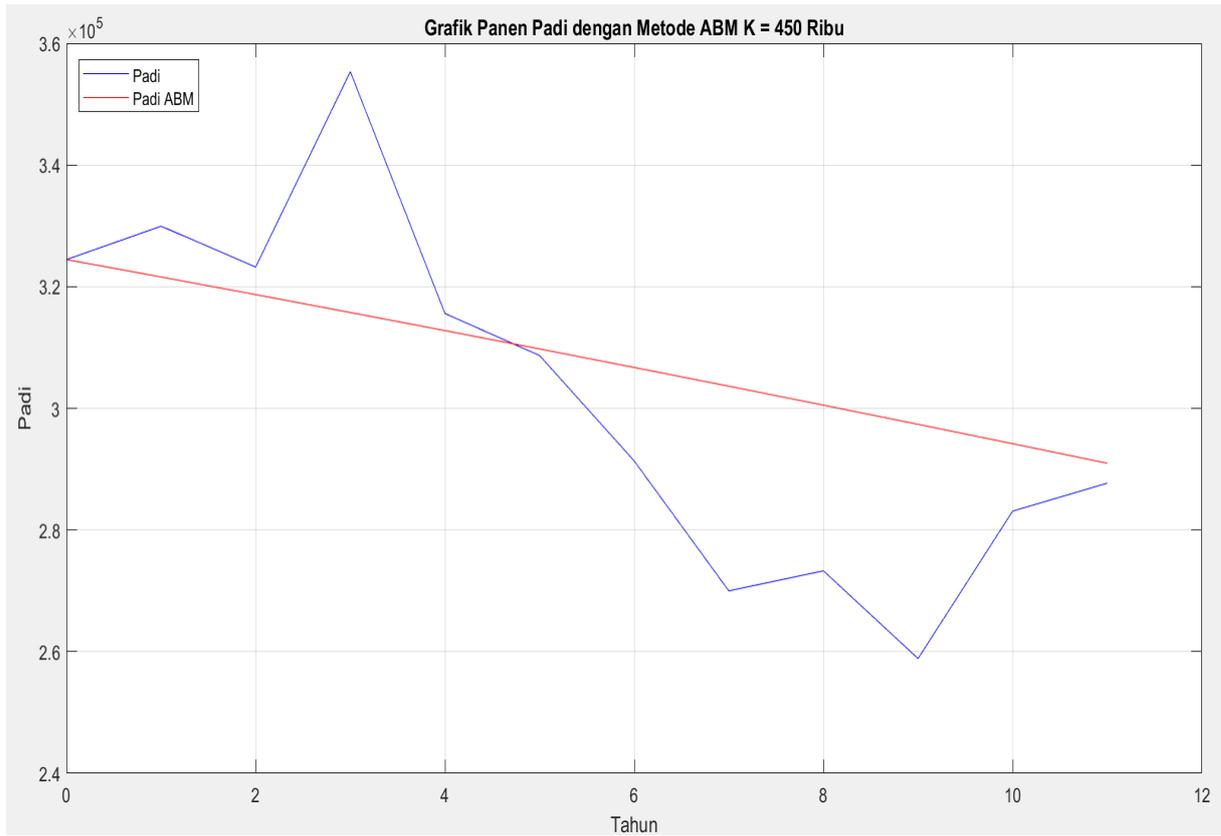
Gambar 4.3 Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 400000$

4.3.2 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 450000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.17 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 450000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2842.2933946
2013		1		321594.0805487		-2881.4442780
2014		2		318693.3231531		-2919.9600479
2015		3		315754.3906842		-2957.7851421
2016		4	312778.0016123	312778.0016914	-2994.8637875	-2994.8637865
2017		5	309764.9304373	309764.9304613	-3031.1401472	-3031.1401469
2018		6	306716.0073349	306716.0072987	-3066.5584803	-3066.5584807
2019		7	303632.1181017	303632.1180057	-3101.0633024	-3101.0633034
2020		8	300514.2038246	300514.2036665	-3134.5995503	-3134.5995520
2021		9	297363.2603715	297363.2601499	-3167.1127520	-3167.1127542
2022		10	294180.3377149	294180.3374287	-3198.5491987	-3198.5492015
2023		11	290966.5390816	290966.5387299	-3228.8561192	-3228.8561224



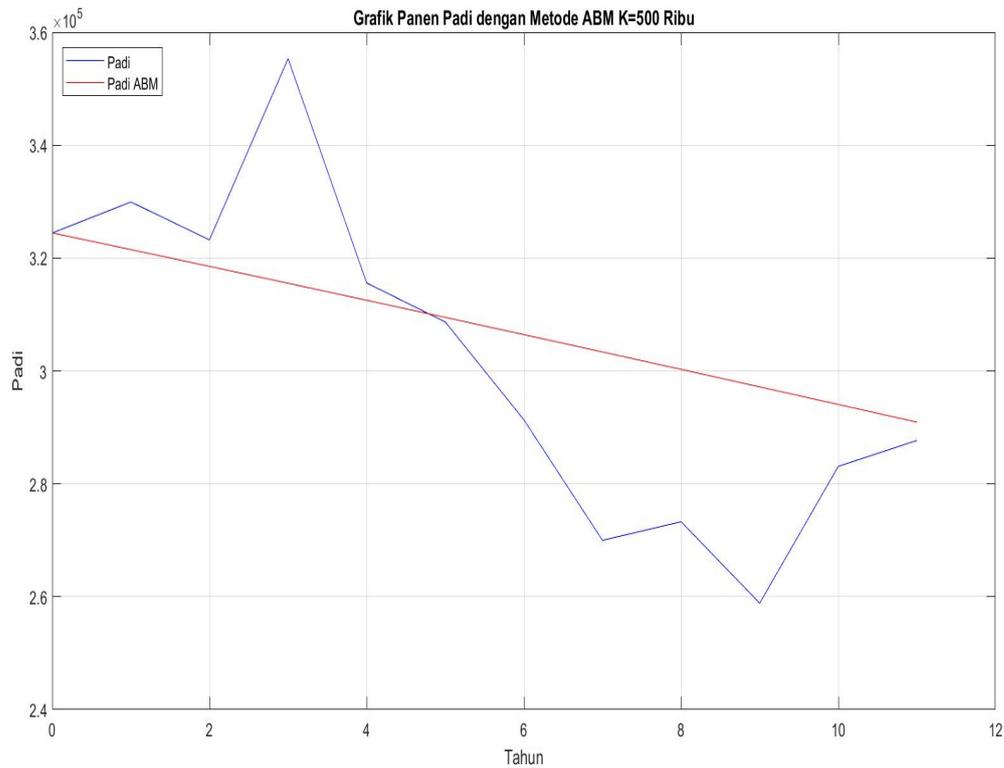
Gambar 4.4 Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 450000$

4.3.3 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 500000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.18 Solusi Numerik Metode ABM Data Panen Padi dengan $K = 500000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2938.9452897
2013		1		321505.8842155		-2961.1644797
2014		2		318533.9189189		-2982.6400610
2015		3		315540.8603790		-3003.3468140
2016		4	312527.4899909	312527.4897542	-3023.2601505	-3023.2601521
2017		5	309494.6129828	309494.6127224	-3042.3561769	-3042.3561785
2018		6	306443.0582987	306443.0580179	-3060.6117483	-3060.6117500
2019		7	303373.6776335	303373.6773307	-3078.0045276	-3078.0045293
2020		8	300287.3445894	300287.3442655	-3094.5130414	-3094.5130431
2021		9	297184.9537875	297184.9534430	-3110.1167350	-3110.1167367
2022		10	294067.4199222	294067.4195578	-3124.79602507	-3124.7960267
2023		11	290935.6767639	290935.6763804	-3138.5323509	-3138.5323526



Gambar 4.5 Solusi Numerik Panen Padi Metode ABM dengan $K = 500000$

4.3.4 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$

Menggunakan Solusi awal yang diperoleh dari metode Runge-Kutta orde empat pada Tabel 4.10 akan dilakukan perhitungan solusi numerik luas lahan panen padi pada tahun 2016 dengan menggunakan Persamaan *predictor* Adams-Bashforth seperti pada Persamaan 2.11 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(p)} &= N_i + \frac{h}{24}[55f_i - 59f_{i-1} + 37f_{i-2} - 9f_{i-3}] \\
 N_4^{(p)} &= N_3 + \frac{h}{24}[55f_3 - 59f_2 + 37f_1 - 9f_0] \\
 N_4^{(p)} &= 56330.5257028 + \frac{h}{24}[55(-604.9713173) - 59(-610.4164491) \\
 &\quad + 37(-615.8870933) - 9(-621.3828468)] \\
 N_4^{(p)} &= 55728.2662
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

Nilai yang diperoleh dari persamaan *predictor* Adams-Bashforth dimasukkan ke dalam model Verhulst untuk mencari nilai f_4 yang akan digunakan saat melakukan perhitungan

solusi numerik dengan menggunakan Persamaan *corrector* Adams-Moulton.

$$\begin{aligned}
 f_i^{(p)} &= -0.0125N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0125N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0125(55728.2662) \left(1 - \frac{55728.2662}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -599.552088
 \end{aligned} \tag{4.32}$$

Diperoleh solusi numerik dengan menggunakan persamaan *predictor* Adams-Bashforth selanjutnya dilakukan perhitungan solusi numerik pada tahun 2016 dengan menggunakan persamaan *corrector* Adams-Moulton seperti pada Persamaan 2.13 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(c)} &= N_i + \frac{h}{24}[9f_{i+1} + 19f_i - 5f_{i-1} + f_{i-2}] \\
 N_4^{(c)} &= N_3 + \frac{h}{24}[9f_4 + 19f_3 - 5f_2 + f_1] \\
 N_4^{(c)} &= 56330.5257028 + \frac{h}{24}[9(-599.552088) + 19(-604.9713173) \\
 &\quad - 5(-610.4164491) - 615.8870933] \\
 N_4^{(c)} &= 55728.2662
 \end{aligned} \tag{4.33}$$

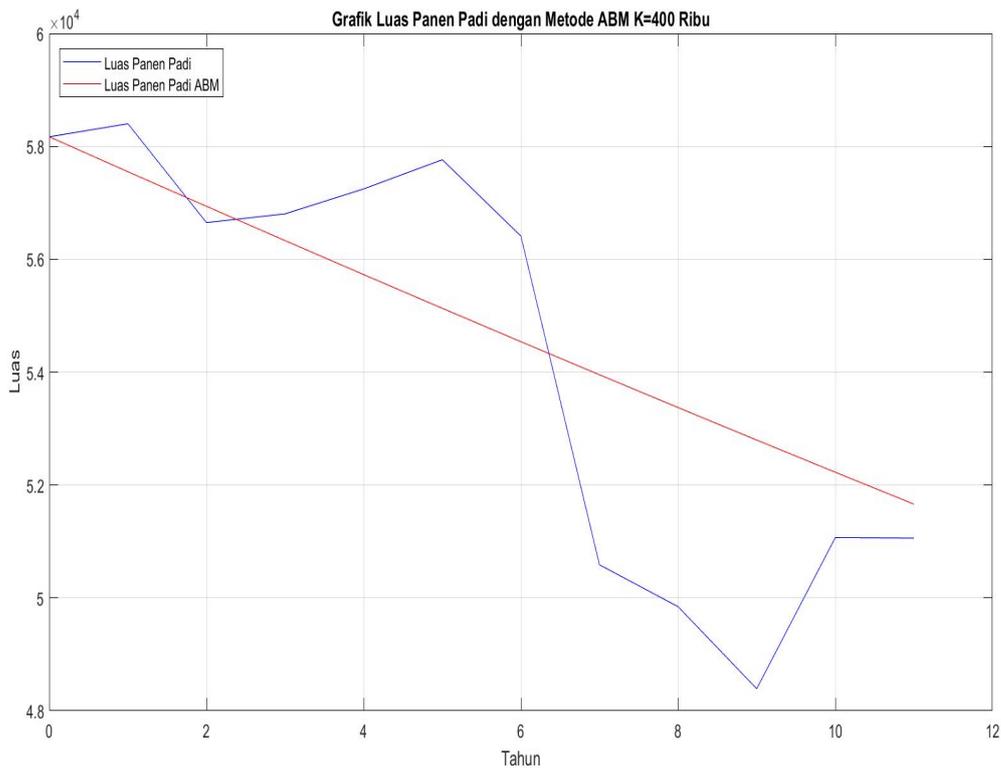
Diperoleh nilai $N_4^{(c)} = 55728.2662$, digunakan untuk menghitung f_4 versi *corrector* didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_i^{(c)} &= -0.0125N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -0.0125N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -0.0125(55728.2662) \left(1 - \frac{55728.2662}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -599.55208
 \end{aligned} \tag{4.34}$$

Diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil luas lahan panen padi pada tahun 2016 yaitu sebesar 55728.2662 Ha dan dengan menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil luas lahan panen padi dari tahun 2016 hingga tahun 2023 sebagai berikut

Tabel 4.19 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 400000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-621.3828468
2013		1		57551.3671052		-615.8870933
2014		2		56938.2174435		-610.4164491
2015		3		56330.5257028		-604.9713173
2016		4	55728.2661700	55728.2661749	-599.5520880	-599.5520881
2017		5	55131.4127576	55131.4127624	-594.1591384	-594.1591385
2018		6	54539.9390027	54539.9390075	-588.7928329	-588.7928330
2019		7	53953.8180841	53953.8180888	-583.4535233	-583.4535234
2020		8	53373.0228353	53373.0228400	-578.1415489	-578.1415490
2021		9	52797.5257566	52797.5257612	-572.8572367	-572.8572368
2022		10	52227.2990274	52227.2990320	-567.6009014	-567.6009015
2023	11	51662.3145185	51662.3145230	-562.3728458	-562.3728459	



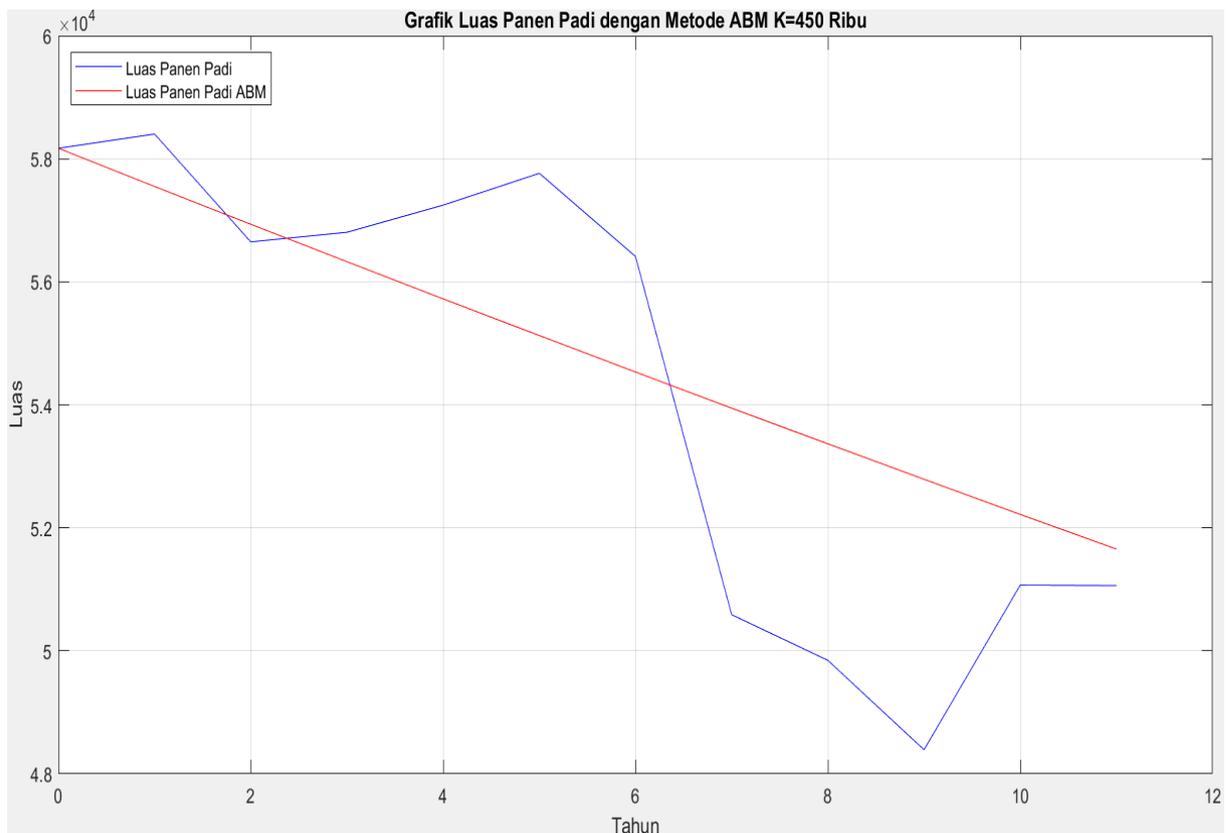
Gambar 4.6 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 400000$

4.3.5 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil luas lahan terserang hama mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.12 sebagai berikut.

Tabel 4.20 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 450000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-623.0018634
2013		1		57549.8339251		-617.3354114
2014		2		56935.3188788		-611.6998542
2015		3		56326.4238239		-606.0954751
2016		4	55723.1174412	55723.1174456	-600.5225455	-600.5225456
2017		5	55125.3681547	55125.3681591	-594.9813251	-594.9813252
2018		6	54533.1441303	54533.1441346	-589.4720620	-589.4720621
2019		7	53946.4132912	53946.4132954	-583.9949929	-583.9949930
2020		8	53365.1433298	53365.1433341	-578.5503433	-578.5503434
2021		9	52789.3017186	52789.3017228	-573.1383275	-573.1383276
2022		10	52218.8557212	52218.8557253	-567.7591489	-567.7591490
2023		11	51653.7724031	51653.7724071	-562.4130003	-562.4130004



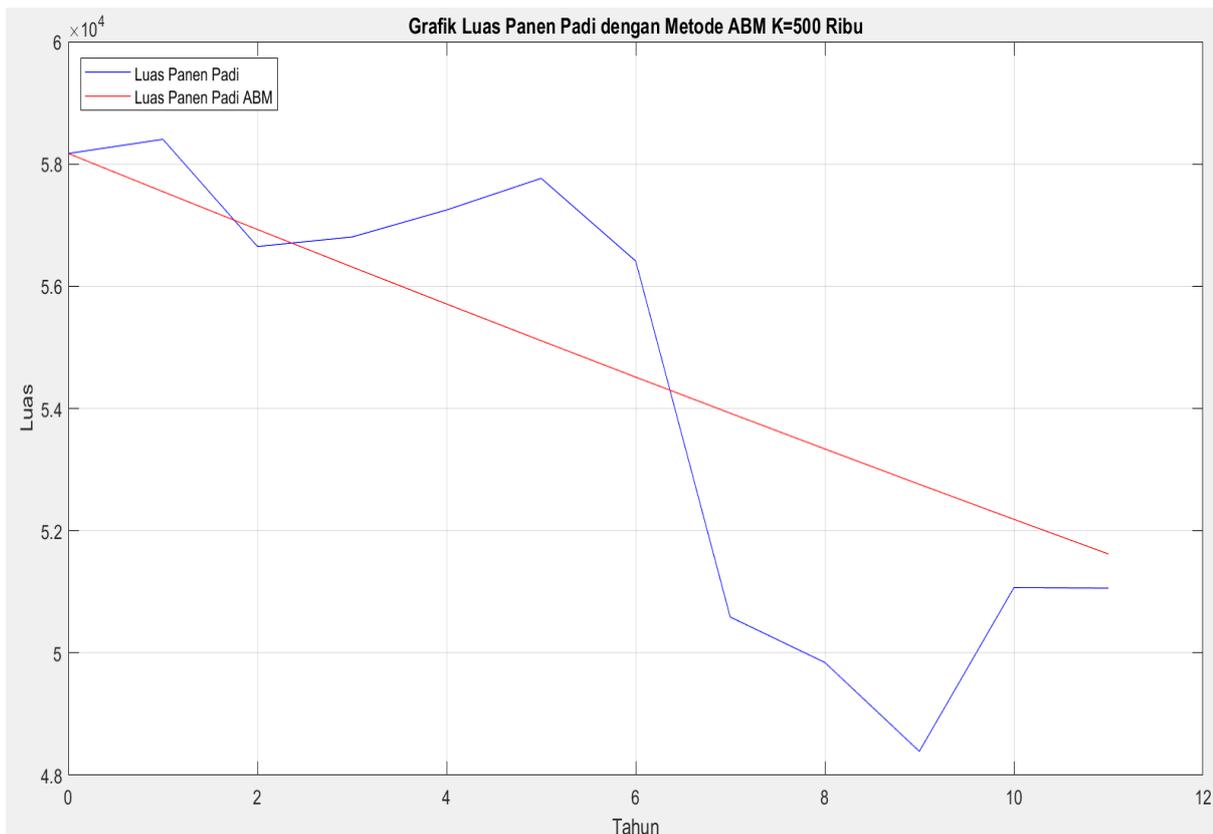
Gambar 4.7 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 450000$

4.3.6 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil luas lahan panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.14 sebagai berikut.

Tabel 4.21 Solusi Numerik Metode ABM Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 500000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-627.1105268
2013		1		57545.8187901		-621.2578705
2014		2		56927.4722715		-615.4411765
2015		3		56314.9243872		-609.6606322
2016		4	55708.1388945	55708.1388986	-603.9164140	-603.9164141
2017		5	55107.0793874	55107.0793915	-598.2086876	-598.2086877
2018		6	54511.7092959	54511.7092999	-592.5376080	-592.5376081
2019		7	53921.9919002	53921.9919041	-586.9033196	-586.9033197
2020		8	53337.8903408	53337.8903446	-581.3059568	-581.3059569
2021		9	52759.3676294	52759.3676332	-575.7456437	-575.7456438
2022		10	52186.3866581	52186.3866618	-570.2224947	-570.2224948
2023	11	51618.9102099	51618.9102136	-564.7366144	-564.7366145	



Gambar 4.8 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode ABM dengan $K = 500000$

4.4 Solusi Numerik dengan Metode Hamming Pada Model Verhulst

Diperoleh solusi awal dari model Verhulst maka selanjutnya pada bagian ini, mencari solusi numerik dari empat solusi awal pada metode Rung-Kutta dengan menggunakan metode Hamming.

4.4.1 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 400000$

Menggunakan solusi awal yang diperoleh dari metode Runge-Kutta orde empat pada Tabel 4.4 akan dilakukan perhitungan solusi numerik panen padi pada tahun 2016 dengan menggunakan persamaan *predictor* Hamming seperti pada Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(p)} &= N_{i-3} + \frac{4h}{3}[2f_i - f_{i-1} + 2f_{i-2}] \\
 N_4^{(p)} &= N_0 + \frac{4h}{3}[2f_3 - f_2 + 2f_1] \\
 N_4^{(p)} &= 324456 + \frac{4}{3}[2(-2854.7923532) - 2783.3360375 + 2(-2712.0410928)] \\
 N_4^{(p)} &= 313322.225
 \end{aligned} \tag{4.35}$$

Nilai yang diperoleh dari persamaan *predictor* Hamming dimasukkan ke dalam model Verhulst untuk mencari nilai f_4 yang akan digunakan saat melakukan perhitungan solusi numerik dengan menggunakan persamaan *corrector* Hamming.

$$\begin{aligned}
 f_i^{(p)} &= -0.0431N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0431N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -0.0431(313322.225) \left(1 - \frac{313322.225}{400000}\right) \\
 f_4^{(p)} &= -2926.28241
 \end{aligned} \tag{4.36}$$

Diperoleh solusi numerik dengan menggunakan persamaan *predictor* Hamming selanjutnya dilakukan perhitungan solusi numerik pada tahun 2016 dengan menggunakan persamaan *corrector* Hamming seperti pada Persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(c)} &= \frac{9N_i}{8} - \frac{N_{i-2}}{8} + \frac{3h}{8}[2f_i - f_{i-1} + f_{i+1}] \\
 N_4^{(c)} &= \frac{9N_3}{8} - \frac{N_1}{8} + \frac{3h}{8}[2f_3 - f_2 + f_4] \\
 N_4^{(c)} &= \frac{9(316212.7677760)}{8} - \frac{321779.4936671}{8} \\
 &\quad + \frac{3}{8}[2(-2854.7923532) - 2783.3360375 - 2926.28241] \\
 N_4^{(c)} &= 313322.228
 \end{aligned} \tag{4.37}$$

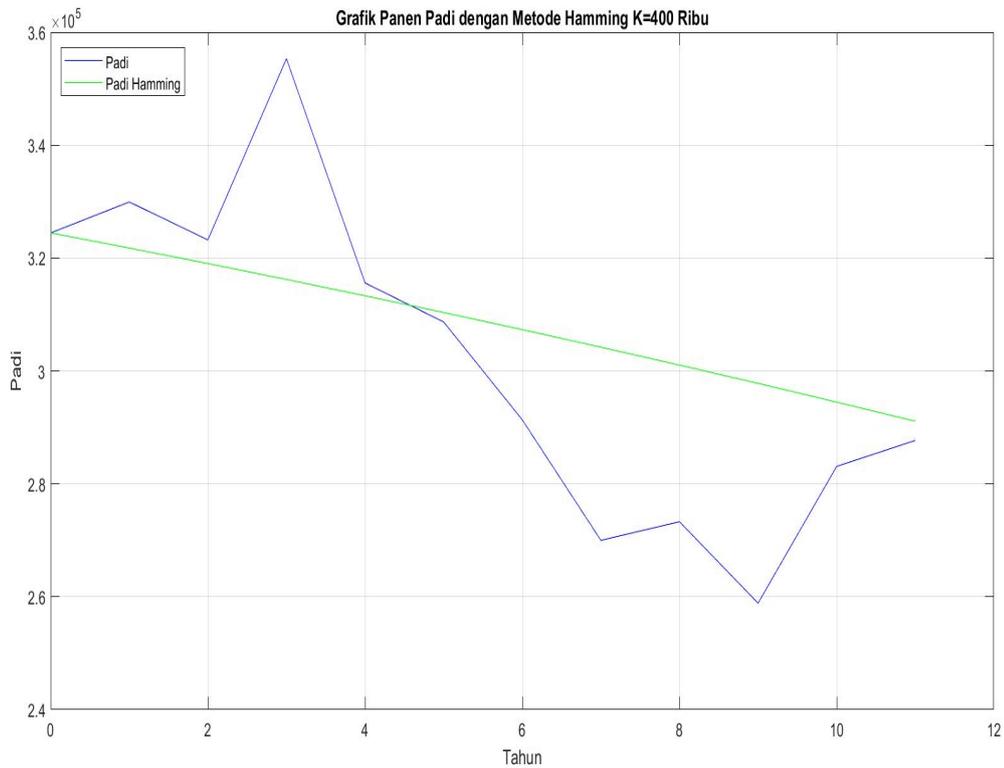
Lalu, untuk pada saat f_4 versi corrector didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 f_i^{(c)} &= -0.0431N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -0.0431N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -0.0431(313322.228) \left(1 - \frac{313322.228}{400000}\right) \\
 f_4^{(c)} &= -2926.28232
 \end{aligned}
 \tag{4.38}$$

Diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil panen padi pada tahun 2016 yaitu sebesar 313322.228 ton dan dengan menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil panen padi dari tahun 2016 hingga tahun 2023 sebagai berikut

Tabel 4.22 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 400000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2641.0283628
2013		1		321779.4936671		-2712.0410928
2014		2		319031.8237163		-2783.3360375
2015		3		316212.7677760		-2854.7923532
2016		4	313322.2255270	313322.2278935	-2926.2823874	-2926.2823296
2017		5	310360.2343379	310360.2342218	-2997.6716624	-2997.6716652
2018		6	307326.9628577	307326.9625099	-3068.8194579	-3068.8194660
2019		7	304222.7250714	304222.7252013	-3139.5789406	-3139.5789376
2020		8	301047.9831962	301047.9853955	-3209.7976236	-3209.7975757
2021		9	297803.3607078	297803.3605014	-3279.3176588	-3279.3176632
2022		10	294489.6354241	294489.6347935	-3347.9766229	-3347.9766357
2023	11	291107.7506257	291107.7506242	-3415.6079553	-3415.6079553	



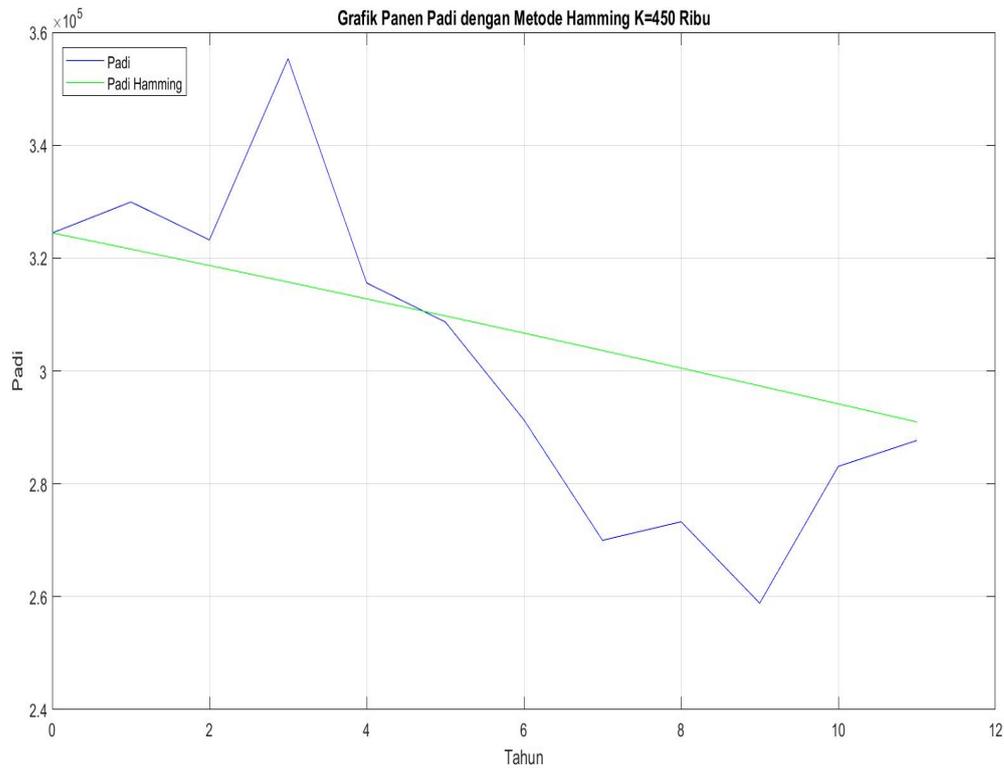
Gambar 4.9 Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 400000$

4.4.2 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 450000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.6 sebagai berikut.

Tabel 4.23 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 450000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2842.2933946
2013		1		321594.0805487		-2881.4442780
2014		2		318693.3231531		-2919.9600479
2015		3		315754.3906842		-2957.7851421
2016		4	312778.0016101	312778.0016922	-2994.8637875	-2994.8637865
2017		5	309764.9305101	309764.9304499	-3031.1401463	-3031.1401470
2018		6	306716.0074341	306716.0073693	-3066.5584792	-3066.5584799
2019		7	303632.1181678	303632.1181194	-3101.0633017	-3101.0633022
2020		8	300514.2037210	300514.2037467	-3134.5995514	-3134.5995511
2021		9	297363.2601640	297363.2600486	-3167.1127541	-3167.1127553
2022		10	294180.3373537	294180.3372288	-3198.5492022	-3198.5492034
2023		11	290966.5384969	290966.5383922	-3228.8561246	-3228.8561255



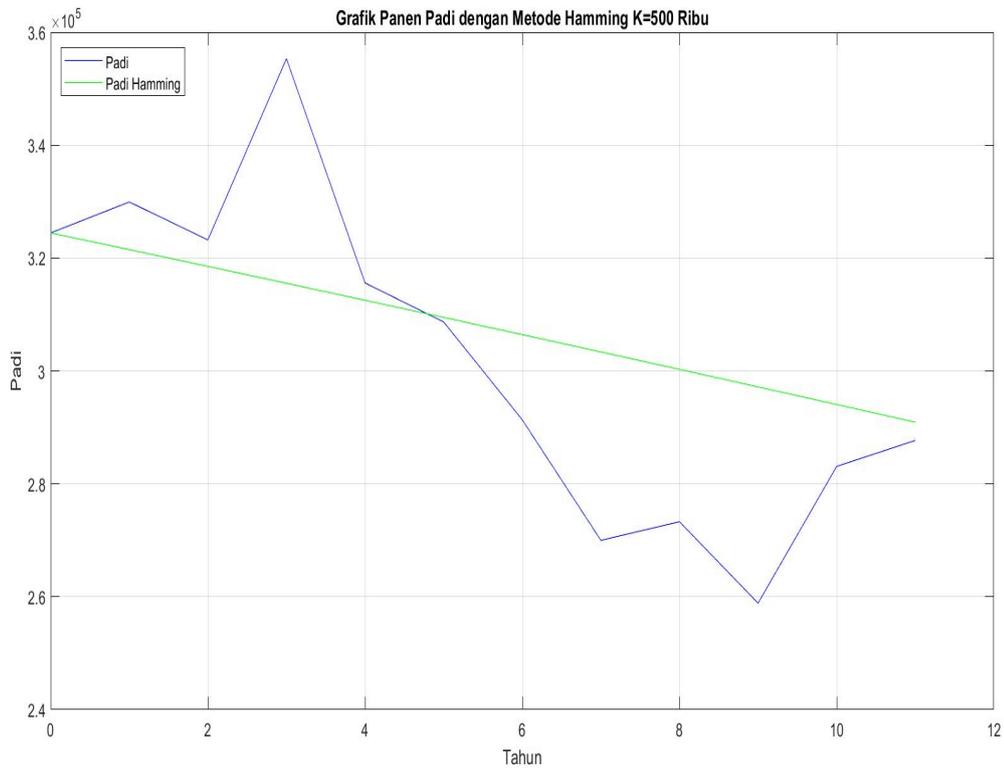
Gambar 4.10 Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 450000$

4.4.3 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 500000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.24 Solusi Numerik Metode Hamming Data Panen Padi dengan $K = 500000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		324456		-2938.9452897
2013		1		321505.8842155		-2961.1644797
2014		2		318533.9189189		-2982.6400610
2015		3		315540.8603791		-3003.3468140
2016		4	312527.4899645	312527.4897553	-3023.2601520	-3023.2601521
2017		5	309494.6127362	309494.6127205	-3042.3561784	-3042.3561785
2018		6	306443.0578066	306443.0577968	-3060.6117512	-3060.6117513
2019		7	303373.6768784	303373.6768409	-3078.0045318	-3078.0045320
2020		8	300287.3437388	300287.3435118	-3094.5130458	-3094.5130470
2021		9	297184.9526530	297184.9526176	-3110.1167405	-3110.1167407
2022		10	294067.4184748	294067.4184497	-3124.7960316	-3124.7960317
2023		11	290935.6749924	290935.6749364	-3138.5323584	-3138.5323587



Gambar 4.11 Solusi Numerik Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 500000$

4.4.4 Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$

Menggunakan solusi awal yang diperoleh dari metode Runge-Kutta orde empat pada Tabel 4.10 akan dilakukan perhitungan solusi numerik luas lahan panen padi pada tahun 2016 dengan menggunakan Persamaan *predictor* Hamming seperti pada Persamaan 2.15 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 N_{i+1}^{(p)} &= N_{i-3} + \frac{4h}{3}[2f_i - f_{i-1} + 2f_{i-2}] \\
 N_4^{(p)} &= N_0 + \frac{4h}{3}[2f_3 - f_2 + 2f_1] \\
 N_4^{(p)} &= 58170 + \frac{4}{3}[2(-604.9713173) - (-610.4164491) + 2(-615.8870933)] \\
 N_4^{(p)} &= 55728.2662
 \end{aligned}
 \tag{4.39}$$

Nilai yang diperoleh dari persamaan *predictor* Hamming dimasukkan ke dalam model Verhulst untuk mencari nilai f_4 yang akan digunakan saat melakukan perhitungan solusi

numerik dengan menggunakan persamaan *corrector* Hamming.

$$\begin{aligned}
f_i^{(p)} &= -0.0125N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
f_4^{(p)} &= -0.0125N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
f_4^{(p)} &= -0.0125(55728.2662) \left(1 - \frac{55728.2662}{400000}\right) \\
f_4^{(p)} &= -599.552088
\end{aligned} \tag{4.40}$$

Diperoleh solusi numerik dengan menggunakan persamaan *predictor* Hamming selanjutnya dilakukan perhitungan solusi numerik pada tahun 2016 dengan menggunakan persamaan *corrector* Hamming seperti pada Persamaan 2.16 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
N_{i+1}^{(c)} &= \frac{9N_i}{8} - \frac{N_{i-2}}{8} + \frac{3h}{8}[2f_i - f_{i-1} + f_{i+1}] \\
N_4^{(c)} &= \frac{9N_3}{8} - \frac{N_1}{8} + \frac{3h}{8}[2f_3 - f_2 + f_4] \\
N_4^{(c)} &= \frac{9(56330.5257028)}{8} - \frac{57551.3671052}{8} \\
&\quad + \frac{3}{8}[2(-604.9713173) - (-610.4164491) + (-599.552088)] \\
N_4^{(c)} &= 55728.2664
\end{aligned} \tag{4.41}$$

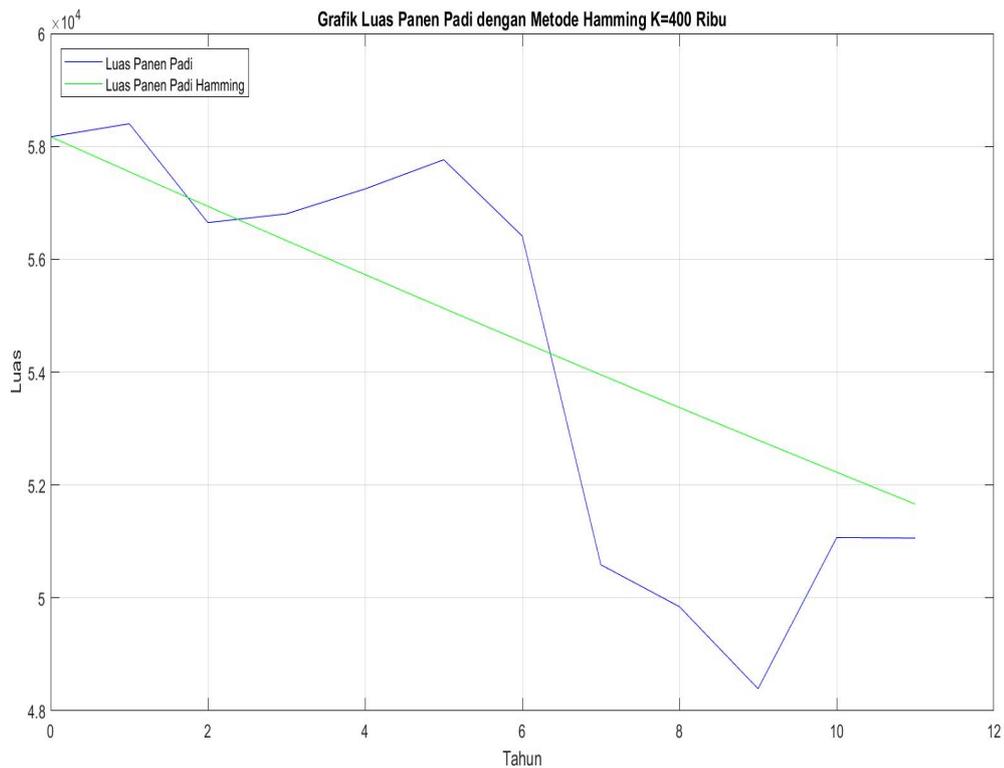
Diperoleh nilai $N_4^{(c)} = 55728.2664$, digunakan untuk menghitung f_4 versi *corrector* didapat sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
f_i^{(c)} &= -0.0125N_i \left(1 - \frac{N_i}{K}\right) \\
f_4^{(c)} &= -0.0125N_4 \left(1 - \frac{N_4}{400000}\right) \\
f_4^{(c)} &= -0.0125(55728.2664) \left(1 - \frac{55728.2664}{400000}\right) \\
f_4^{(c)} &= -599.552087
\end{aligned} \tag{4.42}$$

Solusi numerik untuk estimasi hasil luas lahan panen padi pada tahun 2016 yaitu sebesar 55728.2664 (Ha) dan dengan menggunakan cara yang sama maka diperoleh solusi numerik untuk estimasi hasil luas lahan panen padi dari tahun 2016 hingga tahun 2023 sebagai berikut:

Tabel 4.25 Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 400000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-621.382846875
2013		1		57551.3671052		-615.887093325
2014		2		56938.2174435		-610.416449117
2015		3		56330.5257028		-604.971317349
2016		4	55728.2661703	55728.2661749	-599.552088055	-599.552088097
2017		5	55131.4127625	55131.4127622	-594.159138495	-594.159138491
2018		6	54539.9390120	54539.9390118	-588.792833042	-588.792833041
2019		7	53953.8180979	53953.8180980	-583.453523494	-583.453523496
2020		8	53373.0228491	53373.0228536	-578.141549112	-578.141549154
2021		9	52797.5257748	52797.5257743	-572.857236937	-572.857236933
2022		10	52227.2990497	52227.2990495	-567.600901682	-567.600901681
2023		11	51662.3145450	51662.3145451	-562.372846058	-562.372846059



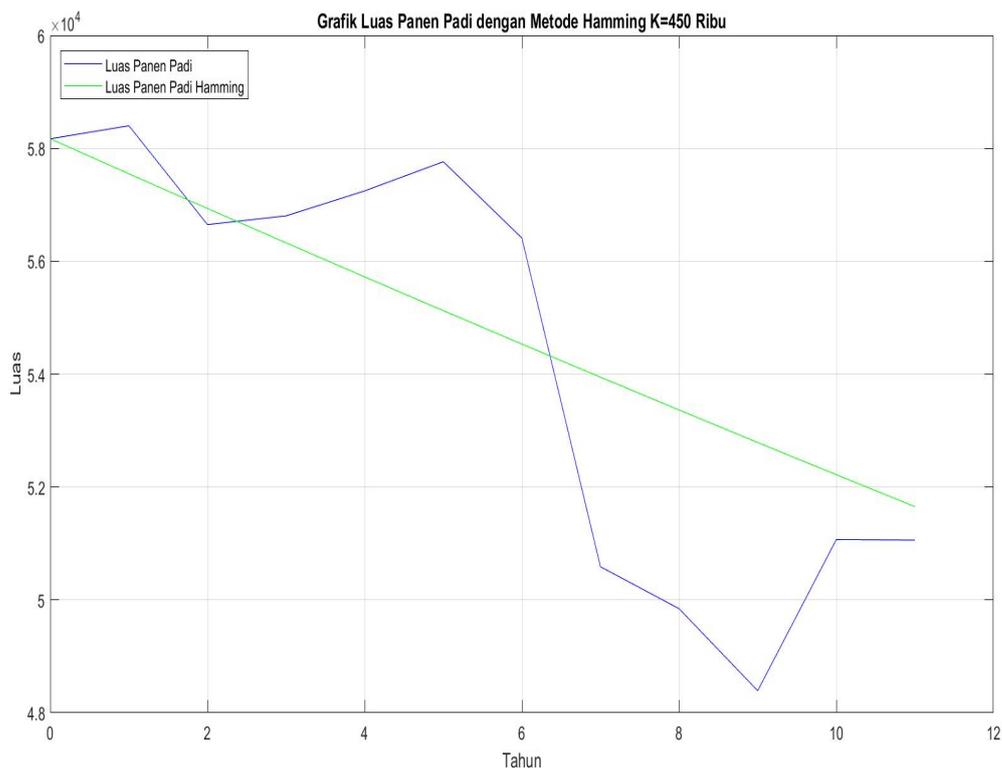
Gambar 4.12 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 400000$

4.4.5 Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil luas lahan panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.12 sebagai berikut

Tabel 4.26 Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan panen padi dengan $K = 450000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-623.0018634
2013		1		57549.8339251		-617.335411427
2014		2		56935.3188788		-611.699854230
2015		3		56326.4238239		-606.095475132
2016		4	55723.1174414	55723.1174456	-600.522545521	-600.522545560
2017		5	55125.3681592	55125.3681589	-594.981325157	-594.981325154
2018		6	54533.1441388	54533.1441386	-589.472062109	-589.472062107
2019		7	53946.4133037	53946.4133039	-583.994993075	-583.994993076
2020		8	53365.1433423	53365.1433465	-578.550343456	-578.550343495
2021		9	52789.3017352	52789.3017347	-573.138327686	-573.138327681
2022		10	52218.8557413	52218.8557412	-567.759149157	-567.759149155
2023	11	51653.7724270	51653.7724271	-562.413000556	-562.413000557	



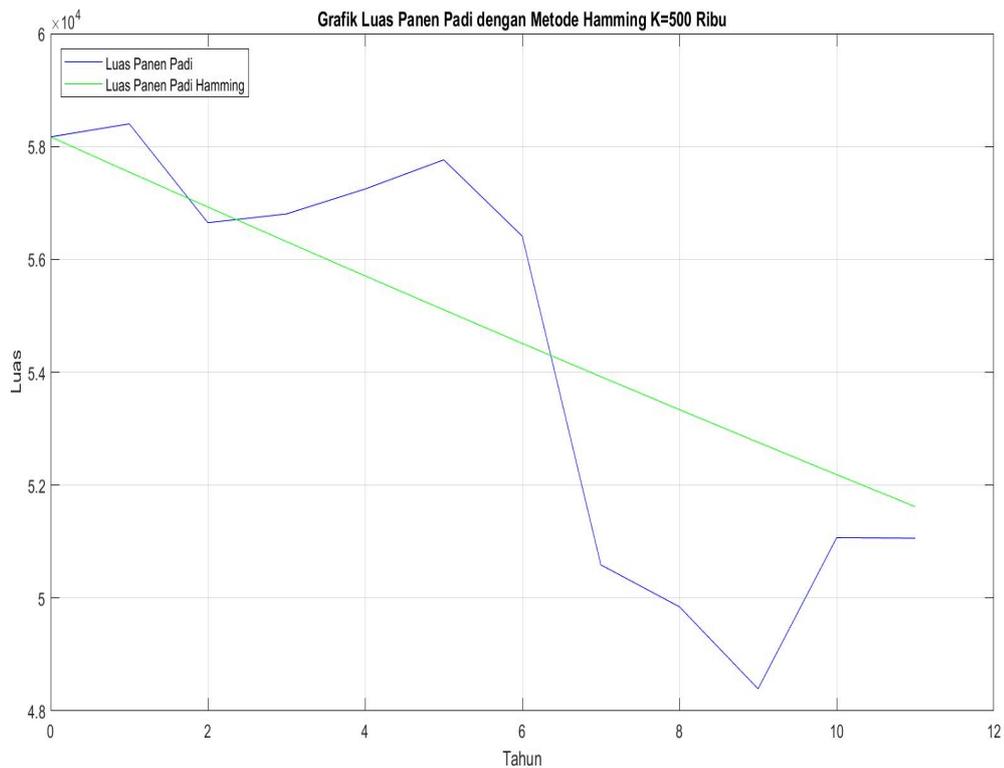
Gambar 4.13 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 450000$

4.4.6 Solusi Numerik Metode Hamming Data Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$

Seperti cara sebelumnya maka diperoleh solusi numerik hasil luas lahan panen padi mulai tahun 2016 hingga tahun 2023 menggunakan solusi awal dari Tabel 4.14 sebagai berikut

Tabel 4.27 Solusi Numerik Hamming Luas Lahan panen padi dengan $K = 500000$

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	$f_i^{(p)}$	$f_i^{(c)}$
2012	1	0		58170		-627.11052684
2013		1		57545.8187901		-621.257870490
2014		2		56927.4722715		-615.441176492
2015		3		56314.9243872		-609.660632231
2016		4	55708.1388947	55708.1388986	-603.916414081	-603.916414118
2017		5	55107.0793916	55107.0793912	-598.208687720	-598.208687717
2018		6	54511.7093038	54511.7093036	-592.537608096	-592.537608094
2019		7	53921.9919117	53921.9919118	-586.903319757	-586.903319758
2020		8	53337.8903522	53337.8903561	-581.305956945	-581.305956982
2021		9	52759.3676445	52759.3676440	-575.745643931	-575.745643926
2022		10	52186.3866765	52186.3866764	-570.222494967	-570.222494966
2023		11	51618.9102319	51618.9102318	-564.736614627	-564.736614626



Gambar 4.14 Solusi Numerik Luas Panen Padi Metode Hamming dengan $K = 500000$

4.5 Analisis Galat

Diperoleh solusi numerik dari metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dari masing-masing pertumbuhan panen padi dan luas lahan panen, langkah selanjutnya ialah melakukan perhitungan galat dari masing masing populasi sebagai berikut

4.5.1 Galat Panen Padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari Tabel 4.16 dan rumus galat yang digunakan terdapat di Persamaan 2.18, sehingga diperoleh hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.28 Galat Panen Padi $K = 400000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321779.4936671	329938	
2014		319031.8237163	323226	
2015		316212.7677760	355326	
2016	313322.2253434	313322.2278950	315596	0.720469239
2017	310360.2317488	310360.2342919	308680	0.544328849
2018	307326.9577310	307326.9601098	291350	5.4837687
2019	304222.7176345	304222.7199104	270001	12.6746641
2020	301047.9756276	301047.9777602	273294	10.1553557
2021	297803.3510514	297803.3530118	258863	15.0428424
2022	294489.6233970	294489.6251613	283105	4.02134374
2023	291107.7367280	291107.7382712	287702	1.18377289
Rata-Rata				6.2283182 \approx 6.23

Tabel 4.28, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 15.04%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.54%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 6.23%. Nilai galat pada metode Hamming dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.29 Galat Panen Padi $K = 400000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321779.4936671	329938	
2014		319031.8237163	323226	
2015		316212.7677760	355326	
2016	313322.2253434	313322.2278935	315596	0.720469242
2017	310360.2317488	310360.2342218	308680	0.544328826
2018	307326.9577310	307326.9625099	291350	5.48376952
2019	304222.7176345	304222.7252013	270001	12.6746661
2020	301047.9756276	301047.9853955	273294	10.1553585
2021	297803.3510514	297803.3605014	258863	15.0428453
2022	294489.6233970	294489.6347935	283105	4.02134713
2023	291107.7367280	291107.7506242	287702	1.18377718
Rata-Rata				6.22832023 \approx 6.23

Tabel 4.29, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 15.04%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.54%, dan rata-rata untuk galat Hamming didapat sebesar 6.23%. Dari Tabel 4.28 dan Tabel 4.29, masing-masing memiliki nilai

rata-rata galat yang sama yaitu 6.23%, hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.2 Galat Panen Padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari Tabel 4.17 dan rumus galat yang digunakan terdapat pada Persamaan 2.18, didapat hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.30 Galat Panen Padi $K = 450000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321594.0805487	329938	
2014		318693.3231531	323226	
2015		315754.3906842	355326	
2016	312778.0016123	312778.0016914	315596	0.89291319
2017	309764.9304372	309764.9304613	308680	0.351474167
2018	306716.0073349	306716.0072987	291350	5.27407149
2019	303632.1181017	303632.1180057	270001	12.4559235
2020	300514.2038246	300514.2036666	273294	9.96004438
2021	297363.2603716	297363.2601499	258863	14.8728324
2022	294180.3377149	294180.3374287	283105	3.9120953
2023	290966.5390816	290966.5387299	287702	1.13469449
Rata-Rata				6.10675611 \approx 6.11

Tabel 4.30, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 14.87%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.35%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 4.11%, untuk nilai galat pada metode Hamming dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.31 Galat Panen Padi $K = 450000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321594.0805487	329938	
2014		318693.3231531	323226	
2015		315754.3906842	355326	
2016	312778.0016101	312778.0016922	315596	0.89291319
2017	309764.9305101	309764.9304499	308680	0.351474164
2018	306716.0074341	306716.0073692	291350	5.27407153
2019	303632.1181678	303632.1181194	270001	12.4559235
2020	300514.2037210	300514.2037466	273294	9.96004438
2021	297363.2601640	297363.2600486	258863	14.8728323
2022	294180.3373537	294180.3372288	283105	3.91209523
2023	290966.5384969	290966.5383922	287702	1.13469437
Rata-Rata				6.10675609 \approx 6.11

Tabel 4.31, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2019, yaitu sebesar 14.87%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.35%, dan rata-rata untuk galat Hamming

didapat sebesar 6.11%. Dari Tabel 4.30 dan Tabel 4.31, masing-masing memiliki nilai rata-rata galat yang sama yaitu 6.11%. Hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.3 Galat Produksi Padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari Tabel 4.18 dan rumus galat yang digunakan terdapat di Persamaan 2.18, didapat hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.32 Galat Panen Padi $K = 500000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321505.8842155	329938	
2014		318533.9189189	323226	
2015		315540.8603791	355326	
2016	312527.4899909	312527.4897542	315596	0.972290603
2017	309494.6129828	309494.6127224	308680	0.263902009
2018	306443.0582987	306443.0580179	291350	5.18038716
2019	303373.6776335	303373.6773307	270001	12.360205
2020	300287.3445894	300287.3442655	273294	9.8770351
2021	297184.9537875	297184.9534430	258863	14.8039517
2022	294067.4199222	294067.4195578	283105	3.87220982
2023	290935.6767639	290935.6763804	287702	1.12396729
Rata-Rata				6.05674359 \approx 6.06

Tabel 4.32, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 14.80%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.26%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 6.06%. Nilai galat pada metode Hamming dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.33 Galat Panen Padi $K = 500000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Panen Padi (Ton)	Galat Relatif (%)
2012		324456	324456	
2013		321505.8842155	329938	
2014		318533.9189189	323226	
2015		315540.8603791	355326	
2016	312902.3176213	312527.4897553	315596	0.972290599
2017	309966.0708089	309494.6127205	308680	0.263902009
2018	307012.1644449	306443.0577968	291350	5.18038709
2019	304041.3699632	303373.6768409	270001	12.3602049
2020	301054.4784038	300287.3435118	273294	9.87703481
2021	298052.2990524	297184.9526176	258863	14.8039514
2022	295035.6595422	294067.4184497	283105	3.87220939
2023	292005.4044530	290935.6749364	287702	1.12396679
Rata-Rata				6.05674338 \approx 6.06

Tabel 4.33, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 14.80%. Nilai galat terkecil di tahun 2017, yaitu sebesar 0.26%, dan rata-rata untuk galat Hamming didapat sebesar 6.06%. Dari Tabel 4.32 dan Tabel 4.33, masing-masing memiliki nilai rata-rata galat yang sama yaitu 6.06%, hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.4 Perbandingan Galat Panen Padi di Kabupaten Purworejo

Berdasarkan perhitungan galat panen padi yang diperoleh dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 400000,450000, dan 500000, diperoleh nilai galat pada tabel 4.34

Tabel 4.34 Perbandingan Galat Panen Padi di Kabupaten Purworejo

Metode	Galat(%)		
	K		
	400000	450000	500000
Metode ABM	6.23	6.11	6.06
Metode Hamming	6.23	6.11	6.06

Dari tabel 4.34 menunjukkan bahwa nilai galat panen padi dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki nilai galat yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.5 Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari data Tabel 4.19 dan rumus galat yang digunakan terdapat di Persamaan 2.18, sehingga didapat hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.35 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57551.3671052	58402	
2014		56938.2174435	56649	
2015		56330.5257028	56805	
2016	55728.2661700	55728.2661749	57247	2.6529492
2017	55131.4127576	55131.4127625	57764	4.55748778
2018	54539.9390027	54539.9390075	56411	3.31683712
2019	53953.8180841	53953.8180888	50588	6.65339229
2020	53373.0228353	53373.0228400	49845	7.07798744
2021	52797.5257566	52797.5257612	48392	9.10383072
2022	52227.2990274	52227.2990320	51069	2.26810595
2023	51662.3145185	51662.3145230	51061	1.17763954
Rata-Rata				4.60102875 \approx 4.60

Dari Tabel 4.35, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.10%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.17%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 4.60%. Nilai galat pada metode Hamming, dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.36 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 400000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57551.3671052	58402	
2014		56938.2174435	56649	
2015		56330.5257028	56805	
2016	55728.2661703	55728.2661749	57247	2.6529492
2017	55131.4127626	55131.4127622	57764	4.55748778
2018	54539.9390120	54539.9390118	56411	3.31683712
2019	53953.8180979	53953.8180980	50588	6.65339231
2020	53373.0228491	53373.0228536	49845	7.07798746
2021	52797.5257748	52797.5257743	48392	9.10383074
2022	52227.2990497	52227.2990495	51069	2.26810599
2023	51662.3145450	51662.3145451	51061	1.17763958
Rata-Rata				4.60102878 \approx 4.60

Tabel 4.36, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.10%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.17%, dan rata-rata untuk galat Hamming didapat sebesar 4.60%. Dari Tabel 4.35 dan Tabel 4.36, masing-masing memiliki nilai rata-rata galat yang sama yaitu 4.60%, hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.6 Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari data Tabel 4.20 dan rumus galat yang digunakan terdapat di Persamaan 2.18, didapat hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.37 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57549.8339251	58402	
2014		56935.3188788	56649	
2015		56326.4238239	56805	
2016	55723.1174412	55723.1174456	57247	2.66194307
2017	55125.3681547	55125.3681591	57764	4.56795208
2018	54533.1441303	54533.1441346	56411	3.32888243
2019	53946.4132912	53946.4132955	50588	6.63875484
2020	53365.1433298	53365.1433341	49845	7.06217942
2021	52789.3017186	52789.3017228	48392	9.08683609
2022	52218.8557212	52218.8557253	51069	2.25157283
2023	51653.7724031	51653.7724071	51061	1.1609103
Rata-Rata				4.59487889 \approx 4.59

Tabel 4.37, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.086%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.16%, dan rata-rata untuk galat Adams-

Bashforth-Moulton didapat sebesar 4.59%. Nilai galat pada metode Hamming dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.38 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 450000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57549.8339251	58402	
2014		56935.3188788	56649	
2015		56326.4238239	56805	
2016	55723.1174414	55723.1174456	57247	2.66194307
2017	55125.3681592	55125.3681589	57764	4.56795208
2018	54533.1441388	54533.1441386	56411	3.32888242
2019	53946.4133037	53946.4133039	50588	6.63875484
2020	53365.1433423	53365.1433465	49845	7.06217946
2021	52789.3017351	52789.3017347	48392	9.08683611
2022	52218.8557413	52218.8557412	51069	2.25157285
2023	51653.7724270	51653.7724271	51061	1.16091034
Rata-Rata				4.5948789 \approx 4.59

Tabel 4.38, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.086%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.16%, dan rata-rata untuk galat Hamming didapat sebesar 4.59%. Dari Tabel 4.37 dan Tabel 4.38, masing-masing memiliki nilai rata-rata galat yang sama yaitu 4.59%, hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.7 Galat Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini, ditampilkan nilai galat dari metode Adams-Bashforth-Moulton dari data Tabel 4.21 dan rumus galat yang digunakan terdapat di Persamaan 2.18, didapat hasil galat sebagai berikut :

Tabel 4.39 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$ pada Metode ABM

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57545.8187901	58402	
2014		56927.4722715	56649	
2015		56314.9243872	56805	
2016	55708.1388945	55708.1388986	57247	2.68810785
2017	55107.0793874	55107.0793915	57764	4.59961327
2018	54511.7092959	54511.7092999	56411	3.36688004
2019	53921.9919002	53921.9919041	50588	6.59047976
2020	53337.8903408	53337.8903446	49845	7.00750394
2021	52759.3676294	52759.3676332	48392	9.02497857
2022	52186.3866581	52186.3866618	51069	2.18799401
2023	51618.9102099	51618.9102136	51061	1.09263472
Rata-Rata				4.56977403 \approx 4.57

Dari Tabel 4.39, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.025%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.092%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 4.57%. Nilai galat pada metode Hamming dengan cara yang sama didapat sebagai berikut:

Tabel 4.40 Galat Luas Lahan Panen Padi $K = 500000$ pada Metode Hamming

Tahun	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Lahan Panen (Ha)	Galat Relatif (%)
2012		58170	58170	
2013		57545.8187901	58402	
2014		56927.4722715	56649	
2015		56314.9243872	56805	
2016	55708.1388947	55708.1388986	57247	2.68810785
2017	55107.0793916	55107.0793912	57764	4.59961327
2018	54511.7093038	54511.7093036	56411	3.36688004
2019	53921.9919117	53921.9919118	50588	6.59047978
2020	53337.8903522	53337.8903561	49845	7.00750398
2021	52759.3676445	52759.3676440	48392	9.02497859
2022	52186.3866765	52186.3866764	51069	2.18799405
2023	51618.9102319	51618.9102318	51061	1.09263475
Rata-Rata				4.56977404 \approx 4.57

Tabel 4.40, didapat bahwa galat terbesar di tahun 2021, yaitu sebesar 9.025%. Nilai galat terkecil di tahun 2023, yaitu sebesar 1.092%, dan rata-rata untuk galat Adams-Bashforth-Moulton didapat sebesar 4.57%. Dari Tabel 4.39 dan Tabel 4.40, masing-masing memiliki nilai rata-rata galat yang sama yaitu 4.57%, hal ini dapat dikatakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.5.8 Perbandingan Galat Luas Panen Padi di Kabupaten Purworejo

Berdasarkan perhitungan galat luas panen padi yang diperoleh dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 400000, 450000, dan 500000, diperoleh nilai galat pada tabel 4.41

Tabel 4.41 Perbandingan Galat Luas Lahan Panen di Kabupaten Purworejo

Metode	Galat(%)		
	K		
	400000	450000	500000
Metode ABM	4.60	4.59	4.57
Metode Hamming	4.60	4.59	4.57

Dari tabel 4.41 menunjukkan bahwa nilai galat luas panen padi dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming memiliki nilai galat yang sama, sehingga dapat dikatakan bahwa metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming memiliki tingkat ketelitian yang sama.

4.6 Estimasi Hasil Panen Padi dan Luas Lahan Panen

Pada bagian ini, dilakukan perhitungan estimasi yang mana menggunakan data panen padi pada Tabel 4.1 dan juga data luas lahan panen padi pada Tabel 4.2. Estimasi ini

menggunakan data dari tahun 2020-2024 dan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming, untuk hasil perhitungannya sebagai berikut :

4.6.1 Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini, dicari nilai estimasi panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 400000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.5. Hasil dari estimasi dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dengan galat seperti pada Persamaan 2.18 didapat sebagai berikut:

$$\varepsilon_r = \frac{|y - y_j|}{y} 100\%$$

$$\varepsilon_r = \frac{|257921.7879051 - 257921.7892815|}{257921.7879051} 100\% \quad (4.43)$$

$$\varepsilon_r = 5.33 \times 10^{-7}$$

Diperoleh untuk galat relatif hasil estimasi panen padi dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dengan $K = 400000$ pada tahun 2024 adalah 5.33×10^{-7} , selanjutnya hasil estimasi panen padi tahun 2025 dan tahun 2026 ditunjukkan pada Tabel 4.42.

Tabel 4.42 Estimasi Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		269533.7196718	
2022		2		265716.6768674	
2023		3		261845.2002985	
2024		4	257921.7892815	257921.7879051	5.33×10^{-7}
2025		5	253949.1061751	253949.1043915	7.02×10^{-7}
2026		6	249929.9740560	249929.9718959	8.64×10^{-7}

Tabel 4.42 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.1. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 257921.7879051, 253949.1043915, dan 249929.9718959 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Perhitungan estimasi panen padi dengan menggunakan hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.43 Estimasi Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		269533.7196718	
2022		2		265716.6768674	
2023		3		261845.2002986	
2024		4	257921.7891172	257921.7879131	4.66×10^{-7}
2025		5	253949.1047227	253949.1043647	1.41×10^{-7}
2026		6	249929.9709030	249929.9706076	1.18×10^{-7}

Tabel 4.43 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.1. Hasil yang diperoleh

pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 257921.7879131, 253949.1043647, dan 249929.9706076 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.2 Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini dicari nilai estimasi panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 450000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.7 . Hasil dari estimasi didapat sebagai berikut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming :

Tabel 4.44 Estimasi Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		269913.1281968	
2022		2		266511.0006386	
2023		3		263089.1086219	
2024		4	259648.9812747	259648.9803396	3.60×10^{-7}
2025		5	256192.1804494	256192.1794569	3.87×10^{-7}
2026		6	252720.3004842	252720.2994476	4.10×10^{-7}

Tabel 4.44 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.2. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 259648.9803396, 256192.1794569, dan 252720.2994476 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Perhitungan estimasi panen padi dengan menggunakan metode Hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.45 Estimasi Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		269913.1281968	
2022		2		266511.0006386	
2023		3		263089.1086219	
2024		4	259648.9811766	259648.9803435	3.21×10^{-7}
2025		5	256192.1794806	256192.1794569	9.25×10^{-9}
2026		6	252720.2985827	252720.2985791	1.42×10^{-9}

Dari Tabel 4.45 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.2. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 259648.9803435, 256192.1794569, dan 252720.2985791 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.3 Estimasi Hasil panen padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini dicari nilai estimasi panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 500000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.9 . Hasil dari estimasi didapat sebagai berikut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming :

Tabel 4.46 Estimasi Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		270093.3291268	
2022		2		266886.0147220	
2023		3		263673.1065696	
2024		4	260455.6623248	260455.6618100	1.97×10^{-7}
2025		5	257234.7447055	257234.7441829	2.03×10^{-7}
2026		6	254011.4215063	254011.4209789	2.07×10^{-7}

Dari Tabel 4.46 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.3. Hasil yang diperoleh pada tahun 2023, 2024, dan 2025 berturut-turut 260455.6618100, 257234.7441829, dan 254011.4209789 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Perhitungan estimasi panen padi dengan menggunakan Hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.47 Estimasi Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		273294	
2021		1		270093.3291268	
2022		2		266886.0147220	
2023		3		263673.1065696	
2024		4	260455.6622713	260455.6618121	1.76×10^{-7}
2025		5	257234.7441737	257234.7441844	4.16×10^{-9}
2026		6	254011.4204883	254011.4205027	5.67×10^{-9}

Dari Tabel 4.47 didapat hasil panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.3. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 260455.6618121, 257234.7441844, dan 254011.4205027 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.4 Hasil Estimasi Panen Padi

Hasil perhitungan estimasi panen padi yang diperoleh dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 400000 dengan nilai galat 6.23% didapat hasil estimasi hasil panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 ditunjukkan pada Tabel 4.48.

Tabel 4.48 Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.23%

Tahun	Metode	K = 400,000	Galat = 6.23%
2024	ABM	257921.7879051	$241853.26051 \leq \text{Hasil Panen} \leq 273990.31529$
	Hamming	257921.7879131	$241853.26052 \leq \text{Hasil Panen} \leq 273990.31530$
2025	ABM	253949.1043915	$238128.07518 \leq \text{Hasil Panen} \leq 269770.13359$
	Hamming	253949.1043647	$238128.07516 \leq \text{Hasil Panen} \leq 269770.13356$
2026	ABM	249929.9718959	$234359.33464 \leq \text{Hasil Panen} \leq 265500.60914$
	Hamming	249929.9706076	$234359.33343 \leq \text{Hasil Panen} \leq 265500.60777$

Hasil estimasi hasil panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 450000 dan nilai galat 6.11% dapat ditunjukkan pada Tabel 4.49

Tabel 4.49 Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.11%

Tahun	Metode	K = 450,000	Galat = 6.11%
2024	ABM	259648.9803396	$243784.427640 \leq \text{Hasil Panen} \leq 275513.53303$
	Hamming	259648.9803435	$243784.427644 \leq \text{Hasil Panen} \leq 275513.53304$
2025	ABM	256192.1794569	$240538.837292 \leq \text{Hasil Panen} \leq 271845.521621$
	Hamming	256192.1794569	$240538.837292 \leq \text{Hasil Panen} \leq 271845.521621$
2026	ABM	252720.2994476	$237279.089151 \leq \text{Hasil Panen} \leq 268161.509743$
	Hamming	252720.2985791	$237279.088336 \leq \text{Hasil Panen} \leq 268161.508822$

Hasil estimasi hasil panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 500000 dan nilai galat 6.06% dapat ditunjukkan pada Tabel 4.50

Tabel 4.50 Estimasi Hasil Panen Padi dengan Nilai Galat = 6.06%

Tahun	Metode	K = 500,000	Galat = 6.06%
2024	ABM	260455.6618100	$244672.048704 \leq \text{Hasil Panen} \leq 276239.274915$
	Hamming	260455.6618121	$244672.048706 \leq \text{Hasil Panen} \leq 276239.274917$
2025	ABM	257234.7441829	$241646.318685 \leq \text{Hasil Panen} \leq 272823.169680$
	Hamming	257234.7441844	$241646.318686 \leq \text{Hasil Panen} \leq 272823.169682$
2026	ABM	254011.4209789	$238618.32886 \leq \text{Hasil Panen} \leq 269404.513090$
	Hamming	254011.4205027	$238618.328420 \leq \text{Hasil Panen} \leq 269404.512585$

4.6.5 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$

Pada bagian ini dicari nilai estimasi luas lahan panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 400000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.11 . Hasil dari estimasi didapat sebagai berikut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming :

Tabel 4.51 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49302.1332617	
2022		2		48764.3555451	
2023		3		48231.6370497	
2024		4	47703.9477460	47703.9477501	8.59×10^{-9}
2025		5	47181.2573984	47181.2574024	8.47×10^{-9}
2026		6	46663.5355636	46663.5355676	8.57×10^{-9}

Dari Tabel 4.51 didapat hasil luas lahan panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.4. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 47703.9477501, 47181.2574024, dan 46663.5355676 Ha dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi

hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Perhitungan estimasi luas panen padi dengan menggunakan hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.52 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 400000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49302.1332617	
2022		2		48764.3555451	
2023		3		48231.6370497	
2024		4	47703.9477462	47703.9477501	8.17×10^{-9}
2025		5	47181.2574025	47181.2574022	6.35×10^{-10}
2026		6	46663.5355714	46663.5355712	4.28×10^{-10}

Dari Tabel 4.52 didapat luas panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.4. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 47703.9477501, 47181.2574022, dan 46663.5355712 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.6 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$

Pada bagian ini dicari nilai estimasi luas lahan panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 450000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.13 . Hasil dari estimasi didapat sebagai berikut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming :

Tabel 4.53 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49302.4212974	
2022		2		48765.0289828	
2023		3		48232.7891169	
2024		4	47705.6676327	47705.6676363	7.54×10^{-9}
2025		5	47183.6303551	47183.6303586	7.41×10^{-9}
2026		6	46666.6430000	46666.6430034	7.28×10^{-9}

Dari Tabel 4.53 didapat hasil luas lahan panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.5. Hasil yang diperoleh pada tahun 2023, 2024, dan 2025 berturut-turut 47705.6676363, 47183.6303586, dan 46666.6430034 Ha dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Perhitungan estimasi luas panen padi dengan menggunakan Hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.54 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 450000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49302.4212974	
2022		2		48765.0289828	
2023		3		48232.7891169	
2024		4	47705.6676329	47705.6676363	7.12×10^{-9}
2025		5	47183.6303587	47183.6303584	6.35×10^{-10}
2026		6	46666.6430068	46666.6430066	4.28×10^{-10}

Dari Tabel 4.54 didapat luas panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.5. Hasil yang diperoleh pada tahun 2023, 2024, dan 2025 berturut-turut 47705.6676363, 47183.6303584, dan 46666.6430066 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.7 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$

Pada bagian ini dicari nilai estimasi luas lahan panen padi dari tahun 2024-2026 dengan $K = 500000$ dan menggunakan data dari Tabel 4.15 . Hasil dari estimasi didapat sebagai berikut dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming :

Tabel 4.55 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode ABM

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49300.1809214	
2022		2		48760.6718141	
2023		3		48226.4349911	
2024		4	47697.4327187	47697.4327218	6.49×10^{-9}
2025		5	47173.6272332	47173.6272363	6.57×10^{-9}
2026		6	46654.9807406	46654.9807437	6.64×10^{-9}

Dari Tabel 4.55 didapat hasil luas lahan panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.6. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 47697.4327218, 47173.6272363, dan 46654.9807437 Ha dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$. Selanjutnya, untuk perhitungan estimasi luas panen padi dengan menggunakan metode Hamming didapat sebagai berikut:

Tabel 4.56 Estimasi Luas Lahan Panen Padi dengan $K = 500000$ pada Metode Hamming

Tahun	h	i	$N_{i+1}^{(p)}$	$N_{i+1}^{(c)}$	Galat Relatif
2020	1	0		49845	
2021		1		49300.1809214	
2022		2		48760.6718141	
2023		3		48226.4349911	
2024		4	47697.4327188	47697.4327219	6.50×10^{-9}
2025		5	47173.6272364	47173.6272361	6.35×10^{-10}
2026		6	46654.9807466	46654.9807465	2.14×10^{-10}

Dari Tabel 4.56 didapat luas panen padi yang akan datang untuk tahun 2024, 2025, dan 2026 dengan menggunakan hasil r pada Persamaan 4.6. Hasil yang diperoleh pada tahun 2024, 2025, dan 2026 berturut-turut 47697.4327219, 47173.6272361, dan 46654.9807465 dan nilai galat relatif memenuhi syarat batas untuk solusi hampiran, yaitu $\epsilon < 10^{-6}$.

4.6.8 Hasil Estimasi Luas Panen Padi

Hasil perhitungan estimasi luas panen padi yang diperoleh dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 400000 dengan nilai galat 4.60% didapat hasil estimasi luas panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 ditunjukkan pada Tabel 4.57

Tabel 4.57 Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.60%

Tahun	Metode	K = 400,000	Galat = 4.60%
2024	ABM	47703.9477501	$45509.566153 \leq \text{Hasil Panen} \leq 49898.329346$
	Hamming	47703.9477501	$45509.566153 \leq \text{Luas Panen} \leq 49898.329346$
2025	ABM	47181.2574024	$45010.9195618 \leq \text{Luas Panen} \leq 49351.595243$
	Hamming	47181.2574022	$45010.9195617 \leq \text{Luas Panen} \leq 49351.595242$
2026	ABM	46663.5355676	$44517.0129314 \leq \text{Luas Panen} \leq 48810.0582037$
	Hamming	46663.5355712	$44517.0129349 \leq \text{Luas Panen} \leq 48810.0582074$

Hasil estimasi luas panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 450000 dan nilai galat 4.59% dapat ditunjukkan pada Tabel 4.58

Tabel 4.58 Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.59%

Tahun	Metode	K = 450,000	Galat = 4.59%
2024	ABM	47705.6676363	$45515.977491 \leq \text{Luas Panen} \leq 49895.3577808$
	Hamming	47705.6676363	$45515.977491 \leq \text{Luas Panen} \leq 49895.3577808$
2025	ABM	47183.6303586	$45017.901725 \leq \text{Luas Panen} \leq 49349.358992$
	Hamming	47183.6303584	$45017.901724 \leq \text{Luas Panen} \leq 49349.358991$
2026	ABM	46666.6430034	$44524.644089 \leq \text{Luas Panen} \leq 48808.641917$
	Hamming	46666.6430066	$44524.644092 \leq \text{Luas Panen} \leq 48808.641920$

Hasil estimasi luas panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan Metode Hamming pada *carrying capacity* 500000 dan nilai galat 4.57% dapat ditunjukkan pada Tabel 4.59

Tabel 4.59 Estimasi Luas Panen Padi dengan Nilai Galat = 4.57%

Tahun	Metode	K = 500,000	Galat = 4.57%
2024	ABM	47697.4327218	$45517.6600464 \leq \text{Luas Panen} \leq 49877.2053971$
	Hamming	47697.4327219	$45517.6600465 \leq \text{Luas Panen} \leq 49877.2053973$
2025	ABM	47173.6272363	$45017.7924716 \leq \text{Luas Panen} \leq 49329.4620009$
	Hamming	47173.6272361	$45017.7924714 \leq \text{Luas Panen} \leq 49329.4620008$
2026	ABM	46654.9807437	$44522.848123 \leq \text{Luas Panen} \leq 48787.113363$
	Hamming	46654.9807465	$44522.848126 \leq \text{Luas Panen} \leq 48787.113366$

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan Hasil pembahasan pada Bab IV, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan perbandingan galat panen padi pada tabel 4.34 dan galat luas panen padi pada tabel 4.41, hasil galat yang diperoleh dengan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dengan *carrying capacity* yaitu 400000, 450000, dan 500000 memiliki nilai galat yang cukup baik dalam melakukan estimasi terhadap panen padi dan luas lahan panen padi. Nilai galat tersebut menunjukkan bahwa metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming memiliki galat yang sama sehingga tingkat ketelitian dari kedua metode tersebut sama.
2. Estimasi hasil panen padi berdasarkan Tabel 4.42 dan 4.43 dengan nilai $K = 400.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 257921.7879051, 253949.1043915, dan 249929.971895 Ton, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 257921.7879131, 253949.1043647, dan 249929.970607 Ton. Estimasi hasil panen padi berdasarkan Tabel 4.44 dan 4.45 dengan nilai $K = 450.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 259648.9803396, 256192.1794569, dan 252720.2994476 Ton, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 259648.9803435, 256192.1794569, dan 252720.298579 Ton. Estimasi hasil panen padi berdasarkan Tabel 4.46 dan 4.47 dengan nilai $K = 500.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 60455.6618100, 257234.7441829, dan 254011.420978 Ton, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 60455.6618121, 257234.7441844, dan 254011.4205027 Ton.

Estimasi hasil luas panen padi berdasarkan Tabel 4.51 dan 4.52 dengan nilai $K = 400.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 47703.9477501, 47181.2574024, dan 46663.5355676 Ha, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 7703.9477501, 47181.2574022, dan 46663.5355712 Ha. Estimasi hasil luas panen padi berdasarkan Tabel 4.53 dan 4.54 dengan nilai $K = 450.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 47705.6676363, 47183.6303586, dan 46666.6430034 Ha, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 47705.6676363, 47183.6303584, dan 46666.6430066 Ha. Estimasi hasil luas panen padi berdasarkan Tabel 4.55 dan 4.56 dengan nilai $K = 500.000$ pada metode Adams-Bashforth-Moulton diperoleh hasil estimasi pada tahun 2024,2025, dan 2026 berturut-turut 47697.4327218, 47173.6272363, dan 46654.9807437 Ha, dan untuk metode Hamming diperoleh hasil estimasi berturut-turut 7697.4327219, 47173.6272361, dan 46654.9807465 Ha.

3. Hasil estimasi panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming dengan masing-masing kapasitas tampung 400.000, 450.000 dan 500.000 berdasarkan hasil dari Tabel 4.48 sampai Tabel 4.50 menunjukkan bahwa hasil estimasi hasil panen padi selalu menurun. Hasil estimasi luas panen padi dari tahun 2024 sampai 2026 dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton dan metode Hamming berdasarkan hasil dari Tabel 4.57 sampai Tabel 4.59 menunjukkan bahwa hasil luas estimasi hasil panen padi selalu menurun, sehingga dapat dikatakan apabila luas panen padi mengalami penurunan maka dapat menyebabkan hasil panen padi menurun.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat menggunakan metode numerik banyak langkah (multi-step) dengan tingkatan orde yang lebih tinggi. Selain itu dapat juga dilakukan pengembangan penerapan metode banyak langkah pada model Verhulst dengan penambahan variabel lain seperti faktor yang menyebabkan penurunan atau peningkatan jumlah panen padi seperti biaya operasional hasil panen padi, dan teknologi yang dapat meningkatkan hasil panen padi dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, S. (2016). “penerapan metode adams-bashforth-moulton pada persamaan logistik dalam memprediksi pertumbuhan penduduk di provinsi sulawesi selatan. *Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin*.
- Arjuna, D. B., & Lubis, R. S. (2024). Solusi numerik model verhulst pada estimasi hasil panen melalui perkembangan produksi padi dan beras dengan metode milne-simpson. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 5(2), 722–730.
- Chapra, S. C. (2010). *Numerical methods for engineers*. Mcgraw-hill.
- Ginoux, J.-M. (2017). The paradox of vito volterra’s predator-prey model. *Lettera Matematica*, 5, 305–311.
- Hayes, A. P. (2011). The adams-bashforth-moulton integration methods generalized to an adaptive grid. *University of Maine, Maine, United State*.
- Jain, M. K., Iyengar, S. R., & Jain, R. K. (2007). *Numerical methods: problems and solutions*. New Age International.
- Napitupulu, M. M. L., et al. (2018). Perbandingan metode milne-simpson dan metode hamming dalam penyelesaian persamaan logistik pada prediksi pertumbuhan penduduk kota bandar lampung.
- Prasetyo, R. E. (2022). *Perbandingan metode adam -bashforth - moulton dan metode milne -simpson untuk solusi numerik estimasi hasil pertumbuhan panen padi di kabupaten jombang berdasarkan model verhulst* (Unpublished doctoral dissertation). Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Putri, W. (2015). Perbandingan model malthus dan model verhulst untuk estimasi jumlah penduduk indonesia tahun 2000 - 2014. *Jurnal Matematika Universitas Andalas*, 1–11.
- Side, R., Wahyuni. (2019). Solusi numerik model verhulst pada estimasi pertumbuhan hasil panen padi dengan metode adam bashforth-moulton (abm). *Mathematics, Computations, and Statistics*, 91–98.
- Suryani, I., Suprianto, A., Wartono, W., et al. (2023). Solusi numerik model verhulst pada estimasi pertumbuhan produksi padi menggunakan metode milne-simpson dan metode adams-bashforth-moulton. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 9(1), 27–36.

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel Data Hasil Panen Padi dan Data Luas Panen di Kabupaten Purworejo

1 Data Hasil Panen Padi dan Luas Panen Sawah Kabupaten Purworejo

Tahun	Hasil Panen Padi (Ton)	Luas Panen (Ha)
2012	324456	58170
2013	329938	58402
2014	323226	56649
2015	355326	56805
2016	315596	57247
2017	308680	57764
2018	291350	56411
2019	270001	50588
2020	273294	49845
2021	258863	48392
2022	283105	51069
2023	287702	51061

Lampiran 2 *Code Matlab Metode Adams-Bashforth-Moulton*

```
clc
clear all
format longG

filename1 = 'DataPanenPadi.txt';
delimiter = ' ';
headers = 1;

Data = importdata(filename1,delimiter,headers)
Tahun = Data.data(:,1);
Luas = Data.data(:,2);

%perhitungan Galat
b = 400000;
f = @(t,N) -0.0431*N*(1-N/b);
h = 1;
t0 = 0;
tn = 11;
n = (tn - t0)/h
```

```

d = 3;
N_0 = 324456;
N(1) = N_0;
t(1) = t0;
%rungekutta
for i = 1:d
    k1 = f(t(i),N(i))
    k2 = f(t(i) + (1/2)*h,N(i) + (1/2)*k1*h);
    k3 = f(t(i) + (1/2)*h,N(i) + (1/2)*k2*h);
    k4 = f(t(i) + h,N(i) + k3*h);
    N(i+1) = N(i) + (1/6)*(k1 + 2*k2 + 2*k3 + k4)*h;
    t(i+1) = t(i) + h;
    k5 = f(t(i+1) , N(i+1))
end
for r= 4:n
    %ABM Predictor Galat
    N(r+1)= N(r) + (h/24)*(55*f(t(r),N(r)) - 59*f(t(r-1),N(r-1)) + 37*f(t(r-2),N(r-2)) - 9*f(t(r-3),N(r-3)));
    t(r+1)= t(r) + h;
    k6 = f(t(r+1) , N(r+1))
    %ABM Corrector Galat
    y(r+1) = N(r) + (h/24)*(9*f(t(r+1),N(r+1)) + 19*f(t(r),N(r)) -5*f(t(r-1),N(r-1)) + f(t(r-2),N(r-2)));
    k7 = f(t(r+1) , y(r+1))
end
N(1)= 0;
N(2)= 0;
N(3)= 0;
N(4)= 0;

y(1)= 324456;
y(2)= 321779.493667096;
y(3)= 319031.823716344;
y(4)= 316212.767776043;

disp('predictor ABM')
disp('Panen Padi K 400 Ribu')
disp([t' N'])
disp('corrector ABM')
disp('Panen Padi K 400 Ribu')
disp([t' y'])

```

Lampiran 3

Code Matlab Metode Hamming

```

clc
clear all

```

```

format longG

filename1 = 'DataPanenPadi.txt';
delimiter = ' ';
headers = 1;

Data = importdata(filename1,delimiter,headers)
Tahun = Data.data(:,1);
Luas = Data.data(:,2);

%perhitungan Galat
b = 400000;
f = @(t,N) -0.0431*N*(1-N/b);
h = 1;
t0 = 0;
tn = 11;
n = (tn - t0)/h
d = 3;
N_0 = 324456;
N(1) = N_0;
t(1) = t0;
%rungkutta
for i = 1:d
    k1 = f(t(i),N(i))
    k2 = f(t(i) + (1/2)*h,N(i) + (1/2)*k1*h);
    k3 = f(t(i) + (1/2)*h,N(i) + (1/2)*k2*h);
    k4 = f(t(i) + h,N(i) + k3*h);
    N(i+1) = N(i) + (1/6)*(k1 + 2*k2 + 2*k3 + k4)*h;
    t(i+1) = t(i) + h;
    k5 = f(t(i+1) , N(i+1))
end
for r= 4:n
    %HAMMING Predictor Galat
    N(r+1)= N(r-3) + (4*h)/3*(2*f(t(r),N(r)) - f(t(r-1),N(r-1)) + 2*f(t(r-2),N(r-2)));
    t(r+1)= t(r) + h;
    k6 = f(t(r+1) , N(r+1))
    %HAMMING Corrector Galat
    y(r+1) = 9*N(r)/8 - N(r-2)/8 + (3*h)/8*(2*f(t(r),N(r)) -f(t(r-1),N(r-1)) + f(t(r+1),N(r+1)));
    k7 = f(t(r+1) , y(r+1))
end
N(1)= 0;
N(2)= 0;
N(3)= 0;
N(4)= 0;

```

```
y(1)= 324456;  
y(2)= 321779.493667096;  
y(3)= 319031.823716344;  
y(4)= 316212.767776043;  
  
disp('predictor HAMMING')  
disp('Panen Padi K 400 Ribu')  
disp([t' N'])  
disp('corrector HAMMING')  
disp('Panen Padi K 400 Ribu')  
disp([t' y'])
```

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyelesaian penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari orang-orang terdekat penulis yang telah mendukung dan memotivasi penulis. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas kesempatan, waktu, kesehatan, dan kelancaran hingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir
2. Diriku sendiri yang ada untukku. Terimakasih sudah menjadi kuat, dan berjuang melalui segala rintangan apapun, terimakasih udah bertahan sejauh ini
3. Ayah, Ibuk, Kakak dan seluruh keluarga besar atas motivasi dan dukungannya selama ini. Dukungan dan doa yang kalian berikan sangat berarti sehingga membuat penulis merasa lebih semangat dan percaya diri
4. Sahabat SMA saya (4.0 Assemble), ADIL, YUDHIS, REZA, yang sudah bersedia mendengarkan keluh kesah penulis dan selalu memberikan semangat. Semoga kita bisa sukses diwaktu yang akan datang. Kita harus liburan bareng

Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak untuk penyempurnaan isi tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang bersangkutan.

Surabaya, 02 Agustus 2024

Setya Rendy Kusuma

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Setya Rendy Kusuma. Penulis berasal dari Sidorejo RT01, RW01 Purworejo, Jawa Tengah. Penulis lahir 09 September 2022, yang merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal, yaitu di SDN Sidorejo (2008-2014), SMPN 31 Purworejo (2014-2017), SMAN 6 Purworejo (2017-2020). Setelah lulus SMAN 6, penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang sarjana atau Strata-1 di Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Analitika Data ITS Surabaya, dengan bidang Matematika Terapan khususnya Pemodelan dan Simulasi. Diterima di ITS melalui jalur mandiri dengan Nomor Registrasi Pokok (NRP) 5002201058. Pada masa perkuliahan penulis mengikuti organisasi HIMATIKA ITS, sebagai CP Sponsorship OMITS 15th, dan menjadi anggota MATRIKS MATEMATIKA ITS. Penulis menerima informasi, kritik, dan saran mengenai penulisan Tugas Akhir ini dengan terbuka. Untuk informasi lebih lanjut, dapat menghubungi penulis melalui email setyarendy9902@gmail.com