

PERBANDINGAN METODE NEWTON-RAPHSON DAN BISEKSI DALAM ANALISIS TREND KENAIKAN SUHU NASA GISS TEMPERATURE

Erlina Ayunda Cahyanti

Program Studi Sains Data, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

email: erlinaayundac@gmail.com

Aurelia Krisnanti Wijaya

Program Studi Sains Data, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

email: aureliakrisnantii@gmail.com

Maulida Shifa Annisa

Program Studi Sains Data, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

email: maulidasyifa195@gmail.com

Sischa Wahyuning Tyas

Program Studi Sains Data, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

email: sischa_wahyuning.sada@upnjatim.ac.id*

Anggraini Puspita Sari

Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

email: anggraini.puspita.if@upnjatim.ac.id

Abstrak

Pemanasan suhu global semakin meningkat dalam beberapa dekade terakhir dan menjadi isu dalam kajian iklim dunia. Anomali suhu global merupakan indikator utama yang digunakan untuk memantau perubahan suhu dari waktu ke waktu. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis tren kenaikan suhu global berdasarkan data NASA GISS Temperature serta menentukan waktu tercapainya ambang batas kenaikan 1,5°C, sesuai target mitigasi iklim internasional. Metode penelitian yang digunakan yaitu pemodelan regresi polinomial orde tiga untuk menghasilkan tren kenaikan anomali suhu dan penerapan dua metode numerik, yaitu metode Newton-Raphson dan Biseksi untuk mencari akar fungsi dari model tersebut. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa metode regresi kubik memiliki hasil terbaik dengan nilai $R^2=0,911$, AIC -614,8, dan RMSE yang rendah. Metode Newton-Raphson mencapai nilai konvergensi dalam 4 iterasi, sedangkan Biseksi memerlukan 17 iterasi, tetapi metode keduanya menghasilkan nilai akar yang konsisten yaitu $t \approx 56,568$ yang menunjukkan bahwa batas 1,5°C diperkirakan mencapai pada tahun 2039. Penelitian ini dapat memberikan gambaran secara perhitungan numerik mengenai pemanasan global dan menjadi dasar pengambilan kebijakan mitigasi iklim.

Kata Kunci: Biseksi, Newton-Raphson, NASA, Tren Suhu.

Abstract

Global warming has been increasing in recent decades and has become an issue in global climate studies. Global temperature anomalies are the main indicator used to monitor temperature changes over time. This study was conducted to analyze global temperature rise trends on NASA GISS Temperature data and to determine when the 1,5°C rise threshold will be reached, in accordance with international climate mitigation targets. The research method used was third order polynomial regression modeling to generate temperature anomaly increase trends and the application of two numerical methods, namely the Newton-Raphson and Bisection methods, to find the root of the model function. The modelling results showed that the cubic regression method had the best results with a value of $R^2 = 0.911$, AICC -614,8, and low RMSE. The Newton-Raphson method achieved convergence in 4 iterations, while Bisection required 17 iterations, but both methods produced consistent root values, $t \approx 56,568$ indicating that the 1,5°C limit is expected to be reached in 2039. This research can provide a numerical calculation of global warming and can be used as a basic for climate mitigation policy making.

Keywords: *Bisection, Newton-Raphson, NASA, Temperature Trends.*

PENDAHULUAN

Kenaikan suhu di permukaan tanah dan lautan memberikan dampak signifikan terhadap iklim global dan tren cuaca (Akbar & Lubis, 2022). Suhu, kelembapan, dan kualitas udara adalah beberapa parameter yang dapat memberikan gambaran tentang kondisi lingkungan di suatu tempat (J. W. D. Putri dkk., 2025). Salah satu cara untuk melakukan pengamatan kenaikan suhu global biasanya menggunakan nilai anomali suhu, yaitu selisih antara suhu yang diamati dan suhu rata-rata dasar (*baseline*) yang umumnya dihitung berdasarkan rentang waktu 30 tahun terakhir. Kenaikan suhu global pada permukaan bumi telah meningkat $0,74 \pm 0,18^\circ\text{C}$ ($1,33 \pm 0,32^\circ\text{F}$) selama seratus tahun terakhir yang menunjukkan adanya tren kenaikan suhu yang konsisten (Bernstein & IPCC, 2008). Data anomali suhu global banyak disediakan oleh berbagai lembaga internasional salah satunya adalah NASA *Goddard Institute for Space Studies* (NASA GISS) melalui data GISTEMP yang telah memantau perubahan suhu global sejak tahun 1880.

Beberapa penelitian yang memanfaatkan tren kenaikan suhu, di antaranya penelitian yang dilakukan oleh Akhundzadah (2024) yang menggunakan pendekatan statistik seperti ITA, *Mann-Kendall Test*, dan *Sen's Slope* untuk menggambarkan arah dan besarnya tren perubahan suhu. Penelitian oleh Muhammad Najib Habibie dan Tri Astuti Nuraini (2014) juga menggunakan metode statistik seperti *Mann-Kendall Test* dan hanya berfokus pada identifikasi ada atau tidaknya tren dalam suhu. Penelitian yang dilakukan oleh Cahyarini (2010) menganalisis tren kenaikan suhu permukaan laut menggunakan metode rekonstruksi geokimia proksi Sr/Ca, regresi linear, dan time-series yang menghasilkan kenaikan suhu pada periode tertentu. Meskipun ketiga penelitian tersebut menunjukkan adanya kenaikan suhu, namun metode yang digunakan umumnya hanya terbatas pada deteksi tren dan tidak menghasilkan model matematis yang dapat dianalisis dengan metode numerik. Metode Newton-Raphson digunakan karena memiliki kecepatan konvergensi yang tinggi dan efektif pada model tren suhu yang bersifat kontinu (Wang & Lu, 2018). Sementara itu, metode Biseksi digunakan karena stabil tanpa ketergantungan pada turunan fungsi, sehingga mampu memberikan hasil yang efektif pada tren suhu (Estuningsih & Rosita, 2019).

Penelitian ini berfokus pada perbandingan kedua metode numerik yaitu Newton-Raphson dan Biseksi dalam penentuan akar tren kenaikan suhu global

yang dibangun dari data NASA GISS. Melalui pendekatan ini, penelitian menghasilkan model matematis eksplisit dan mengevaluasi performa dua metode numerik dalam menyelesaikan persamaan tren menggunakan data suhu global.

KAJIAN TEORI

Regresi Non-Linear Polinomial Berderajat Tiga (Kubik)

Regresi Polinomial merupakan metode regresi yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel independen (X) dan variabel dependen (Y) dengan menggunakan fungsi polinomial (A. S. Putri dkk., 2011). Salah satu model regresi non-linear dalam parameternya yaitu berderajat tiga atau kubik. Model regresi *non linear* polinomial berderajat tiga atau model regresi kubik mempunyai persamaan umum yang berbentuk:

$$Y_i = \beta_0 X_{0i} + \beta_1 X_i + \beta_2 X_i^2 + \beta_3 X_i^3 + \varepsilon \quad (1)$$

di mana:

Y_i = Nilai pengamatan ke- i

X_i = Nilai pengubah X yang ke- i

β_0 = titik potong/parameter intersep $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ =

Parameter pengaruh pengubah X_1, X_2, X_3

terhadap pengubah Y pada derajat atau ordo ke 1, 2, 3

ε = Galat ke- i yang diasumsikan berdistribusi bebas normal dengan nilai rata-rata 0 dan ragam ()

$X_{0i} = 1$

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Koefisien model regresi polinomial ditentukan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least square*) dengan meminimumkan jumlah kuadrat galat antara data hasil pengamatan dan nilai hasil pemodelan (Montgomery dkk., 2012).

Parameter Evaluasi Model

Evaluasi model aproksimasi tren suhu digunakan sebagai dasar penentuan akar dengan ambang batas ($K = 1.5^\circ\text{C}$) (Cadd, 2025). Tim peneliti memilih model regresi polinomial orde tiga karena mampu menangkap pola perubahan suhu yang bersifat non-linearitas tanpa kompleks dalam data tren suhu global jangka panjang. Selain itu, model regresi kubik memiliki sifat matematis yang mudah diturunkan sehingga sesuai untuk diterapkan pada metode Newton-Raphson (Canale & Dr, 2014).

Model regresi kubik yang digunakan dinyatakan dalam bentuk:

$$P(t) = a_3 t^3 + a_2 t^2 + a_1 t + a_0 \quad (2)$$

Variabel t didefinisikan sebagai:

$$t = Year - t_0 \quad (3)$$

di mana t_0 adalah tahun pertama dalam dataset. Pendefinisian ini dilakukan untuk meningkatkan stabilitas numerik pada proses pemodelan. t_0 adalah tahun pertama dalam dataset. Pendefinisian ini dilakukan untuk meningkatkan stabilitas numerik pada proses pemodelan.

Kelayakan model regresi kubik dievaluasi menggunakan nilai koefisien determinasi (R^2), Akaike Information Criterion (AIC), serta analisis residual. Koefisien Determinasi (R^2) adalah ukuran yang digunakan untuk menilai kesesuaian model dengan data (Sugiarti, 2013). Dalam penelitian ini, R^2 digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menjelaskan data suhu global. Semakin mendekati angka 1, maka semakin baik kemampuan model tersebut. Selain itu, digunakan pula *Adjusted R^2* untuk menyesuaikan pengaruh jumlah parameter dalam model, AIC, serta analisis residual. Koefisien Determinasi adalah ukuran yang dapat digunakan untuk menilai kesesuaian model dengan data (Sugiarti, 2012). Dalam penelitian ini, R^2 digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam menjelaskan data suhu global. Semakin mendekati angka 1, maka semakin baik kemampuan model tersebut. Nilai R^2 dihitung dengan persamaan:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (4)$$

Selain itu, AIC digunakan untuk menilai kualitas model berdasarkan keseimbangan antara tingkat ketepatan dan kompleksitas model, yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$AIC = n \ln \left(\frac{SSE}{n} \right) + 2k \quad (5)$$

di mana:

n = Jumlah data

SSE = Jumlah kuadrat galat

k = jumlah parameter dalam model k = jumlah parameter dalam model

Selain itu, digunakan pula indikator galat berupa *Root Mean Squared Error* (RMSE) yang berfungsi sebagai ukuran standar deviasi dari residu (galat prediksi) sensitif terhadap outlier untuk mengukur besar kesalahan prediksi model (Wang & Lu, 2018). RMSE dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (6)$$

Metode Newton-Raphson

Metode Newton-Raphson adalah metode numerik yang pendekatannya menggunakan satu titik awal dan kemudian mendekati akar persamaan menggunakan gradien pada titik tersebut (Estuningsih & Rosita, 2019). Metode Newton-Raphson memiliki kelebihan konvergensi lebih cepat dalam menentukan akar persamaan, walaupun membutuhkan turunan pertama dari fungsi yang akan diselesaikan. Pendekatan Newton-Raphson dapat dijelaskan dengan persamaan iteratif berikut :

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (7)$$

di mana:

x_n = Perkiraan akar pada iterasi ke- n

$f(x_n)$ = Nilai fungsi pada x_n

$f'(x_n)$ = Nilai turunan pertama fungsi pada x_n

x_{n+1} = Perkiraan akar yang lebih baik pada iterasi ke- $(n+1)$

Secara umum, tahapan metode Newton-Raphson adalah sebagai berikut:

1. Memilih x_0 sebagai nilai awal sedemikian sehingga $f'(x_n) \neq 0$,
2. Menentukan nilai toleransi ε ,
3. Menghitung nilai $f(x_0)$ dan $f'(x_0)$,
4. Menghitung titik $x_1 = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)}$,
5. Mengulangi langkah 2 dan 3 untuk memperoleh nilai $x_2, x_3, \dots$, hingga konvergensi tercapai, yaitu ketika perbedaan antara dua perkiraan akar berturut-turut sudah cukup kecil, yaitu $|x_{i+1} - x_i| \leq \varepsilon$, sehingga x_{i+1} dipilih sebagai akar persamaan.

Metode Biseksi

Metode Biseksi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mencari akar persamaan non-linear (Mukaromah & Atsani, 2024). Metode Biseksi akan mencari interval pencarian hingga ditemukan akar persamaan dengan tingkat presisi yang diinginkan. Metode ini menggunakan teknik pencarian akar yang berbasis pembagian interval dengan membagi range menjadi dua bagian, dari dua bagian ini akan dipilih yang mengandung akar penyelesaian dan membuang bagian yang tidak mengandung akar penyelesaian (Mukaromah & Atsani, 2024).

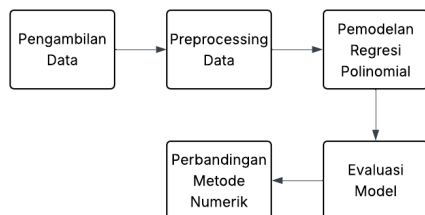
Secara umum, tahapan metode Biseksi dalam menemukan akar persamaan adalah sebagai berikut (Mukaromah & Atsani, 2024):

1. Menentukan interval awal dengan memilih dua titik a dan b untuk memastikan $f(a) \cdot f(b) < 0$,

2. Menghitung titik tengah menggunakan
$$c = \frac{a+b}{2},$$
3. Mengevaluasi nilai fungsi pada titik tengah yaitu $f(c)$,
4. Menentukan interval baru dengan tiga kemungkinan:
 - Jika $f(c)$ maka akar sudah selesai, $f(c)$ maka akar sudah selesai,
 - Jika $f(a) \cdot f(b) < 0$ dan akar berada pada interval $[a, c]$ dengan $b = c$,
 - Jika $f(a) \cdot f(b) > 0$ dan akar berada pada interval $[c, b]$ dengan $a = c$.
5. Mengecek kriteria berhenti jika:
 - Interval sudah sangat kecil $|b - a| < \varepsilon$,
 - Perubahan akar kecil $|c_{\text{baru}} - c_{\text{lama}}| < \varepsilon$,
 - Jumlah iterasi mencapai batas.
6. Mengulangi langkah 2-5 sampai memenuhi syarat berhenti.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang sistematis untuk menganalisis tren kenaikan suhu global serta membandingkan metode numerik Newton-Raphson dan Biseksi. Alur penelitian secara ringkas disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Pengambilan Data

Penelitian ini merupakan studi kasus yang berfokus pada analisis tren kenaikan suhu global menggunakan data sekunder NASA GISS Temperature (GLB.Ts+dSST). Dataset dikumpulkan melalui pengunduhan langsung dari laman resmi NASA GISS yang menyediakan deret waktu suhu global sejak tahun 1880 hingga tahun terbaru. Tim peneliti mengambil dataset GLB.Ts+dSST dalam format CSV yang berisi anomali suhu global bulanan dan tahunan. Dataset ini memiliki 19 variabel dengan variabel tahun pengamatan, 12 variabel bulan pengamatan, dan 6 variabel rata-rata tahunan dan musiman yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk membangun tren suhu global serta membandingkan

performa metode numerik Newton-Raphson dan Biseksi dalam menentukan akar dari model tren.

Year	Jan	...	Dec	J-D	...	SON
1880	-0.19	...	-.18	-.17	...	-.20
1881	-0.20	...	-.07	-.09	...	-.18
...	...	...	...	...	...	...
2024	1.25	...	1.27	1.28	...	1.28
2025	1.37	...	***	***	...	***

Tabel 1. Data GLB.Ts+dSST

Preprocessing Data

Setelah data diperoleh, tahap selanjutnya adalah preprocessing data untuk memastikan data yang digunakan siap dianalisis. Pada tahap ini dilakukan pembersihan data dengan menghilangkan nilai non-numerik serta data yang tidak lengkap. Selain itu, pemilihan variabel utama, yaitu variabel *Year* sebagai variabel independen dan anomali suhu tahunan (J-D) sebagai variabel dependen.

Pemodelan Regresi Polinomial

Pemodelan tren suhu global dilakukan dengan menggunakan regresi polinomial derajat tiga (kubik). Koefisien model ditentukan menggunakan metode kuadrat terkecil (*least squares*) dengan bantuan perangkat lunak Python. Model ini digunakan untuk merepresentasikan tren non linear kenaikan suhu global.

Evaluasi Model

Kualitas model regresi kubik dievaluasi menggunakan parameter koefisien determinasi (R^2), AIC, dan RMSE. Evaluasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa model memiliki tingkat kecocokan dan akurasi yang memadai sebelum digunakan dalam pencarian akar.

Perbandingan Metode

Model regresi yang telah dievaluasi kemudian digunakan untuk menentukan waktu pencapaian ambang batas anomali suhu global sebesar $1,5^\circ\text{C}$. Perhitungan nilai akar fungsi dilakukan menggunakan metode Newton-Raphson dan metode Biseksi. Kedua metode tersebut dibandingkan berdasarkan jumlah iterasi dan konsistensi nilai akar yang diperoleh.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemodelan Tren Suhu Global dengan Regresi Kubik

Berdasarkan data suhu global NASA GISS periode pengamatan yang digunakan, dilakukan pemodelan tren suhu menggunakan regresi polinomial berderajat tiga (kubik). Proses fitting data dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil dengan bantuan perangkat lunak Python. Hasil pemodelan regresi kubik diperoleh persamaan pada Gambar 2.

```

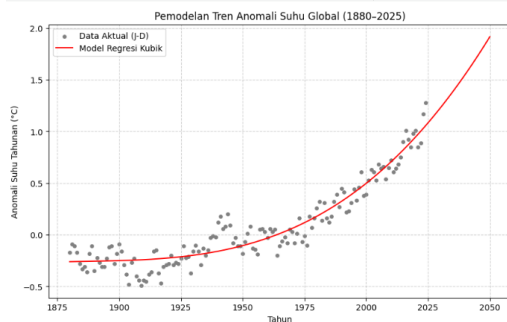
Model Regresi Kubik:
(t) = -0.2606 + 0.0005*t + -0.0000082*t^2 + 0.000000475*t^3

```

Gambar 2. Hasil Pemodelan Regresi Kubik

dengan $t = Year_{t_0}$, di mana t_0 merupakan tahun awal data pengamatan yakni 1880.

Gambar 3 ini menunjukkan bahwa kurva regresi kubik mampu mengikuti pola data anomali suhu global dengan baik. Tren kenaikan suhu terlihat semakin meningkat pada periode setelah tahun 1980. Kesesuaian antara data aktual dan model ini menunjukkan bahwa regresi kubik layak digunakan sebagai dasar pencarian nilai $K = 1,5^\circ\text{C}$ dengan metode Newton-Raphson dan Biseksi. Nilai ambang batas $K = 1,5^\circ\text{C}$ digunakan karena mengacu pada target pembatasan kenaikan suhu global yang ditetapkan dalam Paris Agreement tahun 2015 [11].



Gambar 3. Grafik Pemodelan Tren Anomali Suhu Global Menggunakan Regresi Kubik terhadap data NASA GISS Periode 1880–2025

Diperoleh nilai R^2 sebesar 0,911 yang menunjukkan bahwa model mampu menjelaskan sebagian besar variasi suhu global. Nilai AIC -614,8 menunjukkan keseimbangan baik antara akurasi dan kompleksitas, sementara RMSE sebesar 0,0117 menandakan kesalahan prediksi yang rendah. Dengan demikian, model ini layak digunakan sebagai dasar penentuan akar menggunakan metode Newton-Raphson.

```

Evaluasi Model Regresi Kubik:
| R^2: 0.911 | RMSE: 0.117 | AIC: -614.8

```

Gambar 4. Hasil Evaluasi Model Regresi terhadap data NASA GISS Periode 1880–2025 menggunakan Python

Berdasarkan Gambar 4, hasil evaluasi model regresi terhadap data NASA GISS periode 1880–2025 ditampilkan dalam bentuk visualisasi. Penyajian ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai kinerja model yang telah dibangun. Untuk mempermudah pembacaan dan interpretasi nilai evaluasi secara kuantitatif, hasil tersebut kemudian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Evaluasi Model Regresi terhadap data NASA GISS Periode 1880–2025

R^2	AIC	RMSE
0.911	-614.8	0.117

Pembentukan Fungsi Akar Kenaikan Suhu Global $1,5^\circ\text{C}$

Untuk menentukan waktu tercapainya ambang batas kenaikan suhu global sebesar $1,5^\circ\text{C}$, sehingga model regresi kubik yang diperoleh adalah sebagai berikut.

$$f(t) = -2606 + 0,0005t - 0,0000082t^2 + 0,000000475t^3 - 1,5$$

Fungsi ini menggambarkan selisih antara prediksi anomali suhu global dengan nilai target $1,5^\circ\text{C}$ pada tahun ke- t sejak 1880. Jika fungsi ini bernilai 0, maka tahun tersebut adalah waktu ketika anomali suhu global diperkirakan mencapai $1,5^\circ\text{C}$. Jika positif, suhu sudah melewati $1,5^\circ\text{C}$ dan jika negatif, artinya suhu masih di bawah $1,5^\circ\text{C}$.

Hasil Perhitungan Akar dengan Metode Newton-Raphson

Proses iterasi metode Newton-Raphson dimulai dengan memilih penduga awal yaitu 150 dengan toleransi galat sebesar $\varepsilon = 10^{-6}$. Pada setiap iterasi, nilai $f(t_n)$ dan $f'(t_n)$ dihitung lalu digunakan untuk mendapatkan estimasi akar baru melalui persamaan (1). Perhitungan ini akan diulang hingga selisih antara dua nilai berturut-turut memenuhi kriteria konvergensi, yaitu $|t_{n+1} - t_n| < \varepsilon$.

```

METODE NEWTON-RAPHSON
Iter | t_n | f(t_n) | |dt|
1 | 150.000000 | -0.272909 | 9.000000
2 | 159.000000 | 0.017300 | 0.510278
3 | 158.570612 | 0.000057 | 0.001687
4 | 158.568925 | 0.000000 | 0.000000

Konvergen!
Akar Newton-Raphson (t*): 158.5689250428778
Prediksi Tahun: 2038.5689250428777

```

Gambar 5. Hasil Perhitungan Iterasi Newton-Raphson terhadap data NASA GISS Periode 1880–2025 menggunakan Python

Berdasarkan Gambar 5, metode Newton-Raphson menunjukkan proses iterasi dalam menentukan akar fungsi. Nilai pendekatan akar setiap iterasi berubah hingga memenuhi kriteria konvergensi yang telah

ditentukan. Hasil perhitungan iterasi metode Newton-Raphson disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Iterasi Newton-Raphson terhadap data NASA GISS Periode 1880–2025

n	t_n	$f(t_n)$	$ t_{n+1} - t_n $
1	150.000000	-0.272909	9.080890
2	159.080890	0.017300	0.510278
3	158.570612	0.000057	0.001687
4	158.568925	0.000000	0.000000

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh nilai akar $t_n = 158,568925$. Nilai ini perlu dikonversi kembali dengan menambahkan tahun dasar 1880, maka diperoleh tahun 2038,569 sesuai hasil Gambar 5 menunjukkan perkiraan waktu ketika anomali suhu global mencapai target 1,5°C.

Hasil Perhitungan Akar dengan Metode Biseksi

Proses verifikasi nilai akar dilakukan menggunakan metode Biseksi pada interval awal $[a,b] = [150,200]$, dengan menggunakan persamaan (8) untuk menghitung titik tengah dan nilai $f(c)$. Proses ini diulang hingga nilai $f(c)$ berada di bawah toleransi galat yang ditetapkan ($\varepsilon = 10^{-6}$) atau hingga lebar interval $|b - a|$ sudah lebih kecil dari toleransi.

```

METODE BISEKSI
Iterasi 1: a = 150.000000, b = 200.000000, c = 175.000000, f(c) = 0.614261
Iterasi 2: a = 150.000000, b = 175.000000, c = 162.500000, f(c) = 0.135788
Iterasi 3: a = 150.000000, b = 162.500000, c = 156.250000, f(c) = -0.076935
Iterasi 4: a = 156.250000, b = 162.500000, c = 159.375000, f(c) = 0.027299
Iterasi 5: a = 156.250000, b = 159.375000, c = 157.812500, f(c) = -0.025351
Iterasi 6: a = 157.812500, b = 159.375000, c = 158.593750, f(c) = 0.000836
Iterasi 7: a = 157.812500, b = 158.593750, c = 158.289219, f(c) = -0.012291
Iterasi 8: a = 158.289219, b = 158.593750, c = 158.396486, f(c) = -0.005736
Iterasi 9: a = 158.396486, b = 158.593750, c = 158.496094, f(c) = -0.002452
Iterasi 10: a = 158.496094, b = 158.593750, c = 158.544922, f(c) = -0.000888
Iterasi 11: a = 158.544922, b = 158.593750, c = 158.569336, f(c) = 0.000014
Iterasi 12: a = 158.544922, b = 158.569336, c = 158.557129, f(c) = -0.000397
Iterasi 13: a = 158.557129, b = 158.569336, c = 158.563232, f(c) = -0.000192
Iterasi 14: a = 158.563232, b = 158.569336, c = 158.566284, f(c) = -0.000089
Iterasi 15: a = 158.566284, b = 158.569336, c = 158.567818, f(c) = -0.000038
Iterasi 16: a = 158.567818, b = 158.569336, c = 158.568573, f(c) = -0.000012
Iterasi 17: a = 158.568573, b = 158.569336, c = 158.568954, f(c) = 0.000001

Konvergen!
Akar Biseksi (*): 158.568954677344
Prediksi Tahun: 2038.568954677344

```

Gambar 6. Hasil Perhitungan Iterasi Biseksi terhadap Data NASA GISS Periode 1880–2025 menggunakan Python

Berdasarkan Gambar 6, proses iterasi metode Biseksi menunjukkan tahapan pencarian akar fungsi. Setiap iterasi menghasilkan batas atas, batas bawah, dan titik tengah. Hasil perhitungan iterasi metode Biseksi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Iterasi Biseksi terhadap Data NASA GISS Periode 1880–2025

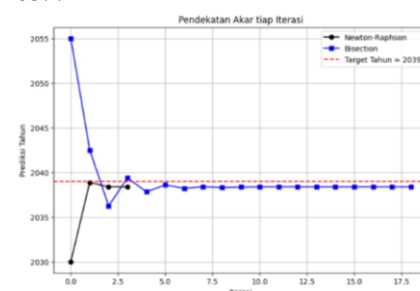
Iterasi	a	b	c	f(c)
1	150.000000	200.000000	175.000000	0.614261

2	150.000000	175.000000	162.500000	0.135788
...	...	...	...	...
16	158.567810	158.569336	158.568573	-0.000012
17	158.568573	158.569336	158.568573	0.000001

Metode Biseksi mencapai nilai konvergensi pada iterasi ke-17 dengan titik tengah $c=158.568574$. Diperoleh tahun 2038.569 sesuai hasil Gambar 5 menunjukkan perkiraan waktu ketika anomali suhu global mencapai target 1,5°C dan nilai ini sesuai dengan perhitungan metode Newton-Raphson.

Hasil Perbandingan Metode Newton-Raphson dan Biseksi

Gambar 7 menunjukkan perbandingan pola konvergensi iteratif antara metode Newton-Raphson dan metode Biseksi terhadap akar dengan tahun pencapaian anomali suhu mencapai 1,5°C. Metode Biseksi memperlihatkan laju konvergensi lebih lambat, dengan 17 iterasi untuk mencapai toleransi kesalahan yang ditetapkan. Metode Newton-Raphson menunjukkan konvergensi yang lebih cepat yakni 4 iterasi, yang dipengaruhi oleh turunan fungsi dalam proses iterasi. Kedua metode menghasilkan akar yang konsisten di angka $x=158,568$. Setelah dikonversi menunjukkan bahwa anomali suhu global mencapai target 1,5 °C pada sekitar 2039.



Gambar 7. Grafik Konvergensi Kedua Metode

PENUTUP

SIMPULAN

Model regresi polinomial orde tiga mampu merepresentasikan tren kenaikan anomali suhu global dan dijadikan sebagai dasar pencarian akar kenaikan suhu sebesar 1,5°C. Metode Newton-Raphson menunjukkan konvergensi lebih cepat, sedangkan metode Biseksi membutuhkan lebih banyak iterasi untuk mencapai hasil yang sama.

Kedua metode menghasilkan akar yang konsisten, sehingga diperkirakan anomali suhu global mencapai 1,5°C pada sekitar tahun 2039. Penelitian ini menunjukkan bahwa Newton-Raphson lebih efisien dalam hal kecepatan konvergensi.

SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengeksplorasi metode analisis numerik lain. Dengan pendekatan ini, diharapkan penelitian masa depan memiliki dampak langsung yang signifikan bagi masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, A. J., & Lubis, A. M. (2022). Analysis of Land and Sea Temperatures Trend During 1985-2021 Period to Understand Local or Global Warming Effect in Bengkulu City. *Indonesian Review of Physics*, 5(1), 16–24.
- Akhundzadah, N. A. (2024). Analyzing Temperature, Precipitation, and River Discharge Trends in Afghanistan's Main River Basins Using Innovative Trend Analysis, Mann-Kendall, and Sen's Slope Methods. *Climate*, 12(12).
- Bernstein, L. & IPCC (Ed.). (2008). *Climate Change 2007: Synthesis report: a report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Cadd, J. (2025, April 14). *The 1.5°C goal of the Paris Agreement*. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/en/to-pics/climate-energy/the-15degc-goal-of-the-paris-agreement>
- Cahyarini, S. Y. (2010). Tren Kenaikan Suhu Permukaan Laut Pada Abad Ke-14 Berdasarkan Data Geokimia Sr/Ca Dari Fosil Koral Mentawai. *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(2), 113–118.
- Canale, R. P., & Dr, S. C. C. (2014). *Numerical Methods for Engineers*. McGraw-Hill Education.
- Estuningsih, R. D., & Rosita, T. (2019). Perbandingan Metode Biseksi Dan Metode Newton Raphson Dalam Penyelesaian Persamaan Non Linear. *Jurnal Warta Akab*, 43(2). https://jurnal.aka.ac.id/index.php/warta_akab/article/view/125
- Habibie, M. N., & Nuraini, T. A. (2014). Karakteristik Dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut Di Indonesia Periode 1982-2009. *Meteorologi dan Geofisika*, 15(1).
- Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. A John Wiley & Sons, Inc., Publication.
- Mukaromah, I. A., & Atsani, M. R. (2024). Penerapan Metode Bisection Dan Newton-Raphson Untuk Penyelesaian Akar Persamaan Non-Linier Menggunakan Matlab. *JURNAL TEKNIK INFORMATIKA DAN SISTEM INFORMASI*, 4(2), 70–74.
- Putri, A. S., Masruroh, A., Permatasari, W., Putri, R. K., Puspitasari, I. R., & Yunita, N. W. (2011). *Regresi Non-Linear Polynomial Berderajat Tiga (Kubik)* [Tugas Mata Kuliah Analisis Regresi]. <https://www.scribd.com/doc/102215256/Regresi-Kubik>
- Putri, J. W. D., Firdaus, J. R., Khaerunnisa, L. S., & Sobur, S. (2025). SISTEM MONITORING SUHU, KELEMBAPAN DAN GAS BERBASIS IOT PADA LAB KOMPUTER. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.8175>
- Sugiarti, H. (2012). Konsistensi Koefisien Determinasi Sebagai Ukuran Kesesuaian Model Pada Regresi Robust the Consistency of Coefficient of Determination to Fitting Model Through Robust Regression. *Jurnal Matematika, Sains Dan Teknologi*, 13(2).
- Sugiarti, H. (2013). Konsistensi Koefisien Determinasi Sebagai Ukuran Kesesuaian Model Pada Regresi Robust the Consistency of Coefficient of Determination to Fitting Model Through Robust Regression. *Jurnal Matematika, Sains Dan Teknologi*. https://www.academia.edu/128151038/Konsistensi_Koefisien_Determinasi_Sebagai_Ukuran_Kesesuaian_Model_Pada_Regresi_Robust_the_Consistency_of_Coefficient_of_Determination_to_Fitting_Model_Through_Robust_Regression
- Wang, W., & Lu, Y. (2018). Analysis of the Mean Absolute Error (MAE) and the Root Mean Square Error (RMSE) in Assessing Rounding Model. *IOP*.